

СКФНКЦ ФМБА России
Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр

СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ БИОМЕДИЦИНЫ

Modern issues of biomedicine

Т.10, № 3(38), 2026

СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ БИОМЕДИЦИНЫ © 2026

Т. 10, № 3(38), 2026

СЕТЕВОЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ
Издается с 2017 года, ежеквартально
Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр» Федерального медико-биологического агентства России.
Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Регистрационный номер: ЭЛ № ФС 77 – 81042. Дата регистрации 25.05.2021.
ISSN журнала: 2588-0500.
Рубрики журнала: «Физиология», «Психофизиология», «Курортология и реабилитация», «Спортивная медицина», «Физическая культура и профессиональная физическая подготовка», «Теория и методика спорта», «Оздоровительная и адаптивная физическая культура», «Биомеханика и биоинженерия»
Журнал входит в Перечень ВАК РФ.
Группы специальностей, утвержденных ВАК для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук: 1.5.5. – Физиология человека и животных (медицинские науки); 1.5.5. – Физиология человека и животных (биологические науки); 3.1.33. – Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия (медицинские науки); 3.1.33. – Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия (биологические науки); 1.1.10. – Биомеханика и биоинженерия (биологические науки); 5.3.2. – Психофизиология (психологические науки); 5.8.4. – Физическая культура и профессиональная физическая подготовка (педагогические науки); 5.8.5. – Теория и методика спорта (педагогические науки); 5.8.6. – Оздоровительная и адаптивная физическая культура (педагогические науки).
Журнал индексируется в базе данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в международных базах научного цитирования Google Scholar, Crossref, Киберленинка, Ulrich's Periodicals Directory.
Всем статьям присваивается префикс DOI.
Журнал выходит на русском языке.
Все публикации рецензируются.
Доступ к журналу бесплатен.
Адрес учредителя и редакции: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр» Федерального медико-биологического агентства России. 357600, Ставропольский край, г. Ессентуки, ул. Советская, д. 24.
E-mail редакции: **svb@skfmba.ru.**
Сайт журнала: **http://svbskfmba.ru.**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Корягина Юлия Владиславовна – д-р биол. наук, профессор (Россия, Ессентуки)

Заместитель главного редактора
Нопин Сергей Викторович – канд. техн. наук, д-р биол. наук (Россия, Ессентуки)

Члены редакционной коллегии журнала

Агранович О.В. – д-р мед. наук, профессор (Россия, Ставрополь)
Артеменко Е.П. – д-р пед. наук, доцент (Россия, Казань)
Бадтиева В.А. – акад. РАН, д-р мед. наук, профессор (Россия, Москва)
Быков Е.В. – д-р мед. наук, профессор (Россия, Челябинск)
Голикова Е.М. – д-р пед. наук, доцент (Россия, Оренбург)
Горская И.Ю. – д-р пед. наук, профессор (Россия, Омск)
Дворкина Н.И. – д-р пед. наук, профессор (Россия, Краснодар)
Дворкин Л.С. – д-р пед. наук, профессор (Россия, Краснодар)
Евсеев С.П. – чл.-корр. РАО, д-р пед. наук, профессор (Россия, Санкт-Петербург)
Ефименко Н.В. – д-р мед. наук, профессор (Россия, Ессентуки)
Замощина Т.А. – д-р биол. наук, профессор (Россия, Томск)
Кайсинова А.С. – д-р мед. наук (Россия, Ессентуки)
Калинина И.Н. – д-р биол. наук, профессор (Россия, Краснодар)
Кобринский М.Е. – д-р пед. наук, профессор (Беларусь, Минск)
Козин В.В. – д-р пед. наук, доцент (Россия, Санкт-Петербург)
Махов А.С. – д-р пед. наук, доцент (Россия, Москва)
Мельников А.А. – д-р биол. наук, профессор (Россия, Москва)
Мирошников А.Б. – д-р биол. наук, доцент (Россия, Москва)
Нопин С.В. – канд. техн. наук, д-р биол. наук (Россия, Ессентуки)
Репс В.Ф. – д-р биол. наук (Россия, Пятигорск)
Рылова Н.В. – д-р мед. наук, профессор (Россия, Москва)
Сентябрев Н.Н. – д-р биол. наук, профессор (Россия, Волгоград)
Сивохин И.П. – д-р пед. наук (Казахстан, Костанай)
Смоленцева В.Н. – д-р психол. наук, профессор (Россия, Омск)
Тамбовцева Р.В. – д-р биол. наук, профессор (Россия, Москва)

MODERN ISSUES OF BIOMEDICINE © 2026

Vol. 10, No. 3(38), 2026

NETWORK ELECTRONIC SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL JOURNAL
Published since 2017, quarterly
Establisher:
FSBI "North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of FMBA of Russia".
Registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media.
Registration number: EL № FS 77 – 81042. Registration date: 25.05.2021.
ISSN: 2588-0500.
Headings of the journal: 'Physiology', 'Psychophysiology', 'Balneology and rehabilitation', 'Sports medicine', 'Physical culture and professional physical training', 'Theory and methods in sports', 'Health and adaptive physical culture', 'Biomechanics and bioengineering'.
The journal is included in the list of Higher Attestation Commission (HAC) of the Russian Federation.
Groups of scientific specialties approved by the HAC for publication of the principal research results of doctoral (candidate's) dissertations: 1.5.5. – Human and animal physiology (medical sciences); 1.5.5. – Human and animal physiology (biological sciences); 3.1.33. – Restorative medicine, sports medicine, exercise therapy, balneology and physiotherapy (medical sciences); 3.1.33. – Restorative medicine, sports medicine, exercise therapy, balneology and physiotherapy (biological sciences); 1.1.10. – Biomechanics and bioengineering (biological sciences); 5.3.2. – Psychophysiology (psychological sciences); 5.8.4. – Physical culture and professional physical training (pedagogical sciences); 5.8.5. – Theory and methodology of sports (pedagogical sciences); 5.8.6. – Health and adaptive physical culture (pedagogical sciences).
The journal is indexed in the database of the Russian scientific citation index (RSCI – bibliographic database of scientific publications of Russian scientists), Google Scholar, Crossref, Cyberleninka, Ulrich's Periodicals Directory.
All articles have DOI.
The journal is published in Russian.
All publications are peer-reviewed.
Access to the journal is free.
Establisher and publisher address: North-Caucasian federal Research-Clinical Center of FMBA of Russia.
24 Sovetskaya street, Essentuki, Stavropol Krai, 357600, Russia
E-mail: **svb@skfmba.ru.**
Domain name of the Internet portal of the journal: **http://svbskfmba.ru.**

EDITORIAL BOARD

Chief Editor of the Journal
Koryagina Yulia Vladislavovna – Doctor of Biological Sciences, Professor (Russia, Essentuki)

Deputy Chief Editor
Nopin Sergey Viktorovich – Candidate of Technical Sciences, Doctor of Biological Sciences (Russia, Essentuki)

Members of the Editorial Board:

Agranovich O.V. – Doctor of Medical Sciences, Professor (Russia, Stavropol)
Artemenko E.P. – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor (Russia, Kazan)
Badtieva V.A. – Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor (Russia, Moscow)
Bykov E.V. – Doctor of Medical Sciences, Professor (Russia, Chelyabinsk)
Golikova E.M. – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor (Russia, Orenburg)
Gorskaya I.Yu. – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Russia, Omsk)
Dvorkina N.I. – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Russia, Krasnodar)
Dvorkin L.S. – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Russia, Krasnodar)
Evseev S.P. – Corresponding Member of the Russian Academy of Education, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Russia, Saint Petersburg)
Efimenko N.V. – Doctor of Medical Sciences, Professor (Russia, Essentuki)
Zamoshchina T.A. – Doctor of Biological Sciences, Professor (Russia, Tomsk)
Kaisinova A.S. – Doctor of Medical Sciences (Russia, Essentuki)
Kalinina I.N. – Doctor of Biological Sciences, Professor (Russia, Krasnodar)
Kobrinsky M.E. – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Belarus, Minsk)
Kozin V.V. – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor (Russia, Saint Petersburg)
Makhov A.S. – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Russia, Moscow)
Melnikov A.A. – Doctor of Biological Sciences, Professor (Russia, Moscow)
Miroshnikov A.B. – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor (Russia, Moscow)
Nopin S.V. – Candidate of Technical Sciences, Doctor of Biological Sciences (Russia, Essentuki)
Reps V.F. – Doctor of Biological Sciences (Russia, Pyatigorsk)
Rylova N.V. – Doctor of Medical Sciences, Professor (Russia, Moscow)
Sentyabrev N.N. – Doctor of Biological Sciences, Professor (Russia, Volgograd)
Sivokhin I.P. – Doctor of Pedagogical Sciences (Kazakhstan, Kostanaj)
Smolentseva V.N. – Doctor of Psychological Sciences, Professor (Russia, Omsk)
Tambovtseva R.V. – Doctor of Biological Sciences, Professor (Russia, Moscow)

СОДЕРЖАНИЕ

Физиология

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ АДРЕНО- И ХОЛИНОРЕЦЕПТОРОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ
В.Н. Ананьев, Г.В. Ананьев, В.С. Филимонова, Е.С. Гуртовой 12

СЕМАНТИЧЕСКАЯ МАТРИЦА ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОГО АППАРАТА ОПИСАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ 20
П.А. Байгужин, Д.З. Шибкова

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ У ФИЗИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЛИЦ 5-20 ЛЕТ ПО ДАННЫМ СТАБИЛОМЕТРИИ 34
М.В. Васина, А.А. Мельников, С.А. Фирсин

ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПЯТЫХ КЛАССОВ ГОРОДСКОЙ И СЕЛЬСКОЙ ШКОЛ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ 40
Н.А. Гарская, Е.Н. Пашутина, О.В. Кочубей, Е.Е. Романенко

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ТЕЛА СТУДЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ 48
А.М. Гладышева, Т.Е. Батоцыренова, Ю.Н. Семенов

ИНДЕКСНАЯ ОЦЕНКА АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕВУШЕК И ЮНОШЕЙ 18-20 ЛЕТ, ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО РЕГИОНА 56
А.И. Закирова, О.Г. Литовченко

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ M. GASTROCNEMIUS MEDIALIS В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ У ФИГУРИСТОК ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕСТОВ 64
Н.Н. Захарьева, Д.А. Рыбкин

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОГО ОБУЧЕНИЯ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТУДЕНТОВ 77
Ю.А. Карвунис, Ю.Г. Калинникова, Н.А. Карвунис, В.В. Шевченко, Л.В. Капилевич

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И СНИЖЕНИЕ МЫШЕЧНОЙ БОЛИ С ПОМОЩЬЮ ЭКИПИРОВКИ С ТЕХНОЛОГИЕЙ ОКСИГЕНАЦИИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ 85
Ю.В. Корягина, К.Ю. Орлов, А.Ю. Дмитрак, Ю.В. Кушнарева, В.В. Дейнеко

ОЦЕНКА ОТСРОЧЕННЫХ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ КРЫСЯТ, ПОДВЕРГНУТЫХ ОСТРОЙ НОРМОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ, В ТЕСТЕ «ОТКРЫТОЕ ПОЛЕ» 91
Е.В. Макарова-Горбачева, В.В. Леонов, О.Н. Павлова, О.Н. Гуленко

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДИКТОРЫ ЖИРОВОЙ МАССЫ ТЕЛА У СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ИНСТИТУТА СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ 103
В.П. Мальцев, А.А. Говорухина

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СТАБИЛОГРАФИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТАТОКИНЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СПОРТСМЕНОВ В ОТВЕТ НА РАЗЛИЧНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ 108
А.С. Назаренко, Ф.А. Мавлиев, Р.А. Юсупов

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОДРОСТКОВ КОРЕННЫХ МАЛОЧИСЛЕННЫХ НАРОДОВ СЕВЕРА ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРНАТА 116
А.Н. Ослина, В.В. Колпаков, А.А. Ткачук, А.И. Березенцева

ЦИФРОВОЙ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ЧЕЛОВЕКА: КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ИНДЕКСА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗРАСТА 128
Г.В. Пономарева, О.В. Тарасов, А.А. Моисеенко, Е.С. Кутин, А.О. Попова

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ДЕЗАДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ СЕВЕРНОГО ВУЗА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПСИХОСОЦИАЛЬНОГО СТРЕССА 136
М.А. Попова, А.Э. Щербакова, А.С. Лакомкина

АДАПТИВНЫЕ МОДИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЬНОЙ И ВЕГЕТАТИВНЫХ ФУНКЦИЙ У КИКБОКСЕРОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ 145
Ю.Н. Романов, А.А. Захарец, А.В. Шевцов, Л.А. Романова

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОГЕРЕНТНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ И ПОСТУРАЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ У КИКБОКСЕРОВ ВЫСОКОЙ И НИЗКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ 152
Ю.Н. Романов, П.А. Байгужин, А.П. Павлова

АССОЦИАЦИЯ НУТРИТИВНОГО СТАТУСА С ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТЬЮ ДЕТЕЙ 6-12 ЛЕТ: КРОСС-СЕКЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В КОНТЕКСТЕ НОРМАТИВОВ «ГОТОВ К ТРУДУ И ОБОРОНЕ» 161
В.В. Сверчков, Е.В. Быков

ДИНАМИКА КОМПЛЕКСА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КИБЕРСПОРТСМЕНОВ ВО ВРЕМЯ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОГО ТУРНИРА 172
Н.С. Скаржинский, Ю.В. Корягина, Е.Н. Скаржинская

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КРИТИЧЕСКОГО ДИАФИЗАРНОГО ДЕФЕКТА БЕДРЕННОЙ КОСТИ КРЫСЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСТЕОКОНДУКТИВНОСТИ КОСТНОЗАМЕЩАЮЩИХ ИМПЛАНТАТОВ 179
Г.А. Шипунов, И.М. Щербаков, В.Э. Дубров, Н.В. Данилова, П.В. Евдокимов

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АДАПТАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКЕ У ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ 191
А.Г. Шокуева, И.Х. Борукаева, Т.Б. Кипкеева, Ф.В. Шаваева, Л.К. Шерхова

Психофизиология

ПСИХОЛОГО-ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДИКТОРЫ КОЛИЧЕСТВА ЦИКЛОВ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОГО ОПЛОДОТВОРЕНИЯ У ЖЕНЩИН 199
Д.В. Ясная, Л.А. Проскурякова

Курортология и реабилитация

ОТДАЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ САНАТОРНО-КУРОРТНОГО ЛЕЧЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ ОБСТРУКТИВНОЙ БОЛЕЗНЬЮ ЛЕГКИХ 208
И.А. Гришечкина, М.Ю. Яковлев

ЭВОЛЮЦИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ЛЕЧЕНИЮ И РЕАБИЛИТАЦИИ ДЕТЕЙ С ВРОЖДЕННОЙ КАТАРАКТОЙ 214
Е.А. Дугина, О.В. Попова, О.И. Борзунов, А.А. Федоров, Н.С. Борзунова

ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ 222
В.С. Нопина, В.В. Корнева, Ю.В. Корягина

ВЛИЯНИЕ СПЛЕНЭКТОМИИ И РЕЗЕКЦИИ СЕЛЕЗЕНКИ НА АКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ФЕРМЕНТОВ ПЕЧЕНИ 231
Р.И. Рагимова, Г.С. Рагимов, Н.Г. Мазанова, Р.Г. Рагимов, Ф.З. Алиярова

БИОУПРАВЛЯЕМАЯ МЕХАНОКИНЕЗОТЕРАПИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАБИЛОПЛАТФОРМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ (НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ) 237
М.П. Сутункова, Е.В. Негодаева, А.А. Федоров, А.А. Кескевич, Ю.М. Борзунова

РОЛЬ СЛИНГ-СИСТЕМЫ «REDCORD» В КОМПЛЕКСНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ТОТАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА 248
М.В. Тюляева, А.А. Мартиросян, Н.А. Скорова, Р.А. Аведян, Л.С. Ходасевич

ОЦЕНКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С КОЛОРЕКТАЛЬНЫМ РАКОМ ПОСЛЕ ХИРУРГИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА 255
М.Б. Узденов, Д.К. Бадахова, А.А. Федоров, А.А. Джанибекова, А.С. Кайсинова

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СУБКЛИНИЧЕСКОГО ПЕРВИЧНОГО ГИПОТИРЕОЗА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЛКОВЫХ МАРКЕРОВ 264
И.Н. Чадова, Н.Г. Беляев

Спортивная медицина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ РЕАБИЛИТАЦИИ СПОРТСМЕНОВ МОЛОДОГО ВОЗРАСТА С ПОСТКОВИДНЫМ АСТЕНИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ 272
Р.М. Малевич, Д.Б. Сумная, Е.В. Быков, И.В. Николаева, А.А. Кинзерский

ТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕМЕДИКАМЕНТОЗНЫХ МЕТОДОВ РЕАБИЛИТАЦИИ СПОРТСМЕНОВ С ПАНИЧЕСКИМИ РАССТРОЙСТВАМИ 286
И.В. Николаева, Д.Б. Сумная, М.В. Кулешова, А.А. Кинзерский

Теория и методика спорта

ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ 9-11 ЛЕТ НА ЭТАПЕ НАЧАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ 301
А.И. Головачев, В.И. Колыхматов, С.В. Широкова, Е.А. Сигов, Д.О. Хрекин

ЭКОНОМИЧНОСТЬ БЕГА У БЕГУНОВ НА ДЛИННЫЕ ДИСТАНЦИИ НА ЭТАПЕ СПОРТИВНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ 309
В.Д. Емельянов, А.И. Ларькин

ДИНАМИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ БАСКЕТБОЛИСТОК СТУДЕНЧЕСКОЙ КОМАНДЫ ПРИ БЛОКОВОЙ ПЕРИОДИЗАЦИИ В ГОДИЧНОМ ЦИКЛЕ ПОДГОТОВКИ 314
Ю.Н. Емельянова, Е.О. Степанов

ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ БОКСЕРОВ 13-14 ЛЕТ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ 321
М.В. Жуков, В.В. Козин

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СТРЕЛКОВОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ЮНЫХ БИАТЛОНИСТОВ 328
Н.С. Загурский, Я.С. Романова, В.И. Михалев

БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ ЗАРУБЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ, ПОСВЯЩЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ В ВЕЛОСПОРТЕ 336
Ю.В. Корягина, С.В. Нопин, В.С. Нопина, О.Н. Акимкина

БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫЙ ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНИКО-ТАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ХОККЕЙНЫХ ВРАТАРЕЙ 15-16 ЛЕТ С УЧЕТОМ ЗОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ БРОСКОВ 347
С.К. Туржанов, В.А. Блинов, А.В. Левкин, С.Н. Мищенко

Оздоровительная и адаптивная физическая культура

ВЛИЯНИЕ ПОЛУШАРНОГО ДОМИНИРОВАНИЯ НА ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ В АЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДАХ СПОРТА СПОРТСМЕНОВ-ИНВАЛИДОВ С СЕНСОРНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ 356
К.С. Кошкина, Е.В. Быков, Е.Г. Сидоркина, А.В. Чипышев, В.В. Сверчков

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА У ЛЕГКОАТЛЕТОВ СПОРТА ЛИЦ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ 366
Т.В. Красноперова, Н.Б. Лукманова, М.В. Быстрова

Биомеханика и биоинженерия

БИОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КАППА-КАРРАГИНАНА И АЛЬГИНАТА НАТРИЯ 374
П.А. Марков, Е.А. Рожкова, П.С. Еремин

CONTENTS

Physiology

HISTORY OF THE DISCOVERY OF ADRENERGIC AND CHOLINERGIC RECEPTORS AND THEIR SIGNIFICANCE
V.N. Ananev, G.V. Ananev, V.S. Filimonova, E.S. Gurtovoy 12

SEMANTIC MATRIX OF THE TERMINOLOGICAL APPARATUS FOR DESCRIBING THE FUNCTIONAL STATE OF BODY SYSTEMS IN BIOMEDICAL RESEARCH
P.A. Baiguzhin, D.Z. Shibkova 20

AGE-RELATED FEATURES OF POSTURAL REGULATION IN PHYSICALLY ACTIVE INDIVIDUALS AGED 5-20 YEARS ACCORDING TO THE STABILOMETRY DATA
M.V. Vasina, A.A. Melnikov, S.A. Firsin 34

ADAPTIVE CAPACITIES OF 5TH-GRADE URBAN AND RURAL SCHOOLCHILDREN ASSESSED BY CARDIOVASCULAR SYSTEM INDICATORS
N.A. Garskaya, E.N. Pashutina, O.V. Kochubey, E.E. Romanenko 40

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FUNCTIONAL STATE AND BODY COMPOSITION OF STUDENTS WITH DIFFERENT LEVELS OF PHYSICAL ACTIVITY
A.M. Gladysheva, T.E. Batotsyrenova, Yu.N. Semenov 48

INDEX ASSESSMENT OF ANTHROPOMETRIC INDICATORS OF YOUNG ADULTS AGED 18-20 RESIDING IN THE NORTHERN REGION
A.I. Zakirova, O.G. Litovchenko 56

BIOELECTRIC CHARACTERISTICS OF M. GASTROCNEMIUS MEDIALIS IN PROVIDING POSTURAL CONTROL OF HIGHLY QUALIFIED FIGURE SKATERS PERFORMING STABILOMETRIC TESTS
N.N. Zakharyeva, D.A. Rybkin 64

THE IMPACT OF DIGITAL LEARNING TECHNOLOGIES ON STUDENTS' PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS
Yu.A. Karvunis, Yu.G. Kalinnikova, N.A. Karvunis, V.V. Shevchenko, L.V. Kapilevich 77

REAL-TIME ADJUSTMENT OF RECOVERY PROCESSES AND REDUCTION OF MUSCLE PAIN WITH OXYGENATION TECHNOLOGY EQUIPMENT
Yu.V. Koryagina, K.Yu. Orlov, A.Yu. Dmitrak, Yu.V. Kushnareva, V.V. Deineko 85

ASSESSMENT OF DELAYED BEHAVIORAL RESPONSES IN RAT PUPS SUBJECTED TO ACUTE NORMOBARIC HYPOXIA IN THE OPEN FIELD TEST
E.V. Makarova-Gorbacheva, V.V. Leonov, O.N. Pavlova, O.N. Gulenko 91

PSYCHOLOGICAL PREDICTORS OF BODY FAT MASS IN THE MIDDLE OB MEDICAL INSTITUTE STUDENTS
V.P. Maltsev, A.A. Govorukhina 103

INTEGRAL STABILOGRAPHIC INDICATORS OF STATOKINETIC STABILITY OF ATHLETES IN RESPONSE TO VARIOUS FUNCTIONAL LOADS
A.S. Nazarenko, F.A. Mavliev, R.A. Yusupov 108

PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND STRESS RESISTANCE IN NORTHERN INDIGENOUS ADOLESCENTS UNDER HEALTH-PRESERVING TECHNOLOGIES IN BOARDING SCHOOLS 116
A.N. Oslina, V.V. Kolpakov, A.A. Tkachuk, A.I. Berezentseva

DIGITAL HUMAN PHYSIOLOGICAL PROFILE: A CONCEPT OF AN INTEGRAL PHYSIOLOGICAL AGE INDEX 128
G.V. Ponomareva, O.V. Tarasov, A.A. Moiseenko, E.S. Kutin, A.O. Popova

PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL DETERMINANTS OF MALADAPTATION IN NORTHERN UNIVERSITY STUDENTS EXPOSED TO PSYCHOSOCIAL STRESS 136
M.A. Popova, A.E. Shcherbakova, A.S. Lakomkina

ADAPTIVE MODIFICATIONS OF MOTOR AND AUTONOMIC FUNCTIONS IN ELITE KICKBOXERS 145
Yu.N. Romanov, A.A. Zakharets, A.V. Shevtsov, L.A. Romanova

ANALYSIS OF FUNCTIONAL RELATIONSHIPS BETWEEN ELECTRO-ENCEPHALOGRAM COHERENCE AND POSTURAL STABILITY IN HIGH- AND LOW-SKILLED KICKBOXERS 152
Yu.N. Romanov, P.A. Baiguzhin, A.P. Pavlova

ASSOCIATION OF NUTRITIONAL STATUS WITH PHYSICAL FITNESS IN CHILDREN AGED 6-12 YEARS: A CROSS-SECTIONAL STUDY IN THE CONTEXT OF THE “READY FOR LABOR AND DEFENSE” STANDARDS 161
V.V. Sverchkov, E.V. Bykov

DYNAMICS OF PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF ESPORTS ATHLETES DURING A COMPETITIVE TOURNAMENT 172
N.S. Skarzhinsky, Yu.V. Koryagina, E.N. Skarzhinskaya

RAT MODEL OF A FEMORAL CRITICAL DIAPHYSEAL DEFECT DEVELOPMENT TO EVALUATE THE OSTEOCONDUCTIVITY OF BONE SUBSTITUTION IMPLANTS 179
G.A. Shipunov, I.M. Scherbakov, V.E. Dubrov, N.V. Danilova, P.V. Evdokimov

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF ADAPTIVE CHANGES IN THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM DURING INTERVAL HYPOXIC TRAINING IN INDIVIDUALS LIVING IN DIFFERENT CLIMATIC AND GEOGRAPHICAL CONDITIONS 191
A.G. Shokueva, I.Kh. Borukaeva, T.B. Kipkeeva, F.V. Shavaeva, L.K. Sherkhova

Psychophysiology

PSYCHOLOGICAL AND PSYCHOPHYSIOLOGICAL PREDICTORS OF THE NUMBER OF IN VITRO FERTILIZATION CYCLES IN WOMEN 199
D.V. Yasnaya, L.A. Proskuryakova

Balneology and rehabilitation

LONG-TERM OUTCOMES OF SPA TREATMENT OF VARIOUS DURATION FOR PATIENTS WITH CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE 208
I.A. Grishechkina, M.Yu. Yakovlev

THE EVOLUTION OF HISTORICAL APPROACHES TO THE REHABILITATION OF CHILDREN WITH CONGENITAL CATARACT 214
E.A. Dugina, O.V. Popova, O.I. Borzunov, A.A. Fedorov, N.S. Borzunova

THERAPEUTIC AND RECREATION POTENTIAL OF THE VORONEZH OBLAST
V.S. Nopina, V.V. Korneva, Yu.V. Koryagina 222

THE EFFECT OF SPLENECTOMY AND SPLEEN RESECTION ON THE ACTIVITY OF CERTAIN LIVER ENZYMES
R.I. Ragimova, G.S. Ragimov, N.G. Mazanova, R.G. Ragimov, F.Z. Aliarova 231

BIOFEEDBACK MECHANICAL KINESIOTHERAPY USING A NEXT GENERATION FORCE PLATFORM IN MEDICAL REHABILITATION (SCIENTOMETRIC ANALYSIS)
M.P. Sutunkova, E.V. Negodaeva, A.A. Fedorov, A.A. Keskevich, Yu.M. Borzunova 237

THE ROLE OF THE REDCORD SLING SYSTEM IN COMPREHENSIVE REHABILITATION OF PATIENTS AFTER TOTAL HIP REPLACEMENT
M.V. Tyulyaeva, A.A. Martirosyan, N.A. Skorova, R.A. Avedyan, L.S. Khodasevich 248

EVALUATION OF PATIENTS RECOVERY WITH COLORECTAL CANCER AFTER SURGERY
M.B. Uzdenov, D.K. Badakhova, A.A. Fedorov, A.A. Dzhanibekova, A.S. Kaisinova 255

CURRENT CHALLENGES IN THE DIAGNOSIS OF SUBCLINICAL PRIMARY HYPOTHYROIDISM AND PROSPECTS FOR THE USE OF PROTEIN MARKERS
I.N. Chadova, N.G. Belyaev 264

Sports medicine

IMPROVING THE REHABILITATION PROGRAM FOR YOUNG ATHLETES WITH POST-COVID ASTHENIC SYNDROME
R.M. Malevich, D.B. Sumnaya, E.V. Bykov, I.V. Nikolaeva, A.A. Kinzersky 272

THERAPEUTIC EFFECTIVENESS OF NON-DRUG REHABILITATION METHODS FOR ATHLETES WITH PANIC DISORDERS
I.V. Nikolaeva, D.B. Sumnaya, M.V. Kuleshova, A.A. Kinzersky 286

Theory and methods in sports

DEVELOPMENT OF ENERGY POTENTIAL OF 9-11 YEAR-OLD CROSS-COUNTRY SKIERS AT THE INITIAL TRAINING STAGE
A.I. Golovachev, V.I. Kolykhmatov, S.V. Shirokova, E.A. Sigov, D.O. Khrekin 301

LONG-DISTANCE RUNNING EFFICIENCY AT THE SPORTS SPECIALIZATION STAGE: LABORATORY EVALUATION AND COMPARATIVE ANALYSIS
V.D. Emelyanov, A.I. Larkin 309

DYNAMICS OF FUNCTIONAL FITNESS OF STUDENT BASKETBALL PLAYERS DURING BLOCK PERIODIZATION IN THE ANNUAL TRAINING CYCLE
Yu.N. Emelyanova, E.O. Stepanov 314

INDIVIDUALIZATION OF TACTICAL AND TECHNICAL TRAINING OF 13-14-YEAR-OLD BOXERS BASED ON COMPETITIVE ACTIVITY ANALYSIS
M.V. Zhukov, V.V. Kozin 321

A COMPREHENSIVE APPROACH FOR THE ASSESSMENT OF SHOOTING AND FUNCTIONAL FITNESS IN YOUNG BIATHLETES
N.S. Zagurskiy, Ya.S. Romanova, V.I. Mikhalev 328

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF FOREIGN PUBLICATIONS DEDICATED TO TECHNICAL TRAINING IN CYCLING 336
Yu.V. Koryagina, S.V. Nopin, V.S. Nopina, O.N. Akimkina

A BLOCK-MODULAR APPROACH TO IMPROVING TECHNICAL AND TACTICAL TRAINING OF 15-16-YEAR-OLD HOCKEY GOALKEEPERS BASED ON THE ZONAL STRUCTURE OF SHOTS 347
S.K. Turzhanov, V.A. Blinov, A.V. Levkin, S.N. Mishchenko

Health and adaptive physical culture

THE INFLUENCE OF HEMISPHERIC DOMINANCE ON THE FEATURES OF POSTURAL STABILITY OF ACYCLIC SPORTS ATHLETES WITH SENSORY IMPAIRMENT 356
K.S. Koshkina, E.V. Bykov, E.G. Sidorkina, A.V. Chipyshev, V.V. Sverchkov

THE RELATIONSHIP BETWEEN NEUROMUSCULAR PARAMETERS IN TRACK-AND-FIELD ATHLETES WITH INTELLECTUAL DISABILITIES 366
T.V. Krasnoperova, N.B. Lukmanova, M.V. Bystrova

Biomechanics and bioengineering

BIOFUNCTIONAL PROPERTIES OF COMPOSITE HYDROGELS BASED ON KAPPA-CARRAGEENAN AND SODIUM ALGINATE 374
P.A. Markov, E.A. Rozhkova, P.S. Eremin

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_1
УДК 612.5

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_1
UDC 612.5

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ АДРЕНО- И ХОЛИНОРЕЦЕПТОРОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ

В.Н. Ананьев[1], Г.В. Ананьев[2], В.С. Филимонова[3], Е.С. Гуртовой[4]

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук», г. Москва, Россия

[2]Акционерное общество «ФАРМСТАНДАРТ», г. Москва, Россия

[3]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина», г. Москва, Россия

[4]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Тюмень, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Открытие адрено- и холинорецепторов позволило создать новые лекарственные вещества, которые стали применяться для лечения гипертонической болезни, ишемической болезни сердца, бронхиальной астмы и других заболеваний. ***Методы.*** Проведен анализ литературы по данной теме в PubMed. ***Результаты.*** Особое внимание уделено ученым, совершившим ключевые открытия: Генри Дейлу и Отто Леви (химическая передача нервного импульса, Нобелевская премия 1936 г.), Рэймонду Алквисту (разделение адренорецепторов на α- и β-типы, 1948 г.), Алонзо Ландсу (подклассификация β-адренорецепторов на β1 и β2, 1967 г.), Джеймсу Блэку (разработка первого β-блокатора пропранолола, Нобелевская премия 1988 г.), а также Роберту Лефковицу и Брайану Кобилке (структура β-адренорецепторов, Нобелевская премия 2012 г.). ***Заключение.*** Обсуждается вклад исследования адрено- и холинорецепторов как для фундаментальной науки, так и для практической медицины.

Ключевые слова: адренорецепторы, холинорецепторы.

HISTORY OF THE DISCOVERY OF ADRENERGIC AND CHOLINERGIC RECEPTORS AND THEIR SIGNIFICANCE

V.N. Ananev[1], G.V. Ananev[2], V.S. Filimonova[3], E.S. Gurtovoy[4]

[1]Institute of Biomedical Problems, Moscow, Russia

[2]“PHARMSTANDART” Joint Stock Company, Moscow, Russia

[3]Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin, Moscow, Russia

[4]Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The discovery of adrenergic and cholinergic receptors has led to the development of new drugs used to treat hypertension, coronary heart disease, asthma, and other conditions. ***Methods.*** A literature review was conducted in PubMed. ***Results.*** Particular attention has been given to the scientists who made key discoveries: Henry Dale and Otto Loewi (chemical transmission of nerve impulses, Nobel Prize 1936), Raymond Ahlquist (division of adrenergic receptors into α- and β-types, 1948), Alonzo Lands (subclassification of β-adrenergic receptors into β1 and β2, 1967), James Black (development of the first β-blocker propranolol, Nobel Prize 1988), Robert Lefkowitz and Brian Kobilka (structure of β-adrenergic receptors, Nobel Prize 2012). ***Conclusion.*** The contribution of adrenergic and cholinergic receptors research to both basic science and practical medicine is discussed.

Keywords: adrenergic receptors, cholinergic receptors.

Введение. Функционирование вегетативной нервной системы основано на взаимодействии нейромедиаторов норадреналина (норэпинефрина) и адреналина (эпинефрина) с одной стороны и ацетилхолина с другой, со специфическими мембранными белками – рецепторами [1, 2]. Именно эти рецепторы определяют специфичность клеточного ответа и лежат в основе действия множества лекарственных средств

– от гипотензивных препаратов до миорелаксантов и когнитивных стимуляторов [3].

Адрено- (адренергические рецепторы) и холинорецепторы (холинергические рецепторы) исторически были первыми объектами рецепторной теории, и их изучение во многом определило развитие современной фармакологии [4]. История их открытия и классификаций, охватывающая более 130 лет, включает несколько ключевых этапов: от гипотезы о «рецептивных субстанциях» до фармакологических классификаций подтипов и структурной расшифровки трехмерной организации. Каждый из этих этапов связан с выдающимися учеными, многие из которых были удостоены Нобелевской премии [4, 5].

Цель данного обзора – рассмотреть основные вехи открытия адрено- и холинорецепторов, их молекулярную организацию, фармакологическую классификацию и роль в разработке современных лекарственных препаратов.

Методы и организация исследования. Основным методом исследования был анализ литературных источников поисковой системы PubMed, из которых мы включили в обзор 56 основных источников литературы.

Результаты исследования и их обсуждение. Основы рецепторной концепции были заложены британским физиологом Джоном Ньюпортом Лэнгли. В своей классической работе 1905 года «О реакции клеток и нервных окончаний на некоторые яды, главным образом о реакции поперечнополосатой мышцы на никотин и кураре» Лэнгли показал, что никотин вызывает сокращение мышцы, тогда как кураре блокирует как действие никотина, так и нервную стимуляцию [5, 6]. Лэнгли заключил, что в мышце существует специфическая «рецептивная субстанция», которая взаимодействует как с никотином, так и с кураре. Так, была сформулирована гипотеза о рецепторе как о материальном субстрате. Позднее, в 1914 году, он распространил эти наблюдения, количественно проанализировав антагонизм между никотином и тубокурарином [7].

Химическая природа нейромедиатора была раскрыта работами сэра Генри Халлетта Дейла и Отто Леви. В 1913-1914 годах Дейл выделил ацетилхолин из тканей животных и охарактеризовал его как эндогенное соединение [8, 9]. Настоящим прорывом стали опыты Леви 1921 года: он продемонстрировал, что стимуляция блуждающего нерва лягушки высвобождает растворимое вещество – *Vagusstoff* (позже идентифицированное как ацетилхолин), которое замедляет частоту сердечных сокращений другого изолированного сердца [10, 11]. Это было первое прямое доказательство химической передачи нервного импульса.

В 1936 году Дейл и Леви были совместно удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине «за открытия, касающиеся химической передачи нервных импульсов» [12].

Таблица 1

Ключевые ученые в открытии адрено- и холинорецепторов

Ученый	Основной вклад	Годы ключевых работ	Нобелевская премия, год присуждения
Джон Ньюпорт Лэнгли	Концепция «рецептивных субстанций» (никотиновые рецепторы)	1905-1914	–
Генри Дейл	Открытие ацетилхолина; разделение на мускариновые и никотиновые эффекты	1913-1936	О. Леви и Г. Дейл совместо удостоины премии в 1936 году
Отто Леви	Доказательство химической передачи (*Vagusstoff*)	1921-1936	
Рэймонд Алквист	Классификация на α- и β-адренорецепторы	1948	–
Алонзо Ландс	Подклассификация β-адренорецепторов (β_1, β_2)	1967	–
Джеймс Блэк	Первый β-блокатор (пропранолол)	1958-1964	1988
Роберт Лефковиц	Идентификация и очистка β-адренорецептора; клонирование GPCR	1970-1986	Б. Кобилка и Р. Лефковиц совместо удостоены прмеии в 2012 году
Брайан Кобилка	Трехмерная структура β_2-адренорецептора	2000-2011	

Примечание: GPCR (G-protein-coupled receptors) – G-белок-сопряженные рецепторы.

Никотиновые и мускариновые рецепторы, классификация Дейла. Вскоре после открытия ацетилхолина Дейл установил, что этот нейромедиатор обладает двумя типами эффектов [11, 13]. Введение ацетилхолина животному вызывает сокращение мышц (никотиновый эффект), а также дает эффекты, напоминающие действие мускарина – алкалоида мухомора *Amanita muscaria*: замедление сердечного ритма, сокращение гладких мышц внутренних органов и стимуляцию секреции желез [14]. В знаменательной публикации 1914 года Дейл обозначил эти два типа активности как никотиновую и мускариновую [15].

Это разделение заложило фундамент современной классификации холинорецепторов [4]:

1) Никотиновые ацетилхолиновые рецепторы (nAChR) – ионотропные рецепторы, пентамерные лиганд-управляемые ионные каналы, обеспечивающие быстрое возбуждение скелетных мышц и вегетативных ганглиев [16];

2) Мускариновые ацетилхолиновые рецепторы (mAChR) – метаботропные рецепторы, принадлежащие к надсемейству GPCR (G-protein-coupled receptors – G-белок-сопряженные рецепторы) и опосредующие более медленные ответы внутренних органов и желез [17].

Никотиновый рецептор стал первым нейромедиаторным рецептором, очищенным и охарактеризованным на молекулярном уровне. В 1970-х годах, используя электрический орган ската *Torpedo* (богатый этим белком), Жан-Пьер Шанже с сотрудниками выделил nAChR, определил его субъединичный состав и показал пентамерную структуру [18-20]. Для мускариновых рецепторов позднее было показано существование пяти подтипов (M1-M5), кодируемых разными генами и опосредующих различные физиологические эффекты [21, 22].

Симпатический медиатор и гипотеза двух передатчиков. История открытия адренорецепторов началась с изучения эффектов стимуляции симпатической нервной системы. На рубеже XIX-XX веков физиологи наблюдали, что симпатические нервы могут вызывать противоположные ответы – например, возбуждение в одних органах и торможение в других [23]. Это наблюдение привело к гипотезе о существовании двух различных химических передатчиков в симпатической нервной системе. В 1930-х годах канадский физиолог Уилбур Б. Кэннон и его ученик Артуро Розенблют предложили существование двух симпатинов: «симпатин E» (возбуждающий) и «симпатин I» (тормозящий) [24].

Однако решающий шаг сделал американский фармаколог Рэймонд Альквист. В 1948 году он опубликовал новаторскую статью «Исследование адренорецепторов» [25]; в ней он сравнил активность шести симпатомиметических аминов (включая адреналин, норадреналин и изопреналин) на разных органах и показал, что порядок активности варьирует в зависимости от органа-эффектора [25, 26].

Альквист заключил, что существуют два различных типа адренергических рецепторов, которые он назвал:

1) α-Адренорецепторы – опосредуют главным образом возбуждающие эффекты (вазоконстрикция, сокращение матки и радужной оболочки);

2) β-Адренорецепторы – опосредуют главным образом тормозные эффекты (вазодилатация, бронходилатация), а также стимуляцию сердца [27].

Важно отметить, что классификация Алквиста была принята не сразу: многие фармакологи продолжали придерживаться теории симпатинов Кэннона [28]. Тем не менее, концепция двух типов рецепторов в конечном счете стала общепринятой и легла в основу всех последующих исследований адренорецепторов.

Дальнейшая подклассификация β-Адренорецепторов и подтипов β1, β2, β3. В 1967 году Алонзо Ландс с сотрудниками, используя селективные агонисты (добутамин, сальбутамол), показали, что β-адренорецепторы неоднородны. Они выделили два подтипа: β1 (преимущественно в сердце, опосредует положительный инотропный и хронотропный эффекты) и β2 (преимущественно в бронхах и кровеносных сосудах, опосредует бронходилатацию и вазодилатацию) [29, 30]. Это открыло путь к разработке селективных β1-блокаторов (например, метопролол, атенолол) без бронхоконстрикторных побочных эффектов [31].

Позже был найден третий подтип – β3-адренорецепторы, участвующие в липолизе в жировой ткани и расслаблении детрузора мочевого пузыря [32].

Подклассификация α-адренорецепторов на подтипы α1 и α2. Подклассификация α-адренорецепторов пошла более сложным путем. В 1970-х годах с использованием празозина (антагониста с высокой селективностью к α1) и йохимбина (α2-антагониста) было доказано существование двух различных подтипов: α1 (постсинаптические, опосредуют вазоконстрикцию) и α2 (преимущественно пресинаптические, регулируют высвобождение норадреналина по механизму обратной связи) [33, 34].

Впоследствии молекулярное клонирование выявило три подтипа α1-адренорецепторов (α1A, α1B, α1D) и три подтипа α2-адренорецепторов (α2A, α2B, α2C) [35]. Таким образом, «α-подобная» и «β-подобная» классификация Алквиста эволюционировала в сложное генеалогическое древо.

Адренорецепторы как мишени лекарств: Джеймс Блэк и первые β-блокаторы. Открытие подтипов адренорецепторов не только имело академическое значение, но и привело к созданию одного из важнейших классов сердечно-сосудистых препаратов – β-адреноблокаторов [36]. Шотландский фармаколог сэр Джеймс Уайт Блэк, работая в ICI Pharmaceuticals в конце 1950-х годов, поставил цель найти молекулу, которая защищала бы сердце от чрезмерной адренергической стимуляции, приводящей к стенокардии и аритмиям. Основываясь на концепции β-адренорецепторов Алквиста, Блэк и его коллеги разработали первый β-блокатор – пронеталол (1962), а затем более безопасный и эффективный β-блокатор – пропранолол (1964) [37, 38]. Пропранолол, продаваемый под торговой маркой Inderal, быстро стал «золотым стандартом» для лечения гипертонии, стенокардии, аритмий и инфаркта миокарда [39]. В 1988 году Блэк был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине «за открытие важных принципов лекарственной терапии» [40]. Блэк также применил тот же принцип рационального дизайна лекарств для разработки циметидина – первого антагониста гистаминовых Н-рецепторов для лечения язвы желудка [41]. В соответствии с четким пониманием рецепторной мишени, этот подход получил название «обратной фармакологии» или рационального дизайна [42].

Молекулярная идентификация, клонирование и структура адренорецепторов. До 1970-х годов адренорецепторы оставались гипотетическими сущностями, известными только по фармакологическим опытам. Решающий прорыв произошел благодаря работам американского биохимика Роберта Лефковица. В 1968 году он начал использовать радиоактивно меченные лиганды: изотопы йода присоединялись к гормонам, и по измерению радиоактивности обнаруживалось специфическое связывание с мембранными белками. Таким образом, β-адренергический рецептор был впервые «увиден» как физическая сущность [43, 44]. На протяжении 1970-1980-х годов Лефковиц и его коллеги разработали методы солюбилизации и очистки β-адренергического рецептора с использованием аффинной хроматографии. Очищенный рецептор затем реконструировали в искусственные липидные везикулы вместе с G-белками, что доказало, что одного этого белка достаточно для передачи сигнала от адреналина (через Gs) к аденилатциклазе [45, 46]. В 1986 году произошло ключевое событие: группа Лефковица при активном участии Брайана Кобилки клонировала ген, кодирующий β1-адренергический рецептор [47, 48]. Оказалось, что β1-адренорецептор принадлежит к суперсемейству GPCR и, подобно родопсину (зрительному пигменту), имеет семь трансмембранных доменов. Это открытие подтвердило, что адренорецепторы кодируются геномом человека и являются полноценными белковыми молекулами [49]. Финальным этапом стало получение трехмерной структуры β1-адренорецептора. В 2011 году Кобилка с соавторами методом рентгеновской кристаллографии изучили структуру β1-адренорецептора в комплексе с G-белком (Gs) [50]. Это был технический подвиг, поскольку кристаллизовать мембранный белок с семью трансмембранными спиралями чрезвычайно трудно. Структура впервые показала связывающий карман для адреналина и конформационные изменения, приводящие к активации G-белка [51].

В 2012 году Лефковиц и Кобилка были удостоены Нобелевской премии по химии «за исследования G-белок-сопряженных рецепторов» [52].

Таблица 2

Клинические приложения

Тип рецептора	Ключевые функции	Терапевтические применения
β1-Адренорецептор	Частота сердечных сокращений ↑, сократимость ↑	β1-блокаторы (метопролол, атенолол) при гипертонии, сердечной недостаточности
β2-Адренорецептор	Бронходилатация, вазодилатация	β2-агонисты (сальбутамол) при астме; β2-блокаторы (редко)
α1-Адренорецептор	Вазоконстрикция, расширение зрачка	α1-блокаторы (празозин, доксазозин) при гипертонии и доброкачественной гиперплазии предстательной железы
α2-Адренорецептор	Ингибирование высвобождения нейромедиатора	α2-агонисты (клонидин) при гипертонии; антагонисты при депрессии
Никотиновый AChR (мышечный тип)	Сокращение скелетных мышц	Миорелаксанты (производные кураре) в анестезиологии
Никотиновый AChR (нейрональный тип)	Ганглионарная передача	Ганглиоблокаторы при тяжелой гипертонии (устарели); частичные агонисты для отказа от курения
Мускариновые M1-M5	Частота сердечных сокращений ↓, секреция желез, сокращение гладкой мускулатуры	Атропин (неселективный антагонист); пилокарпин при глаукоме; ингибиторы ацетилхолинэстеразы при миастении

Примечание: AChR – ацетилхолиновые рецепторы.

Сравнительный обзор и клиническое значение учения о рецепторах. Все описанные открытия имели огромное клиническое и фармакологическое значение. В таблице 2 суммированы основные клинические последствия открытия адрено- и холинорецепторов.

Кроме того, ингибиторы ацетилхолинэстеразы (физостигмин, донепезил, ривастигмин, галантамин) применяются в клинике как симптоматические средства для лечения болезни Альцгеймера [53]. Аутоиммунное заболевание миастения гравис, при котором аутоантитела направлены против никотиновых ацетилхолиновых рецепторов нервно-мышечного соединения, также напрямую зависит от этих рецепторных систем: его диагностика основана на выявлении анти-AChR антител [54-56].

Заключение. Таким образом, история открытия адрено- и холинорецепторов представляет собой классический пример взаимодействия фундаментальной науки и клинической практики – от первой гипотезы о «рецептивной субстанции» через классификацию типов рецепторов к молекулярному клонированию генов и определению трехмерных структур. Такие ученые, как Джон Лэнгли, Генри Дейл, Отто Леви, Рэймонд Алквист, Алонзо Ландс, Джеймс Блэк, Роберт Лефковиц и Брайан Кобилка, заложили основы современной фармакологии и дали клиницистам эффективные инструменты для лечения сердечно-сосудистых заболеваний, бронхиальной астмы, глаукомы, миастении, болезни Альцгеймера и многих других состояний. Дальнейшее изучение адрено- и холинорецепторов, включая неканонические сигнальные пути, предубежденную агонию (biased agonism), аллостерическую модуляцию и поиск селективных лигандов, остается актуальной областью молекулярной фармакологии. Накопленные знания о структуре и функции этих рецепторов послужат основой для разработки более специфичных и безопасных лекарств в будущем [56].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rang, H.P. The receptor concept: pharmacology's big idea / H.P. Rang // British Journal of Pharmacology. – 2006. – Vol. 147(Suppl. 1). – P. S9-S16. DOI: 10.1038/sj.bjp.0706457.
2. Kenakin, T.P. A pharmacology primer: theory, applications, and methods / T.P. Kenakin. – Academic Press, 2014. – 416 p.
3. Lefkowitz, R.J. A brief history of G-protein-coupled receptors / R.J. Lefkowitz // Angewandte Chemie International Edition. – 2013. – Vol. 52(25). – P. 6366-6378. DOI: 10.1002/anie.20130 1924.
4. Prüll, C.R. Part of a scientific master plan? Paul Ehrlich and the origins of his receptor concept / C.R. Prüll // Medical History. – 2003. – Vol. 47(3). – P. 332-356.
5. Langley, J.N. On the reaction of cells and of nerve-endings to certain poisons, chiefly as regards the reaction of striated muscle to nicotine and to curare / J.N. Langley // The Journal of Physiology. – 1905. – Vol. 33(4-5). – P. 374-413. DOI: 10.1113/ jphysiol.1905.sp001128.
6. Colquhoun, D. The quantitative analysis of drug-receptor interactions: a short history / D. Colquhoun // Trends in Pharmacological Sciences. – 2006. – Vol. 27(3). – P. 149-157. DOI: 10.1016/j.tips. 2006.01.008.
7. Langley, J.N. The antagonism of curari and nicotine in skeletal muscle / J.N. Langley // The Journal of Physiology. – 1914. – Vol. 48(1). – P. 73-108. DOI: 10.1113/jphysiol.1914.sp001649.
8. Dale, H.H. The action of certain esters and ethers of choline, and their relation to muscarine / H.H. Dale // Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics. – 1914. – Vol. 6(2). – P. 147-190.
9. Tansey, E.M. Henry Dale and the discovery of acetylcholine / E.M. Tansey // Comptes Rendus Biologies. – 2006. – Vol. 329(5-6). – P. 419-425. DOI: 10.1016/j.crvi.2006.03.012.
10. Loewi, O. Über humorale Übertragbarkeit der Herznervenwirkung / O. Loewi // Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. – 1921. – Vol. 189. – P. 239-242.
11. Loewi, O. Chemical transmission of nerve impulses / O. Loewi // American Scientist. – 1945. – Vol. 33(3). – P. 159-174.
12. Nobel Foundation. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1936. – URL: https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1936/summary/ (дата обращения: 18.05.2026).
13. Dale, H. Chemical transmission of the effects of nerve impulses / H. Dale // British Medical Journal. – 1934. – Vol. 1(3827). – P. 835-841. DOI: 10.1136/bmj.1.3827.835.
14. Contributions of Non-Neuronal Cholinergic Systems to the Regulation of Immune Cell Function, Highlighting the Role of α7 Nicotinic Acetylcholine Receptors / K. Kawashima, M. Mashimo, A. Nomura, T. Fujii // International Journal of Molecular Sciences. – 2024. – Vol. 25. – P. 4564. DOI: 10.3390/ijms25084564.
15. Caulfield, M.P. International Union of Pharmacology. XVII. Classification of muscarinic acetylcholine receptors / M.P. Caulfield, N.J. Birdsall // Pharmacological Reviews. – 1998. – Vol. 50(2). – P. 279-290.
16. Changeux, J.P. The nicotinic acetylcholine receptor: the founding father of the pentameric ligand-gated ion channel superfamily / J.P. Changeux // Journal of Biological Chemistry. – 2012. – Vol. 287(48). – P. 40207-40215. DOI: 10.1074/jbc.R112.407668.
17. Wess, J. Muscarinic acetylcholine receptors: mutant mice provide new insights for drug development / J. Wess, R.M. Eglen, D. Gautam // Nature Reviews Drug Discovery. – 2007. – Vol. 6(9). – P. 721-733. DOI: 10.1038/nrd2379.
18. Weiland, G.A. Quantitative analysis of drug-receptor interactions: I. Determination of kinetic and equilibrium properties / G.A. Weiland, P.B. Molinoff // Life Sciences. – 1981. – Vol. 29(4). – P. 313-330. DOI: 10.1016/0024-3205(81)90324-6.
19. Changeux, J.P. The nicotinic acetylcholine receptor: the founding father of the pentameric ligand-gated ion channel superfamily / J.P. Changeux // Journal of Biological Chemistry. – 2012. – Vol. 287(48). – P. 40207-40215. DOI: 10.1074/jbc.R112.407668.
20. Unwin, N. Refined structure of the nicotinic acetylcholine receptor at 4Å resolution / N. Unwin // Journal of Molecular Biology. – 2005. – Vol. 346. – P. 967-989. DOI: 10.1016/j.jmb.2004.12.031.
21. Hulme, E.C. Muscarinic receptor subtypes / E.C. Hulme, N.J. Birdsall, N.J. Buckley // Annual Review of Pharmacology and Toxicology. – 1990. – Vol. 30. – P.633-673.
22. Caulfield, M.P. Muscarinic receptors – characterization, coupling and function / M.P. Caulfield // Pharmacology & Therapeutics. – 1993. – Vol. 58(3). – P. 319-379. DOI: 10.1016/0163-7258(93)90027-B.
23. Barger, G. Chemical structure and sympathomimetic action of amines / G. Barger, H.H. Dale // The Journal of Physiology. – 1910. – Vol. 41(1-2). – P. 19-59. DOI: 10.1113/jphysiol.1910.sp001392.
24. Cannon, W.B. The sensitization of a sympathetic ganglion by preganglionic denervation / W.B. Cannon, A. Rosenblueth // American Journal of Physiology. – 1936. – Vol. 116. – No. 2. – P. 408-413.
25. Ahlquist, R.P. A study of the adrenotropic receptors / R.P. Ahlquist // American Journal of Physiology. – 1948. – Vol. 153(3). – P. 586-600. DOI: 10.1152/ajplegacy.1948.153.3.586.
26. Limbird, L.E. Historical perspective for understanding of adrenergic receptors / L.E.

Limbird // Current Topics in Membranes. – 2011. – Vol. 67. – P. 1-17. DOI: 10.1016/B978-0-12-384921-2.00001-X.
27. Differentiation of receptor systems activated by sympathomimetic amines / A.M. Lands, A. Arnold, J.P. McAuliff [et al.] // Nature. – 1967. – Vol. 214. – P. 597-598. DOI: 10.1038/214597a0.
28. Quirke, V. Putting theory into practice: James Black, receptor theory and the development of the beta-blockers at ICI, 1958-1978 / V. Quirke // Medical History. – 2006. – Vol. 50(1). – P. 69-92. DOI: 10.1017/s0025727300009455.
29. Lands, A.M. Differentiation of receptors responsive to isoproterenol / A.M. Lands, F.P. Luduena, H.J. Buzzo // Life Sciences. – 1967. – Vol. 6(21). – P. 2241-2249. DOI: 10.1016/0024-3205(67)90031-8.
30. Ruffolo, R.R. Jr. Metabolic regulation by alpha 1- and alpha 2-adrenoceptors / R.R. Ruffolo Jr, A.J. Nichols, J.P. Hieble // Life Sciences. – 1991. – Vol. 49(3). – P. 171-183. DOI: 10.1016/0024-3205(91)90001-r.
31. Frishman, W.H. Beta-Adrenergic Receptor Blockers in Hypertension: Alive and Well / W.H. Frishman // Progress in Cardiovascular Diseases. – 2016. – Vol. 59(3). – P. 247-252. DOI: 10.1016/j.pcad.2016.10.005.
32. Molecular characterization of the human β3-adrenergic receptor / L.J. Emorine, S. Marullo, M.M. Briend-Sutren [et al.] // Science. – 1989. – Vol. 245(4922). – P. 1118-1121. DOI: 10.1126/science.2570461.
33. Langer, S.Z. Presynaptic regulation of catecholamine release / S.Z. Langer // Biochemical Pharmacology. – 1974. – Vol. 23(13). – P. 1793-1800. DOI: 10.1016/0006-2952(74)90187-7.
34. Starke, K. Regulation of noradrenaline release by presynaptic receptor systems / K. Starke // Reviews of physiology, biochemistry and pharmacology. – 1977. – Vol. 77. – P. 1-124. DOI: 10.1007/BFb0050157.
35. International Union of Pharmacology nomenclature of adrenoceptors / D.B. Bylund, D.C. Eikenberg, J.P. Hieble [et al.] // Pharmacological Reviews. – 1994. – Vol. 46(2). – P. 121-136.
36. Black, J.W. Pharmacology of a new adrenergic beta-receptor-blocking compound (Nethalide) / J.W. Black, J.S. Stephenson // Lancet. – 1962. – Vol. 2(7251). – P. 311-314. DOI: 10.1016/s0140-6736(62)90103-4.
37. A new adrenergic beta-receptor antagonist / J.W. Black, A.F. Crowther, R.G. Shanks [et al.] // Lancet. – 1964. – Vol. 1(7342). – P. 1080-1081.
38. Walker, M.J. The major impacts of James Black's drug discoveries on medicine and pharmacology / M.J. Walker // Trends in Pharmacological Sciences – 2011. – Vol. 32(4). – P. 183-138. DOI: 10.1016/j.tips.2011.02.001.
39. Bristow, M.R. β-Adrenergic receptor blockade in chronic heart failure / M.R. Bristow // Circulation. – 2000. – Vol. 101(5). – P. 558-569.
40. Nobel Foundation. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1988. – URL: https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1988/summary/ (дата обращения: 18.05.2026).
41. Definition and antagonism of histamine H2-receptors / J.W. Black, W.A. Duncan, C.J. Durant [et al.] // Nature. – 1972. – Vol. 236. – P. 385-390.
42. Black, J. Drugs from emasculated hormones: the principle of syntopic antagonism / J. Black // Science. – 1989. – Vol. 245(4917). – P. 486-493. DOI: 10.1126/science.2569237.
43. Snyderman, R. Introduction of Robert J. Lefkowitz / R. Snyderman // Journal of Clinical Investigation. – 2011 – Vol. 121(10). – P. 4192-4200. DOI: 10.1172/JCI60816.
44. Lefkowitz, R.J. Identification and regulation of alpha- and beta-adrenergic receptors / R.J. Lefkowitz // Federation Proceedings. – 1978. – Vol. 37(2). – 123-129.
45. Shorr, R.G. Purification of the β-adrenergic receptor. Identification of the hormone binding subunit / R.G. Shorr, R.J. Lefkowitz, M.G. Caron // Journal of Biological Chemistry. – 1981. – Vol. 256(11). – P. 5820-5826.
46. The mammalian β2-adrenergic receptor: reconstitution of functional interactions between pure receptor and pure stimulatory guanine nucleotide-binding protein / R.A. Cerione, J. Codina, J.L. Benovic [et al.] // Biochemistry. – 1984. – Vol. 23(20). – P. 4519-4525. DOI: 10.1021/bi00315a003.
47. cDNA for the human β2-adrenergic receptor: a protein with multiple membrane-spanning domains and encoded by a gene whose chromosomal location is shared with that of the receptor for platelet-derived growth factor / B.K. Kobilka, R.A. Dixon, T. Frielle [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 1987. – Vol. 84(1). – P. 46-50. DOI: 10.1073/pnas.84.1.46.
48. Cloning of the gene and cDNA for mammalian β-adrenergic receptor and homology with rhodopsin / R.A. Dixon, B.K. Kobilka, D.J. Strader [et al.] // Nature. – 1986. – Vol. 321(6065). – P. 75-79. DOI: 10.1038/321075a0.
49. Lefkowitz, R.J. Seven transmembrane receptors: something old, something new / R.J. Lefkowitz // Acta Physiologica. – 2007. – Vol. 190(1). – P. 9-19. DOI: 10.1111/j.1365-201X.2007.01693.x
50. Crystal structure of the β2 adrenergic receptor-Gs protein complex / S.G. Rasmussen, B.T. DeVree, Y. Zou [et al.] // Nature. – 2011. – Vol. 477. – P. 549-555.

51. Rosenbaum, D.M. The structure and function of G-protein-coupled receptors / D.M. Rosenbaum, S.G. Rasmussen, B.K. Kobilka // Nature. – 2009. – Vol. 459. – P. 356-363.
52. Nobel Foundation. The Nobel Prize in Chemistry 2012. – URL: https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2012/summary/ (дата обращения: 18.05.2026).
53. The cholinergic hypothesis of Alzheimer's disease: a review of progress / P. Francis, A. Palmer, M. Snape, G. Wilcock // Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry. – 1999. – Vol. 66(2). – P. 137-147. DOI: 10.1136/jnnp.66.2.137.
54. Antibody to acetylcholine receptor in myasthenia gravis: prevalence, clinical correlates, and diagnostic value. 1975 / J.M. Lindstrom, M.E. Seybold, V.A. Lennon [et al.] // Neurology. – 1998. – Vol. 51(4). – P. 933-939. DOI: 10.1212/wnl.51.4.933-a.
55. Patrick, J. Autoimmune response to acetylcholine receptor / J. Patrick, J. Lindstrom // Science. – 1973. – Vol. 180(4088). – P. 871-872. DOI: 10.1126/science.180.4088.871.
56. Kenakin, T. Biased signalling and allosteric machines: new vistas and challenges for drug discovery / T. Kenakin // British Journal of Pharmacology. – 2012. – Vol. 165(6). – P. 1659-1669. DOI: 10.1111/j.1476-5381.2011.01749.x.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Владимир Николаевич Ананьев – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, e-mail: noradrenalin1952@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4679-6441.
Георгий Владимирович Ананьев – врач, медицинский консультант АО «ФАРМСТАНДАРТ», Долгопрудный, ORCID: 0000-0003-3199-7264.
Валерия Сергеевна Филимонова – студентка, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, ORCID: 0009-0007-3632-2289.
Елисей Сергеевич Гуртовой – студент, Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, e-mail: m_gurtovaya@mail.ru, ORCID: 0009-0001-0957-3580.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Vladimir N. Ananev – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher, Institute of Biomedical Problems, Moscow, e-mail: noradrenalin1952@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4679-6441.
Georgy V. Ananev – Physician, Medical Consultant, PHARMSTANDART JSC, Dolgoprudny, ORCID: 0000-0003-3199-7264.
Valeria S. Filimonova – Student, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MBA named after K.I. Skryabin, Moscow, ORCID: 0009-0007-3632-2289.
Elisey S. Gurtovoy – Student, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: m_gurtovaya@mail.ru, ORCID: 0009-0001-0957-3580.

Для цитирования: История открытия адрено- и холинорецепторов и их значение / В.Н. Ананьев, Г.В. Ананьев, В.С. Филимонова, Е.С. Гуртовой // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_1

For citation: Ananev V.N., Ananev G.V., Filimonova V.S., Gurtovoy E.S. History of the discovery of adrenergic and cholinergic receptors and their significance. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_1

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_2
УДК 612; 796.01

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_2
UDC 612; 796.01

СЕМАНТИЧЕСКАЯ МАТРИЦА ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОГО АППАРАТА ОПИСАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

П.А. Байгужин, Д.З. Шибкова
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** В научных публикациях по физиологии спорта и спортивной медицине часто наблюдается терминологическая неясность, приводящая к логическим ошибкам при описании функционального состояния. Авторы отмечают системный характер проблемы, связанный с нарушением иерархической соподчиненности понятий. ***Методы.*** В работе использованы семантический анализ научных текстов, понятийный анализ с позиций формальной логики и эпистемологический подход к разграничению эмпирического, интерпретационного и прогностического уровней знания. ***Результаты.*** Проведена группировка терминологического аппарата по функционально-семантическим категориям, разработана иерархическая структура уровней описания функционального состояния и построена трехмерная семантическая матрица, позволяющая однозначно позиционировать термины в системе координат «эмпирическое – абстрактное», «описательное – прогностическое», «измерение – решение». Представлена типология характерных ошибок применения терминов. ***Заключение.*** Предложенный подход способствует повышению семантической строгости научных текстов и может служить инструментом для авторов, а также рецензентов и редакторов.

Ключевые слова: функциональное состояние, семантический анализ, терминологическая матрица, физиология спорта, логическая иерархия понятий, методология научного исследования.

SEMANTIC MATRIX OF THE TERMINOLOGICAL APPARATUS FOR DESCRIBING THE FUNCTIONAL STATE OF BODY SYSTEMS IN BIOMEDICAL RESEARCH

P.A. Baiguzhin, D.Z. Shibkova
South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Terminological ambiguity is often observed in scientific publications on sports physiology and sports medicine, leading to logical errors in describing the functional state. The authors note the systemic nature of the problem associated with a violation of the hierarchical subordination of concepts. ***Methods.*** The work uses semantic analysis of scientific texts, conceptual analysis from the standpoint of formal logic, and an epistemological approach to distinguishing empirical, interpretative, and predictive levels of knowledge. ***Results.*** The terminological apparatus is grouped by functional and semantic categories, a hierarchical structure of levels of description of the functional state is developed, and a three-dimensional semantic matrix is constructed that allows unambiguously positioning terms in the coordinate system “empirical – abstract”, “descriptive – predictive”, “measurement – solution”. A typology of typical mistakes in the use of terms is presented. ***Conclusion.*** The proposed approach helps to increase the semantic rigor of scientific texts and can serve as a practical tool for authors, as well as reviewers and editors.

Keywords: functional state, semantic analysis, terminological matrix, sports physiology, logical hierarchy of concepts, methodology of scientific research.

Введение. В научной литературе (особенно в междисциплинарных областях, на стыке физиологии и спорта) часто наблюдается терминологическая неясность, которая несколько обесценивает результаты исследований. Анализ терминологии, с помощью которой описываются те или иные феномены, процессы, закономерности функционирования систем организма и организма в целом, во множестве случаев указывает на путаницу, а порой – на ошибки, когда используемые терминологические обороты явно нарушают правила элементарной логики, причинно-

следственных связей исследуемых предметов, а нередко превращает научный текст в абсурд.

Центральным понятием (объектом и предметом) в физиологических исследованиях является «функциональное состояние». В статье «Функциональные состояния в спорте» [1] авторы указывают на нерешенность методологической проблемы: «Многочисленность определений и подходов к определению понятия "функциональное состояние" свидетельствует о нерешенности методологической проблемы при оценке деятельности организма как целостной системы». Авторы подчеркивают, что термин «функциональное состояние» относится к метапонятиям (категориям высшего уровня абстракции) наряду с терминами «функция», «система», «процесс», «характеристика». Анализируется диалектическое противоречие: «функция» – динамический процесс, а «состояние» – статическая характеристика. Предлагается рассматривать функциональное состояние через триадную модель: «хочу – могу – имею навыки». Обсуждается различие между «характеристикой» (внешнее, постоянное проявление системы) и «состоянием» (внутренняя характеристика психики, относительно устойчивая) [1].

В работе Е.Л. Михалюка (2015), актуализируются вопросы терминологической путаницы в спортивной медицине. В частности, автор анализирует абсурдность сравнения функционального состояния бегунов на 800 м и спортсменов в спортивной аэробике, гимнастике, игровых видах спорта; разбирает корректность использования терминов «тренированный» и «нетренированный», показывая, что эти категории корректно применять только к спортсменам в разные периоды тренировочного процесса, а не как абсолютные характеристики [2]. К слову, в литературе отмечается, что понятие «тренированность» не имеет устоявшегося определения и часто терминологически смешивается с понятиями «функциональная подготовленность», «адаптированность» и «работоспособность» [3].

На наш взгляд, решение указанной авторами проблемы – в выстраивании четкой иерархической структуры, где каждый термин занимает свое место в «континууме функциональных состояний».

Другая сторона дискуссии отражает поиск оптимума показателей для дифференциации функциональных состояний. Здесь мы солидарны с мнением С.А. Исайчева с соавторами (2012) о том, что ни один отдельный показатель не может быть эффективным диагностическим критерием функционального состояния – требуется минимальный набор индикаторов [4].

Следовательно, назрела необходимость систематизации терминологического аппарата не на уровне абстрактных определений, а на уровне логической соподчиненности понятий («родо-видовых» отношений) для обеспечения корректности исследовательских процедур.

В настоящей статье мы не делаем ссылок на статьи, диссертации, материалы и тезисы конференций, в которых нами обнаружены «семантические» ошибки применения понятийно-терминологического аппарата (далее – терминологического), совершаемые авторами в формулировках исследовательских задач, описании, анализе и в выводах.

Проблематика. В современной физиологии спорта сложилась парадоксальная ситуация: степень математической сложности обработки данных (многофакторные модели, машинное обучение, нейросети) часто обратно пропорциональна семантической строгости их описания. Мы научились вычислять корреляции, но затрудняемся с ответами на ряд простых, но принципиально важных вопросов:

1) Что именно мы измерили? (параметр или показатель?)

2) О чем «говорит» это измерение? (маркер или случайный коррелят?)

3) Почему это происходит? (детерминант или сопутствующий фактор?)

4) Что будет дальше? (предиктор или экстраполяция?)

5) На каком основании мы делаем вывод? (критерий или интуиция?)

В результате многие статьи изобилуют конструкциями, которые при семантическом анализе утрачивают логическую состоятельность. Типичные фразы «выявлены

достоверные предикторы, являющиеся детерминантами функционального состояния и коррелирующие с маркерами...» – это не научный язык, а стилистический оборот, выполняющий декоративную, но не смыслоразличительную функцию.

В рамках настоящей статьи авторы не претендуют на пересмотр методологических подходов к организации, проведению исследования (эксперимента) и анализу полученных данных, сколько делают акцент на необходимость применения правил элементарной логики и семантического анализа текста как базовой способности к синтетико-аналитическому или критическому мышлению [5] «человека пишущего».

Приведем пример семантического анализа, разбора фразы фрагмента заключения опубликованных материалов одного из исследований. Авторы приходят к выводу, что «… ни один отдельный показатель не может быть эффективным диагностическим критерием функционального состояния – требуется минимальный набор индикаторов». Фраза содержит концептуальную проблему, в ней показатель, критерий и индикатор используются как взаимозаменяемые понятия, хотя они находятся на разных логических уровнях.

В чем семантические рассогласования? Во-первых, отмечаем смешивание уровня «данные» и уровня «правило принятия решения». Показатель – это эмпирическая величина, результат измерения – пульсометрии (например, частота сердечных сокращений (ЧСС)=180 уд/мин). Критерий – это порог, границы показателя, на основе которого принимается решение в определенном контексте интерпретации (например, если ЧСС больше 190 уд/мин, то нагрузка максимальная для молодого спортсмена). Ошибка в утверждении «показатель является критерием», показатель может использоваться в рамках критерия, но не быть им.

Во-вторых, наблюдается проблема избыточности термина «индикатор». «Индикатор» в данном контексте находится между «показателем» и «критерием». В классической эпистемологии «показатель» – это числовое выражение; «индикатор» – то, что указывает на наличие скрытого свойства (ближе к «маркеру»), а «критерий» – правило оценивания. Когда автор указывает на «набор индикаторов», он, вероятно, имеет в виду «совокупность показателей, комплексный анализ которых позволяет диагностировать состояние»; но тогда «индикатор» – это либо синоним показателя (и тогда зачем новый термин?), либо нечто иное, что требует определения.

В-третьих, можно констатировать подмену предмета исследования. Фраза построена так, будто «показатель» и «индикатор» – это разные сущности одного порядка. На самом деле, либо это один уровень: показатель №1 + показатель №2 + показатель №3 = некоторое множество показателей; либо это разные уровни, где «показатели» служат основой для вычисления индикаторов (например, интегральных индексов).

Соблюдая семантическую строгость, предлагаем некоторые варианты (пере)формулировки указанной выше фразы. Первый – в котором мы строго разводим уровни: «Диагностика функционального состояния не может быть осуществлена на основе оценки какого-либо единичного показателя. Требуются многомерный подход к оцениванию комплекса показателей и критерии их интерпретации».

Второй вариант – формулировка через понятие маркера: «Ни один отдельно взятый физиологический маркер не обладает достаточной диагностической специфичностью. Достоверная идентификация функционального состояния возможна лишь при анализе паттерна изменений нескольких маркеров».

Заканчивая семантический разбор фрагмента абстрактного научного текста, отметим, что проблема не в отсутствии определений (они есть в словарях) [6, 7], а в нарушении логических связей между понятиями разных уровней.

Исследовательская задача статьи заключается в разработке структуры логической связи (взаимосвязи) указанных терминов (понятий), учитывая семантику и соподчиненность «родовой» и «видовой» принадлежности элементов терминологического аппарата описания функциональных состояний человека.

Методы и организация исследования. Методологическую основу исследования составили:

- семантический анализ научных текстов публикаций в области физиологии спорта и спортивной медицины, предмет которого – выявление логических противоречий в использовании терминов при описании функциональных состояний;
- понятийный (концептуальный) анализ с позиций формальной логики (выделение родовых и видовых признаков, установление отношений субординации и координации между терминами);
- эпистемологический подход к разграничению эмпирического, интерпретационного и прогностического уровней знания применительно к анализируемому терминологическому аппарату.

Теоретическое исследование включало следующие этапы:

- инвентаризация терминологического аппарата, используемого в публикациях по проблематике оценивания функционального состояния;
- дифференциация терминов по логическим уровням обобщения (от конкретного к абстрактному);
- построение иерархической структуры и многомерной семантической матрицы для корректного позиционирования используемых терминов в системе понятий;
- типологизация распространенных ошибок с последующей их верификацией на примерах из научных публикаций.

Достоверность полученных выводов обеспечивается опорой на фундаментальные работы в области терминоведения, семантики, а также воспроизводимостью выявленных логических ошибок в независимых выборках научных публикаций.

Результаты исследования и их обсуждение. Проведенный семантический анализ типичного фрагмента научного текста демонстрирует, что методологическая ошибка носит не случайный, а системный характер – это нарушение логической иерархии между понятиями разных уровней обобщения.

Группировка понятий по функционально-семантическим категориям. Анализ современных источников, предметом которых являлось исследование функционального состояния, выявил использование авторами различных комбинаций ряда операциональных терминов: «предиктор», «маркер», «маркёр», «детерминант», «коррелят», «актор», «параметр», «значение», «показатель», «характеристика», «феномен», «тенденция», «значимость», «достоверность». Позволяем себе заключить, что указанный терминологический аппарат является условно стандартным и часто употребительным в задачах оценивания, описания (анализа) функциональных состояний.

Результатом настоящей статьи считаем разработку условной «терминологической матрицы» как инструмента для анализа данных физиологии спорта, вписанного в парадигму научной статистики. При этом авторы статьи не претендуют на исключительность выводов и заключений, соответствующих требованиям науки терминоведения [8], семантики и лексикологии [9].

Первым этапом решения исследовательской задачи статьи является логическая группировка терминологического аппарата с целью его структурирования [10].

Первую группу терминов составляют базовые онтологические категории, как правило описывающие объект и предмет исследования – самые общие понятия.

Свойство – внутренняя характеристика объекта (например, «свойство возбудимости»).

Процесс – закономерная смена состояний (например, «процесс восстановления», «процесс торможения»).

Механизм – совокупность процессов и структур, обеспечивающих то или иное явление, феномен.

Характеристика – описательное свойство, выведенное из параметров (например, «высокая анаэробная производительность»).

Феномен – отражает наблюдаемое явление или событие (например, «снижение работоспособности на финише дистанции»). В биомедицинских исследованиях применяется для обозначения наблюдаемых клинических проявлений, которые могут быть описаны, но не всегда имеют однозначное объяснение на момент описания.

Закономерность – объективно существующая, устойчивая и повторяющаяся

причинно-следственная связь между явлениями или процессами, которая проявляется при определенных условиях [11] и может быть сформулирована в виде правила или принципа.

Во вторую группу включены термины метрологической категории.

Параметр и показатель – конкретная измеряемая величина, где параметр – величина, характеризующая какое-либо свойство системы (например, «параметр вариабельности ритма сердца»), а показатель – производная величина (например, «показатель функциональной подготовленности»), которая позволяет «оцифровать» феномен (например, «концентрация лактата», «ЧСС»).

Коэффициент или индекс – частный случай показателя, как правило, безразмерный или относительный (например, «индекс Кетле», «индекс Робинсона»).

Признак – качественная характеристика (например, «пол», «наличие травмы», «самочувствие»).

Значение – числовое выражение параметра в единицах измерения в определенный момент у конкретного человека (число в единицах измерения – например, «ммоль/л»).

Граница диапазона или коридора – критериальное понятие (зоны мощности, нормы и патологии).

Третья группа терминов отражает категорию описания статистических и логических связей (инструменты описания).

Коррелят – параметр, который изменяется согласованно с другим, но без указания на причину (статистическая связь). Физиологический коррелят – это статистически демонстрируемая связь между измеримым биологическим или физиологическим состоянием и соответствующим поведенческим, когнитивным или субъективным состоянием.

Детерминант – основной, жестко определяющий фактор (результат факторного анализа). Параметр, который определяет (детерминирует), является причиной, фундаментальным условием существования другого параметра или феномена (причинно-следственная связь, часто требующая экспериментального, а не только корреляционного доказательства).

Фактор – причина какого-либо процесса или явления (шире, чем детерминант).

Предиктор – являющийся результатом регрессионного анализа параметр, по которому можно предсказать состояние системы в будущем и охарактеризовать прогностическую связь.

Маркер или индикатор – специфичный параметр, внешний проявитель скрытого процесса, состояния или феномена (диагностический признак) [12]. При этом важно дифференцировать термины: маркёр (физический объект для разметки) и маркер (биохимический или физиологический признак).

Актор – действующий компонент («активный» элемент процесса), например, мышца-сгибатель – актор в движении. Таким образом, в физиологии в роли актора выступают органы, системы, мышцы, клетки – все, что фактически совершает действие, а не просто сигнализирует о чем-либо как маркер или индикатор.

Модератор – переменная, которая влияет на силу или направление связи между двумя другими переменными (например, между нагрузкой и ответной реакцией организма), способен менять связь между причиной и следствием. В спортивной науке модератор используется для описания того, как индивидуальные особенности влияют на адаптацию к нагрузкам (например, высокий уровень кардиореспираторной выносливости «сглаживает» негативный эффект ожирения [13]) или наличие модератора означает, что эффект нагрузки на результат различается в зависимости от значения модератора (например, стадия полового созревания у спортсменов) [14]. Таким образом, модератор отвечает на вопрос «для кого?» или «при каких условиях?», показывая, что связь между двумя переменными не является универсальной, а зависит от третьего фактора.

Медиатор – переменная, которая передает влияние, своего рода «звено в цепочке». Медиатор объясняет механизм связи, отвечая на вопрос: «как или почему?» нагрузка влияет на результат. Например, в системе «нагрузка – утомление – травма», каждое предыдущее звено является медиатором по отношению к последующему.

Четвертая группа – термины, оценивающие результаты анализа.

Тенденция (тренд) – направление изменений (может быть статистически незначимая, но физиологически важная) [15, 16]. В спортивной физиологии и функциональной диагностике термин часто применяется при анализе изменений показателей под воздействием тренировочных нагрузок, в процессе восстановления, а также для оценки долговременных адаптационных процессов [17]. Оценка изменений направления тренда помогает отслеживать динамику жизненно важных показателей, что имеет значение для ранней диагностики неблагоприятных событий [16].

Значимость – многозначный оценочный термин, в медико-биологических исследованиях требующий учета различий статистической (p-уровень) и физиологической значимости (величина эффекта). «Одним из основных недостатков тестов значимости является то, что они дают мало информации о фактическом значении интересующего параметра популяции» [18]; p-уровень позволяет лишь констатировать, что эффект существует, но не отвечает на вопрос, насколько он велик и важен ли он практически [19].

Достоверность чаще относится к надежности результатов, валидности измерений. Согласно методологическим требованиям доказательной медицины, «достоверность» означает отсутствие в исследовании систематических ошибок, а не статистическую значимость [20]. В зарубежной методологической литературе термины «validity» (валидность) и «reliability» (достоверность) как характеристики качества измерения строго разведены [21, 22]. Термин «достоверность» используется нами в его методологическом смысле, как адекватность регистрации фактов, а не в статистическом смысле, как синоним «статистической значимости».

Валидность теста, методики – степень точности, с какой он измеряет свойство или качество, для оценки которого его используют [22]. При этом допускается синонимичное использование терминов «валидность» и «информативность».

Надежность – воспроизводимость результата. В методологии измерений валидность и надежность – связанные, но не тождественные понятия. В каждом учебнике по метрологии указано, что надежность – это «степень совпадения результатов при повторном тестировании одних и тех же испытуемых в одинаковых условиях» [23].

Чувствительность («sensitivity») и специфичность («specificity») – понятия для характеристики диагностической ценности маркеров. Чувствительность отражает «долю положительных результатов теста, которые были правильно идентифицированы», т.е. это доля истинно положительных результатов. Специфичность – способность теста правильно определять отсутствие состояния, т.е. истинно отрицательные результаты [24, 25].

Иерархическая субординация терминов (уровни описания функционального состояния). Важно с позиций семантического анализа учитывать специфическую для физиологии контекстную терминологию. Обратим внимание на часто употребляемую контекстную терминологию: адаптация (процесс приспособления), реакция (ответ на воздействие), состояние (текущий уровень функционирования), резерв (потенциальная возможность), гомеостаз (постоянство внутренней среды).

В рамках определения важности контекста предлагаем провести анализ типичной для молодых ученых в публикациях фразы «показатель – это числовое выражение», например, «ЧСС=130 уд/мин». Проведем уровневый семантический анализ этой фразы с учетом контекста:

- уровень 1. Параметр (род сущности) – физиологическая величина (вид измерения); на этом уровне нет чисел, есть только понятие;
- уровень 2. Значение (конкретика): 130 уд/мин – это значение параметра ЧСС, «сырые» данные, результат единичного измерения; на этом уровне нет интерпретации, есть только факт: «в данный момент времени зафиксировано число 130»;
- уровень 3. Показатель – значение, помещенное в контекст (условия измерения, характеристики объекта, единицы измерения). В нашем примере, ЧСС=130 уд/мин у спортсмена во время тренировки – один

показатель, ЧСС=130 уд/мин у того же спортсмена в покое – совершенно другой показатель (требующий срочных врачебных манипуляций). То есть показатель – это всегда значение с привязкой к конкретным условиям измерения с определенными единицами измерения и с учетом статуса измеряемого;

- уровень 4. Характеристика или обобщение. На основе показателей формируются характеристики: «тахикардия» – характеристика состояния, для постановки которой мы использовали показатель ЧСС и сопоставили его с критериальным порогом, критериями оценивания.

Заключительным этапом решения исследовательской задачи статьи является попытка структурирования и построения семантической матрицы. Наличие достаточно расширенного списка терминов в ходе семантического анализа (научных текстов) позволяет не просто построить линейную связь между ними, а разработать матрицу. Например, один и тот же параметр ЧСС может выступать в качестве:

а) показателя текущего состояния (метрика);

б) маркера интенсивности нагрузки (индикатор), предиктора переутомления (прогноз);

в) коррелята уровня лактата (связь);

г) детерминанта производительности (причина, если речь о ЧССmax).

Семантические уровни описания функционального состояния – от эмпирического базиса к синтетическому уровню или теоретическому обобщению – представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Семантические уровни описания функционального состояния (составлено авторами)

Подобный подход реализуется в работе [26], в которой авторы предлагают концептуальную состоящую из четырех уровней аналитику данных, основанную на таксономии бизнес-аналитики:

1) дескриптивная аналитика (описывается «что произошло?»);

2) диагностическая аналитика (объясняется «почему это произошло?»);

3) предиктивная аналитика (в результате которой формулируется прогноз как ответ на вопрос: «что произойдет?);

4) прескриптивная аналитика (указание на предписание в ходе ответа на вопрос: «что нужно сделать?») [26].

Ссылаясь на данный вариант, мы указываем на пересечение с концепцией настоящей статьи, где дескриптивный уровень представлен параметрами, показателями, значениями, характеристиками; диагностический уровень – детерминантами, коррелятами, маркерами; предиктивный уровень – предикторами, тенденциями; прескриптивный уровень – акторами (активными компонентами управления).

Многомерная семантическая матрица (система координат терминологического позиционирования). Анализ содержания используемых нами терминов позволяет сформировать условную семантическую матрицу, то есть разместить их в условной «системе координат». Ссылаясь на предмет нашей статьи, для описания функционального состояния можно выделить три оси (рис. 2):

1) от эмпирического к абстрактному (ось X): «Значение» (конкретное число) → «Показатель» (тип измерения) →

«Индикатор» или «Маркер» (носитель информации о скрытом) → «Характеристика» (обобщенное свойство) → «Феномен» (наблюдаемое явление);

2) от описательного через причинное к прогностическому (ось Y): «Коррелят» (связь) → «Детерминант» (причина) → «Предиктор» (предсказание) → «Фактор» (обобщенное влияние);

3) от измерения через оценку к решению (ось Z): «Параметр» (что измеряем) → «Показатель» (результат измерения) → «Критерий» (правило сравнения) → «Значимость» (вывод).



Рис. 2. Трехмерная семантическая модель терминологического аппарата описания функционального состояния (составлено авторами)

Исходя из опыта семантического анализа, проводимого нами в ходе многочисленных рецензирований и экспертиз научных текстов, сделаем предварительное заключение в табличной форме с указанием на типичные ошибки применения того или иного термина (табл. 1). Логика порождения ошибок часто очевидна. Ошибка детерминизма: автор находит корреляцию между показателем А и состоянием Б, после чего в выводах именует А «детерминантом» Б, хотя доказана лишь сопряженность, а не причинность. Основная причина ошибки – использование терминологии различных уровней без методологического на то обоснования. Например, эмпирический – причинный уровень (коррелят представляют как детерминант); интерпретационный – прогностический (маркер называют предиктором без проверки прогностической модели); оценочный уровень накладывают на эмпирический, путая значимость (статистическую) и величину эффекта (физиологическую).

С учетом межуровневых переходов логика изложения должна быть следующей: параметр (измерен) → показатель (осмыслен) → маркер (валидирован и может стать частью критерия) → коррелят (обнаружен), но требует проверки на причинность → может быть представлен как детерминант.

Кроме того, часто в научных текстах встречается ошибка – тавтология, когда феномен объясняется через характеристику, которая выведена из наблюдения этого же феномена (например, «снижение работоспособности обусловлено ухудшением функционального состояния») и ошибка реификации [27, 28], когда абстрактная характеристика (например, «тренированность») подается как собственно измеряемый параметр.

В продолжение укажем еще на одно замечание, которое касается семантики использования терминов «маркёр» – «маркер». В анализируемых нами текстах исследовательских работ часто указанные термины употребляются без учета их

логико-семантических различий. Маркёр (от франц. marqueur – тот, кто ставит метки) – устаревший термин, но в некоторых контекстах (например, «маркёр нагрузки» как указатель) может быть использован для обозначения операционального указателя, не претендующего на биологическую сущность. Маркер – это биохимический, физиологический или генетический показатель (индикатор), имеющий доказанную связь с процессом [29]. Путаница этих терминов порождает ошибку, когда операциональный указатель (маркёр) описывает биологической сущностью (маркер).

Таблица 1

Типичные ошибки применения понятийно-терминологического аппарата при описании функциональных состояний

Термин	Семантическая роль	Типичная ошибка
Параметр	Величина, выбранная для измерения (переменная в модели)	Подмена обобщенной характеристики ее эмпирическим значением
Значение	Число, полученное при измерении параметра	Выдают за характеристику системы
Показатель	Осмысленный результат измерения (значение в контексте)	Используют как синоним параметра
Маркер	Показатель, валидированный как указатель на определенное состояние	Называют маркером любой коррелирующий показатель
Индикатор	Производный показатель (часто интегральный), сигнализирующий о состоянии	Дублирует маркер без разведения функций
Критерий	Основание для принятия решения	Смешивают с показателем
Коррелят	Показатель, изменяющийся согласованно с другим	Выдают за причину (детерминант)
Детерминант	Причинный фактор	Приписывают причинность коррелятам
Предиктор	Показатель с прогностической ценностью	Путают с детерминантом
Актор	Компонент системы, активно участвующий в процессе	Используют метафорически без операционализации
Характеристика	Обобщенное описание свойства системы	Подменяют конкретные измерения
Феномен	Наблюдаемое явление (эмпирический факт)	Причина подменяется самим явлением
Тенденция	Направленность изменений	Выдают за доказанную закономерность
Значимость	Мера важности (статистическая или практическая)	Сводят только к p-уровню
Достоверность	Надежность, воспроизводимость	Путают со значимостью

Приведенные выше типы ошибок отражают логико-семантические нарушения. В практике физиологических исследований часто встречается методологическая ошибка, связанная с подменой содержательной интерпретации формально-статистической, а именно – синонимичность статистической и физиологической значимости. Обозначение в виде «$p<0,05$» автоматически трактуется как доказательство наличия значимого факта. При этом статистическая значимость свидетельствует лишь о том, что выявленный эффект не случаен, а физиологическая значимость говорит о том, важен ли он для процесса или функции [20]. Отсутствие этого различения ведет к тому, что в статьях «достоверными» называют незначительные изменения, чаще не имеющие физиологического смысла (например, изменение ЧСС на 5 уд/мин при $p<0,05$).

Таблица 2

Типология терминологических отношений в описании функционального состояния

Группа 1. Условные синонимы в определенных контекстах			
Термин 1	Термин 2	Условие синонимичности	«Риск» при замене
Параметр	Показатель	При допущении тождества обобщенной и актуальной характеристик	Нивелируется различие между возможностью измерения и фактом измерения
Значение	Величина	Применимо к описанию конкретного числа в единичном измерении	«Величина» более абстрактна
Маркер	Индикатор	В широком смысле «то, что указывает»	Маркер требует валидации, индикатор – просто сигнал
Характеристика	Свойство	При описании качеств объекта	Характеристика – описание, свойство – атрибут объекта
Тенденция	Тренд	При описании направленности изменений	Тренд – математически выявленный, тенденция – наблюдаемая
Группа 2. Ложные синонимы (замена исключена)			
Термин 1	Термин 2	Причина ошибки при замене	Пример смыслового искажения
Коррелят	Детерминант	Связь ≠ причина	«Выявлен коррелят заболевания» ≠ «Найден детерминант заболевания»
Предиктор	Детерминант	Предсказание ≠ причина	Курение – предиктор рака, но детерминант – мутация ДНК
Показатель	Критерий	Факт ≠ правило оценки	ЧСС=180 – показатель; критерий перегрузки – ЧСС>190
Значение	Показатель	Число ≠ осмысленное число	75 – значение; ЧСС=75 в покое – показатель
Маркер	Детерминант	Указатель ≠ причина	Повышение уровня кортизола – маркер стресса, но детерминант стресса – это стрессор (например, интенсивная нагрузка)
Феномен	Закономерность	Наблюдение ≠ устойчивая связь	Феномен «второго дыхания» ≠ закономерность его возникновения
Значимость	Достоверность	Вероятностный вывод ≠ качество процедуры	«Различия достоверны при $p<0,05$» ≠ «Различия статистически значимы при $p<0,05$»
Группа 3. Контекстуальные синонимы			
Термин 1	Термин 2	Ситуация совпадения	Ситуация различия
Показатель	Индекс	В широком смысле «результат измерения»	Индекс – всегда производный, часто безразмерный
Параметр	Переменная	В математическом моделировании	Параметр – фиксированная размерность (характеристика) модели; переменная – значение этой характеристики
Маркер	Биомаркер	Чаще в клинических исследованиях	Маркер шире (может быть поведенческим, психологическим)
Актор	Фактор	В системном анализе	Актор – «активная» переменная, фактор – любое влияние
Модератор	Фактор	Оба обозначают переменную, влияющую на систему	«Фактор» – любое влияние (причина), «модератор» – переменная, изменяющая силу связи между другими переменными

В завершающей части статьи мы, возвращаясь к актуальности заявленной в разделе «Введение» проблемы, предлагаем ответ на вопрос: «Какие из представленных терминов можно условно назвать синонимами?». В науке (в отличие от обыденного языка) поиск синонима того или иного термина – крайне «опасное» занятие. Однако есть термины, которые действительно часто путают, их можно разделить на несколько групп по степени понятийной (но не семантической!) близости (табл. 2).

Первую группу составляют условные синонимы, но в определенных контекстах; замена возможна без потери смысла, но с потерей точности. При этом предложенные пары корректно использовать как взаимозаменяемые только в ненаучной речи. Во второй группе отражены ложные синонимы, замена терминов этой группы приводит к логической или методологической ошибке – возникает та самая указанная в начале статьи «путаница, превращающая текст в абсурд». В третью группу включены контекстуальные синонимы, их использование в тексте часто зависит, например, от традиций научной школы, ее нюансов и специфичности.

Заключение. Проведенный семантический анализ понятийно-терминологического аппарата, используемого для описания функционального состояния в физиологии спорта, позволяет констатировать, что методологическая проблема носит не столько дефицитарный, сколько логико-эпистемологический характер. Основным источником ошибок является игнорирование иерархической соподчиненности понятий, когда эмпирические показатели (данные) неправомерно отождествляются интерпретационными конструктами более высокого порядка (маркеры, характеристики) или выдаются за причинно-следственные детерминанты при наличии лишь статистически значимых корреляций.

Предложенная в работе семантическая матрица и иерархическая структура уровней описания функционального состояния позволяют:

1) однозначно позиционировать любой используемый термин в системе координат «эмпирическое – абстрактное», «описательное – прогностическое», «измерение – решение»;

2) выявить и верифицировать логические рассогласования на этапе формулировки задач и интерпретации результатов;

3) стандартизировать терминологический аппарат не за счет введения новых дефиниций, а за счет строгого соблюдения логических правил применения уже существующих терминов.

Разработанные рекомендации по применению терминологии, а также типология ошибок могут служить практическим инструментом для авторов научных статей, рецензентов и редакторов, способствуя повышению семантической строгости и, как следствие, воспроизводимости и сравнимости результатов исследований. Перспективой дальнейшей работы видится разработка формализованного чек-листа для экспресс-оценки терминологической корректности рукописей.

Авторы не претендуют на категоричность предложенных в статье оценок и заключений и открыты к дискуссии. При этом мы полагаем, что представленный материал будет востребован среди начинающих исследователей, поскольку систематизация типичных терминологических ошибок способствует формированию методологической грамотности и повышает качество интерпретации данных при публикации результатов исследовательских работ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Функциональные состояния в спорте / И.В. Левшин, А.С. Солодков, Ю.М. Макаров, А.Н. Поликарпочкин // Теория и практика физической культуры. – 2013. – № 6. – С. 71-75.

2. Михалюк, Е.Л. Особенности научных исследований в спортивной медицине на современном этапе / Е.Л. Михалюк // Запорожский медицинский журнал. – 2015. – № 5(92). – С. 82-84. DOI: 10.14739/2310-1210.2015.5.53821.

3. Погосян, Т.А. Тренированность спортсмена: понятие, структура, критерии и способы оценки / Т.А. Погосян, М.М. Погосян // Вестник спортивной науки. – 2026. – № 1. – С. 19-16.
4. The Psychophysiological Diagnostics of the Functional State of the Athlete. Preliminary Data / S.A. Isaychev, A.M. Chernorizov, A.D. Korolev [et al.] // Psychology in Russia: State of the Art. – 2012. – No. 5. – P. 244-268. DOI: 10.11621/pir.2012.0015.
5. Якунина, Н.А. Критическое мышление: аналитическое осмысление понятия / Н.А. Якунина // Психолого-педагогический журнал Гаудеамус. – 2019. – Т. 18. – № 4(42). – С. 21-26. DOI: 10.20310/1810-231X-2019-18-4(42)-21-26.
6. Солодков, А.С. Термины и понятия физиологической адаптации в спорте / А.С. Солодков // Термины и понятия в сфере физической культуры: Материалы конгресса (Санкт-Петербург, 20-22 декабря 2006 г.). – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2006. – С. 219-221.
7. Эрлих, В.В. Глоссарий физиологических терминов и понятий / В.В. Эрлих, Д.З. Шибкова, П.А. Байгужин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. – 96 с.
8. Сорокина, Э.А. О некоторых проблемных вопросах современного терминоведения / Э.А. Сорокина // Когнитивные исследования языка. – 2024. – № 4(60). – С. 84-89.
9. Стернин, И.А. Семантический анализ слова в контексте / И.А. Стернин, М.С. Саломатина. – Воронеж: «Истоки», 2011. – 150 с.
10. Байгужин, П.А. Функциональное состояние центральной нервной системы при воздействии слабоструктурированной информации / П.А. Байгужин, Д.З. Шибкова // Человек. Спорт. Медицина. – 2017. – Т. 17. – № S. – С. 32-42. DOI: 10.14529/hsm17s04.
11. Солодков, А.С. Некоторые итоги исследований физиологической адаптации в спорте / А.С. Солодков // Теория и практика физической культуры. – 2006. – № 10. – С. 42-44.
12. Institute of Medicine (US) Committee on Metabolic Monitoring for Military Field Applications. Monitoring Metabolic Status: Predicting Decrements in Physiological and Cognitive Performance. Washington (DC): National Academies Press (US). – 2004. A, Examples of Physiological and Cognitive Markers of Performance. – URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK215716/ (дата обращения: 22.04.2026).
13. Moderating Role of Cardiorespiratory Fitness between Adiposity and Adiponectin Concentration in Adolescents / M. Tadiotto, P.R. Corazza, J.F. Menezes [et al.] // Indian Journal of Pediatrics. – 2023. – Vol. 90. – P. 630. DOI: 10.1007/s12098-023-04528-6.
14. Salter, J. The moderating impact of maturation on acute neuromuscular and psycho-physiological responses to simulated soccer activity in academy soccer players / J. Salter, M.B.A. De Ste Croix, J.D. Hughes // European Journal of Sport Science. – 2021. – Vol. 21(12). – P. 1637-1647. DOI: 10.1080/17461391.2020.1851775.
15. Comparison of trend detection algorithms in the analysis of physiological time-series data / W.W. Melek, Z. Lu, A. Kapps, W.D. Fraser // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2005. – Vol. 52. – No. 4. – P. 639-651. DOI: 10.1109/TBME.2005.844029.
16. Yang, P. The use of mathematical models and clinical knowledge in intraoperative vital sign trend monitoring / P. Yang // 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. – Canada: Vancouver, BC, 2008. – P. 1028-1028. DOI: 10.1109/IEMBS.2008.4649332.
17. Сафоненкова, Е.В. Секулярный тренд и перспективы развития (обзор литературы) / Е.В. Сафоненкова // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2022. – № 3. DOI: 10.24412/2075-4094-2022-3-3-4.
18. Stapleton, C. The ‘So What’ Factor: Statistical versus Cinical Significance / C. Stapleton, M.A. Scott, G. Atkinson // International Journal of Sports Medicine. – 2009. – Vol. 30(11). – P. 773-774. DOI: 10.1055/s-0029-1241216.
19. Expanding the investigation of meaningful effects in physiology research / K. Deighton, J.A. King, D.J. Stensel, B. Jones // Future Science OA. – 2017. – Vol. 3(3). – P. FSO218. DOI: 10.4155/fsoa-2017-0057.
20. Зорин, Н.А. «Достоверность» или «статистическая значимость» – 12 лет спустя / Н.А. Зорин // Педиатрическая фармакология. – 2011. – № 5. – С. 13-19.
21. Currell, K. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance / K. Currell, A.E. Jeukendrup // Sports Medicine. – 2008. – Vol. 38(4). – P. 297-316. DOI: 10.2165/00007256-200838040-00003.
22. Bailey, Ch. Reliability and Validity / Ch. Bailey // Quantitative Analysis in Exercise and Sport Science. – University of North Texas Libraries, 2021. DOI: 10.12794/sps.ot-quantitative-analysis-exss.
23. Батяшова, И.В. Спортивная метрология: учебно-методическое пособие / И.В. Батяшова, О.А. Кривец. – Павлодар: Кереку, 2017. – 93 с.
24. Рыбина, И.Л. Определение диагностической информативности биохимических показателей, наиболее актуальных для спортивной практики / И.Л. Рыбина, Е.А. Ширковец // Вестник спортивной науки. – 2013. – № 2. – С. 31-35.

25. Machine learning applications in sports injury prediction: A narrative review / J. Yuan, Q. Zeng, J. Li [et al.] // Science Progress. – 2025. – Vol. 108(4). – P. 368504251385956. DOI: 10.1177/00368504251385956.
26. Houtmeyers, K.C. Managing the Training Process in Elite Sports: From Descriptive to Prescriptive Data Analytics / K.C. Houtmeyers, A. Jaspers, P. Figueiredo // International Journal of Sports Physiology and Performance. – 2021. – Vol. 16(11). – P. 1719-1723. DOI: 10.1123/ijspp.2020-0958.
27. Ирисханова, О.К. Реификация как свойство познания и коммуникации / О.К. Ирисханова // Когнитивные исследования языка. – 2015. – № 23. – С. 216-226.
28. Углева, А.В. Объективация болезни: феномен реификации в цифровой психиатрии / А.В. Углева // Вопросы философии. – 2025. – № 11. – С. 112-123. DOI: 10.21146/0042-8744-2025-11-112-123.
29. Козлов, А.И. Кортизол как маркер стресса / А.И. Козлов, М.А. Козлова // Физиология человека. – 2014. – Т. 40. – № 2. – С. 123. DOI: 10.7868/S013116461402009X.

REFERENCES

1. Levshin I.V., Solodkov A.S., Makarov Y.M., Polikarpochkin A.N. Functional Statuses in Sport. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2013, no. 6, pp. 71-75. (in Russ.)
2. Mikhalyuk Ye.L. Specifics of scientific research in sports medicine at the present stage. *Zaporozhye medical journal*, 2015, vol. 5(92), pp. 82-84. DOI: 10.14739/2310-1210.2015.5.53821. (in Russ.)
3. Pogosyan T.A., Pogosyan M.M. Athlete's training: concept, structure, criteria and methods of assessment. *Sports Science Bulletin*, 2026, no. 1, pp. 9-16. (in Russ.)
4. Isaychev S.A., Chernorizov A.M., Korolev A.D. et al. The psychophysiological diagnostics of the functional state of the athlete. preliminary data. *Psychology in Russia: State of the Art*, 2012, no. 5, pp. 244-268. DOI: 10.11621/pir.2012.0015.
5. Yakunina N.A. Critical thinking: analytical understanding of concept. *Psychological-Pedagogical Journal Gaudeamus*, 2019, vol. 18, no. 4(42), pp. 21-26. DOI: 10.20310/1810-231X-2019-18-4(42)-21-26. (in Russ.)
6. Solodkov, A.S. Terms and concepts of physiological adaptation in sports. Terms and concepts in the field of physical culture: Proceedings of the Congress (St. Petersburg, December 20-22, 2006). St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2006. pp. 219-221. (in Russ.)
7. Erlikh V.V., Shibkova D.Z., Baiguzhin P.A. Glossary of physiological terms and concepts. Chelyabinsk: SUSU Publ., 2022. 96 p. (in Russ.)
8. Sorokina E.A. On some problematic issues of modern terminology. *Cognitive studies of language*, 2024, no. 4(60), pp. 84-89. (in Russ.)
9. Sternin I.A., Salomatina M.S. Semantic analysis of a word in context. Voronezh: Istoki Publ., 2011. 150 p. (in Russ.)
10. Baiguzhin P.A., Shibkova D.Z. Functional condition of the central nervous system under the influence of weakly structured information. *Human. Sport. Medicine*, 2017, vol. 17, no. S, pp. 32-42. DOI: 10.14529/hsm17s04. (in Russ.)
11. Solodkov A.S. Some results of researches of physiological adaptation in sports. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2006, no. 10, pp. 42-44. (in Russ.)
12. Institute of Medicine (US) Committee on Metabolic Monitoring for Military Field Applications. Monitoring Metabolic Status: Predicting Decrements in Physiological and Cognitive Performance. Washington (DC): National Academies Press (US), 2004. A, Examples of Physiological and Cognitive Markers of Performance. Available at: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK215716/ (accessed: 22.04.2026).
13. Tadiotto M., Corazza P.R., Menezes J.F. et al. Moderating Role of Cardiorespiratory Fitness between Adiposity and Adiponectin Concentration in Adolescents. *Indian Journal of Pediatrics*, 2023, vol. 90, p. 630. DOI: 10.1007/s12098-023-04528-6.
14. Salter J., De Ste Croix M.B.A., Hughes J.D. The moderating impact of maturation on acute neuromuscular and psycho-physiological responses to simulated soccer activity in academy soccer players. *European Journal of Sport Science*, 2021, vol. 21(12), pp. 1637-1647. DOI: 10.1080/17461391.2020.1851775.
15. Melek W.W., Lu Z., Kapps A., Fraser W.D. Comparison of trend detection algorithms in the analysis of physiological time-series data. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2005, vol. 52, no. 4, pp. 639-651. DOI: 10.1109/TBME.2005.844029.
16. Yang P. The use of mathematical models and clinical knowledge in intraoperative vital sign trend monitoring. 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Canada: Vancouver, BC, 2008. pp. 1028-1028, DOI: 10.1109/IEMBS.2008.4649332.
17. Safonenkova E.V. Secular trend and development prospects (literature review). *Journal of New Medical Technologies, eEdition*, 2022, no. 3. DOI: 10.24412/2075-4094-2022-3-3-4. (in Russ.)
18. Stapleton C., Scott M.A., Atkinson G. The 'So What' Factor: Statistical versus Cinical Significance. *International Journal of Sports Medicine*, 2009, vol. 30(11), pp. 773-774. DOI: 10.1055/s-0029-1241216.

19. Deighton K., King J.A. et al. Expanding the investigation of meaningful effects in physiology research. *Future Science OA*, 2017, vol. 3(3), ID art. FSO218. DOI: 10.4155/fsoa-2017-0057.
20. Zorin N.A. "Validity" or the "significance" – 12 years later. *Pediatric Pharmacology*, 2011, no. 5, pp. 13-19. (in Russ.)
21. Currell K., Jeukendrup A.E. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Medicine*, 2008, vol. 38(4), pp. 297-316. DOI: 10.2165/00007256-200838040-00003.
22. Bailey Ch. Reliability and Validity. Quantitative Analysis in Exercise and Sport Science. 2021. University of North Texas Libraries. DOI: 10.12794/sps.ot-quantitative-analysis-exss.
23. Batyashova I.V., Krivets O.A. Sports metrology: an educational and methodical manual. Pavlodar: Kereku, 2017, 93 p. (in Russ.)
24. Rybina I.L. Shirkovets E.A. Diagnostic information of biochemical tests frequently used in sports practice. *Sports Science Bulletin*, 2013, no. 2, pp. 31-35. (in Russ.)
25. Yuan J., Zeng Q., Li J., Cong Z., Zhang Y. Machine learning applications in sports injury prediction: A narrative review. *Science Progress*, 2025, vol. 108(4), p. 368504251385956. DOI: 10.1177/00368504251385956.
26. Houtmeyers K.C., Jaspers A., Figueiredo P. Managing the Training Process in Elite Sports: From Descriptive to Prescriptive Data Analytics. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2021, vol. 16(11), pp. 1719-1723. DOI: 10.1123/ijspp.2020-0958.
27. Iriskhanova O.K. Reification in cognition and communication. *Cognitive studies of language*, 2015, no. 23, pp. 216-226. (in Russ.)
28. Ugleva A.V. Disease objectification: the phenomenon of reification in digital psychiatry. *Voprosy Filosofii*, 2025, no. 11, pp. 112-123. DOI: 10.21146/0042-8744-2025-11-112-123. (in Russ.)
29. Kozlov A.I., Kozlova M.A. Cortisol as a Marker of Stress. *Human physiology*, 2014, vol. 40, no. 2, pp. 123. DOI: 10.7868/S0131164 61402009X. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Павел Азифович Байгужин – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НИЦ спортивной науки, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, e-mail: baiguzhinpa@susu.ru.
Дарья Захаровна Шибкова – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник НИЦ спортивной науки, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, e-mail: shibkova2006@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Pavel A. Baiguzhin – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Sports Science Research Center, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, e-mail: baiguzhinpa@susu.ru.
Daria Z. Shibkova – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher of the Sports Science Research Center, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, e-mail: shibkova2006@mail.ru.

Для цитирования: Байгужин, П.А. Семантическая матрица терминологического аппарата описания функционального состояния систем организма в медико-биологических исследованиях / П.А. Байгужин, Д.З. Шибкова // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_2

For citation: Baiguzhin P.A., Shibkova D.Z. Semantic matrix of the terminological apparatus for describing the functional state of body systems in biomedical research. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_2

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_3
УДК 612.833

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_3
UDC 612.833

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ У ФИЗИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЛИЦ 5-20 ЛЕТ ПО ДАННЫМ СТАБИЛОМЕТРИИ

М.В. Васина[1], А.А. Мельников[1], С.А. Фирсин[2]
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Россия
[2]Государственное автономное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Московской области «Корпоративный университет развития образования», г. Мытищи, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Целью исследования являлось выявление возрастных особенностей постуральной устойчивости у здоровых физически активных лиц мужского пола 5-20 лет. Обследуемые (n=267) были распределены по возрасту в соответствии с количеством полных лет. ***Методы.*** Оценку устойчивости позы выполняли методом стабилометрии в обычной стойке при открытых и закрытых глазах. Анализировали линейную среднюю скорость перемещения центра давления и доверительную площадь эллипса. ***Результаты.*** Показано, что стабилизация устойчивости позы в условиях открытых и закрытых глаз достигается к 11 годам. В пубертатном периоде (13-14 лет) выявлено небольшое, статистически значимое снижение постуральной устойчивости. ***Заключение.*** Установлено, что окончательная стабилизация постуральной устойчивости у физически активных юношей 5-20 лет наступает в возрасте 15 лет, при этом совпадающий с пубертатными перестройками организма предшествующий период 5-14 лет характеризуется относительной стабилизацией к 11 годам и временным снижением в 13-14 лет.
Ключевые слова: вертикальная поза, постуральная регуляция, статическое равновесие, стабилометрия, возрастное развитие, дети.

AGE-RELATED FEATURES OF POSTURAL REGULATION IN PHYSICALLY ACTIVE INDIVIDUALS AGED 5-20 YEARS ACCORDING TO THE STABILOMETRY DATA

M.V. Vasina[1], A.A. Melnikov[1], S.A. Firsin[2]
[1]Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russia
[2]Corporate University of Education Development, Mytishchi, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The objective of the study – to identify age-related features of postural stability in healthy, physically active males aged 5-20 years. The subjects (n=267) were grouped by age according to the number of full years. ***Methods.*** Postural stability was assessed using stabilometry in a normal stance with eyes open and eyes closed. We analyzed linear mean velocity of the center of pressure displacement and confidence ellipse area. ***Results.*** It has been shown that postural stability is achieved by age 11 under both eyes-open and eyes-closed conditions. During puberty (13-14 years), a slight but statistically significant decrease in postural stability was observed. ***Conclusion.*** It has been established that final postural stability stabilization in physically active boys aged 5-20 years occurs at age 15. The preceding period from 5 to 14 years is characterized by relative stabilization by age 11 and a temporary decline at 13-14 years, coinciding with pubertal reorganization of the body.
Keywords: vertical posture, postural regulation, static balance, stabilometry, age-related development, children.

Введение. Регуляция позы – базовая сенсомоторная функция, значимая как в повседневной активности, так и во время занятий физической культурой и спортом для эффективного выполнения целенаправленных действий [1].

Функция регуляции позы формируется в результате естественного созревания сенсорных систем и механизмов сенсомоторной интеграции в процессе возрастного развития [2]. Так, в стабилометрическом исследовании Y.S. Hsu и соавт. показана выраженная возрастная динамика показателей статического равновесия у детей в возрасте 3-12 лет, отражающая постепенное совершенствование механизмов контроля

вертикальной позы и интеграции сенсорных входов по мере взросления [2]. Следует отметить, что формирование функции равновесия происходит также под влиянием спортивной тренировки [3]. По данным исследований спортсменов, в том числе борцов, систематическая подготовка сопровождается формированием специфических адаптаций регуляции равновесия, что проявляется в изменении стабилометрических показателей в зависимости от требований вида спорта [1, 3].

По данным литературы, функция равновесия наиболее интенсивно развивается в детском возрасте и, как правило, стабилизируется на уровне взрослых значений после 12 лет [2, 4]. При этом быстрее формируется контроль позы в простых условиях – в обычной вертикальной стойке на твердой опоре с открытыми глазами, стабилизация скорости колебаний центра давления происходит к возрасту 7 лет [2]. Регуляция позы в более сложных сенсорных условиях – в стойке с закрытыми глазами и на нестабильной опоре – может совершенствоваться до возраста 12 лет [2]. В исследовании Ю.В. Корягиной и соавт. у девочек и девушек 4-17 лет, занимающихся художественной гимнастикой, вестибулярная устойчивость по площади статокинезиограммы в стойке с открытыми (ОГ) и закрытыми (ЗГ) глазами совершенствовалась до 10-летнего возраста, а по скорости колебаний – до 14-летнего возраста [5]. В нашем ранее опубликованном исследовании юных дзюдоистов 7-15 лет было выявлено, что площадь эллипса и линейная средняя скорость колебаний центра давления (ЦД) достигают относительной стабилизации к 11-12 годам, тогда как некоторые спектральные показатели продолжают изменяться и после 12 лет, что интерпретировано нами как снижение избыточной высокочастотной мышечной активности и усиление супраспинального контроля постуральных реакций [4]. Однако ограниченность возрастного диапазона не позволяла сделать более убедительные заключения об этапах становления функции регуляции позы [4]. В то же время характеристики постурального контроля у физически активных детей и подростков, не обязательно занимающихся спортом, описаны недостаточно.

В настоящей работе мы увеличили возрастной диапазон испытуемых с 5 до 20 лет. Участники исследования активно занимались физической культурой и в спортивно-оздоровительных секциях дополнительного образования в городских образовательных учреждениях.

Целью нашей работы было исследование возрастных особенностей статической устойчивости в стандартных постуральных тестах у физически активных лиц 5-20 лет.

Методы и организация исследования. Нами были обследованы здоровые физически активные дети и взрослые мужского пола (n=267) в возрасте от 5 до 20 лет. Все участники вели активный образ жизни, занимались физической культурой по программам дошкольного, общего и высшего образования. Некоторые дети и юноши посещали спортивно-оздоровительные секции разной направленности в системе дополнительного образования. Испытуемые были разделены на возрастные группы по числу полных лет: 5 лет (n=12), 6 лет (n=9), 7 лет (n=18), 8 лет (n=22), 9 лет (n=28), 10 лет (n=30), 11 лет (n=21), 12 лет (n=21), 13 лет (n=19), 14 лет (n=19), 15 лет (n=20), 16 лет (n=15), 19 лет (n=19) и 20 лет (n=14). У всех испытуемых фиксировали антропометрические показатели, такие как длина и масса тела (табл. 1).

Оценка регуляции позы проводилась методом стабилометрии на платформе «Стабилан-01-2» (ОКБ «Ритм»). Для оценки устойчивости позы в разные возрастные периоды были выбраны следующие тесты:

1. Тест в обычной вертикальной стойке с ОГ, стопы параллельно, на твердой стабилоплатформе. Время записи – 20 с.

2. Тест в обычной вертикальной стойке с ЗГ, стопы параллельно, на твердой стабилоплатформе. Время записи – 20 с.

Родители (законные представители) детей и взрослые испытуемые были ознакомлены с условиями эксперимента и дали информированное добровольное согласие на исследование.

Для анализа использовались линейная средняя скорость (ЛСС, мм/с) и доверительная площадь эллипса колебаний (EllS, мм^2) общего центра давления. Сравнение показателей между возрастными

группами выполняли непараметрическим дисперсионным анализом Краскела-Уоллиса с последующими апостериорными сравнениями по Манна-Уитни с поправкой Бонферрони. Сравнения проводили относительно группы 20 лет («взрослый» уровень). Вычисления были выполнены в RStudio (версия 2026.01.1) с использованием языка R (версия 4.5.2) [6]. Уровень $p<0,05$ принимается как статистически существенный, а $p<0,1$ как тенденция.

Таблица 1

Антропометрические показатели по возрастным группам, M±m

Возраст, лет	Длина тела, см	Масса тела, кг
5	112,1±1,2	19,8±0,9
6	118,2±1,8	25,2±1,9
7	128,5±1,1	27,1±1,2
8	134±0,9	29,4±1,1
9	139,9±1,4	35,8±2
10	141,3±1,3	34,4±0,9
11	150,7±1,5	44,5±2,1
12	154,6±1,4	46,3±2,2
13	163,7±2,4	52,5±3,1
14	171,2±1,4	61,2±2,7
15	173,9±2,1	63,2±2,1
16	175,9±1,4	75,5±4,6
19	176,4±1,4	79,8±2,6
20	178,8±1,3	78,6±3,7

Примечание: M – среднее арифметическое; m – стандартная ошибка среднего.

Результаты исследования и их обсуждение. Непараметрический дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса выявил статистически значимые различия между всеми возрастными группами как по показателю ЛСС ($p<0,0001$ в стойке с ОГ, $p<0,0001$ в стойке с ЗГ), так и по показателю EllS ($p<0,0001$ в стойке с ОГ, $p<0,0001$ в стойке с ЗГ). Далее для уточнения различий между группами был проведен пост-хок анализ с использование U-критерия Манна-Уитни с поправкой Бонферрони для множественных сравнений (табл. 2).

Таблица 2

Показатели стабилометрии в тестах с открытыми и закрытыми глазами, Me [Q1; Q3]

Возраст, лет	ОГ		ЗГ	
	EllS, мм^2	ЛСС, мм/с	EllS, мм^2	ЛСС, мм/с
5	359,6 [238,6; 464,5]***	18,4 [13,1; 21,6]**	440,7 [332,9; 536,6]***	19,2 [17,6; 23,8]**
6	262,7 [193,7; 427,6]**	17 [15,8; 19]**	570,4 [241,1; 1175,8]**	26,2 [25,4; 38,4]**
7	199,1 [131,5; 237,9]**	13 [12,2; 13,9]**	293 [198,2; 530,6]**	18 [16,4; 20,6]**
8	141,9 [112,6; 298]**	11,6 [10,6; 14,1]**	210,8 [158,5; 299,4]**	15,3 [13,5; 18,7]*
9	134,8 [98,4; 184]*	10,4 [8,1; 15]	186,8 [126,3; 439]*	14,8 [11,9; 21,2]*’
10	127,7 [66,3; 174,9]*’	11,6 [9,3; 14,6]*	189,9 [89,2; 386,4]*’	14,8 [11,8; 18,8]*’
11	85,9 [68,7; 204,1]	8,7 [7,6; 10,9]	156,9 [84,9; 247,8]	11,5 [10; 14,8]
12	63,9 [41,4; 145,9]	8,5 [7,5; 10,2]	157,1 [92,5; 198]	13,7 [10; 16,8]
13	107,8 [79; 192,7]*’	10,2 [8; 11,5]	227,8 [146,4; 321,3]*	13,2 [12,3; 18]
14	157,8 [88,2; 289]*	10,8 [8,4; 14,3]	189,3 [104,2; 387,5]*’	14 [10,5; 19,6]
15	58,2 [39,5; 129,8]	8 [7,3; 11,6]	112,5 [95,1; 185,9]	10,8 [9,5; 15,2]
16	54,7 [44,5; 99,5]	7,4 [6,9; 7,9]	104,7 [80; 198,4]	10,2 [8,8; 15,2]
19	63,1 [42,5; 122,2]	6,8 [5,4; 9,7]	79,6 [56,8; 183,8]	9,8 [8,2; 14,6]
20	49,4 [32,8; 87,6]	7,5 [6,3; 9,1]	90,7 [53; 115,4]	10,7 [8,5; 15]

Примечание: EllS – доверительная площадь эллипса колебаний; ЛСС – линейная средняя скорость; ОГ – открытые глаза; ЗГ – закрытые глаза; *’ – $p<0,1$, * – $p<0,05$; ** – $p<0,01$; *** – $p<0,001$ – по сравнению с группой 20 лет по критерию Манна-Уитни с поправкой Бонферрони.

Апостериорные сравнения с группой 20 лет показали, что в стойке с ОГ стабилографические показатели достигали «взрослого» уровня (EllS и ЛСС) к возрасту 11 лет. В частности, величины EllS были повышены до 10 лет, а ЛСС – до 11 лет. Однако в возрасте 14 лет был зафиксирован всплеск постуральной нестабильности: EllS в этом возрасте снова стала выше, чем в возрастной группе 20 лет (рис. 1).

В стойке с ЗГ достижение показателей постуральных колебаний уровня группы двадцати лет происходило к 10-летнему возрасту. EllS не отличалась от уровня двадцатилетних мужчин в 10 лет, а ЛСС – в 9 лет (рис. 2). Однако в возрасте 13 лет был зафиксирован всплеск нестабильности ($p<0,05$): показатель постуральной устойчивости (EllS) снова становился выше ($p<0,05$), чем в возрасте 20 лет.



Рис. 1. Площадь эллипса статокинезиограммы (EllS) в стойке с закрытыми и открытыми глазами на стабилоплатформе в возрастных группах

Примечание: * – $p<0,05$; ** – $p<0,01$; *** – $p<0,001$ – по сравнению с группой 20 лет по пост-хок критерию Манна-Уитни с поправкой Бонферрони.



Рис. 2. Линейная скорость статокинезиограммы (ЛСС) в стойке с закрытыми и открытыми глазами на стабилоплатформе в возрастных группах

Примечание: * – $p<0,05$; ** – $p<0,01$; *** – $p<0,001$ – по сравнению с группой 20 лет по пост-хок критерию Манна-Уитни с поправкой Бонферрони.

Таким образом, в различных сенсорных условиях стояния на твердой опоре, с наличием визуального контроля и без него, основные стабилометрические показатели приближаются к взрослому уровню уже в возрасте 11 лет. Некоторые отличия стабилизации позы в разных сенсорных условиях в 10 лет в стойке с ЗГ и 11 лет в стойке с ОГ, вероятно, связаны с внутригрупповыми колебаниями показателей и

небольшими выборками. Наиболее ценным результатом является факт временного снижения постуральной устойчивости в 13-14 лет. Мы полагаем, что это явление связано с пубертатными перестройками, в первую очередь с ростовым скачком. Действительно, разница в длине тела между 12- и 13-летними составила в среднем 9,1 см, что указывает на активацию ростовых процессов, связанных с периодом полового созревания. Быстрые соматические изменения в параметрах и составе тела требуют перестройки механизмов регуляции позы [2], которые могут отставать от соматических. Это согласуется с данными о более позднем развитии механизмов сенсорной переоценки и интеграции, в том числе при дефиците зрительного контроля [9]. По данным исследований, сначала сенсорное созревание происходит в зрительной системе, затем в проприоцептивной и, наконец, в вестибулярной системе [9]. В условиях сенсорного конфликта или при изменении надежности одного из каналов дети хуже, чем взрослые, перераспределяют сенсорные веса, что проявляется повышенной постуральной неустойчивостью. В целом, наши данные согласуются с временным снижением устойчивости позы в период пубертатных перестроек, показанных в обзоре C.C. Quatman-Yates и др. [10]. Предположено, что многие аспекты сенсомоторной функции продолжают развиваться на протяжении всего подросткового возраста, а у некоторых детей наблюдается регресс в некоторых сенсомоторных механизмах [10].

Полученные данные обосновывают выделение возрастных периодов для направленного развития постуральной устойчивости. Поскольку стабилизация ЛСС и EllS в целом завершается к 11-летнему возрасту, сенситивным периодом развития способности к равновесию может быть возрастной период до 11 лет. Кроме того, в пубертатный период, который можно идентифицировать по ростовому скачку и другим признакам, необходимо учитывать возможное снижение устойчивости позы и уделять внимание этой координационной способности, особенно в тех видах спорта, которые предъявляют высокие требования к равновесию тела. Полученные данные указывают на особое значение пубертатного периода в развитии способности к равновесию человека, эффекты и механизмы которого требуют дополнительного изучения.

Результаты работы имеют ограничения, связанные с поперечным (срезовым) дизайном. Для более точных результатов необходимы лонгитюдные исследования.

Заключение. В возрастном диапазоне 5-20 лет формирование и стабилизация устойчивости вертикальной позы в стойке на твердой опоре с открытыми и закрытыми глазами происходят к 11 годам. В 13-14 лет отмечается небольшое и временное снижение постуральной устойчивости в обоих сенсорных условиях с последующим выходом на взрослые значения после 15 лет.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников, А.А. Функция равновесия у спортсменов-борцов : монография / А.А. Мельников, А.Д. Викулов, М.В. Малахов. – Ярославль : ЯГПУ, 2016. – 150 с.

2. Hsu, Y.S. Assessing the development of balance function in children using stabilometry / Y.S. Hsu, C.C. Kuan, Y.H. Young // International Journal Pediatric Otorhinolaryngology. – 2009. – Vol. 73. – No. 5. – P. 737-740. DOI: 10.1016/j.ijporl.2009.01.016.

3. Paillard, T. Relationship Between Sport Expertise and Postural Skills / T. Paillard // Frontiers in Psychology. – 2019. – Vol. 10. – P. 1428. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.01428.

4. Мельников, А.А. Возрастные особенности регуляции вертикальной позы у юношей-дзюдоистов 7-15 лет / А.А. Мельников, М.В. Васина // Журнал медико-биологических исследований. – 2022. – Т. 10. – № 3. – С. 221-231. DOI: 10.37482/2687-1491-Z110.

5. Корягина, Ю.В. Оценка динамики морфологического статуса и физических качеств девочек и девушек 4-17 лет, занимающихся художественной гимнастикой / Ю.В. Корягина, С.В. Нопин, О.Н. Акимкина // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2024. – Т. 3. – № 1. – С. 7-16.

6. Fletcher, R.S. On-the-Go Prediction of Soil pH Using Generalized Additive Models in Mississippi Delta: A Case Study / R.S. Fletcher // Open Journal of Soil Science. – 2025. – Vol. 15. – No. 4.

7. Horak, F.B. Postural Orientation and Equilibrium / F.B. Horak, J.M. Macpherson // In: Handbook of Physiology. Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems. – MD: American Physiological Society, 1996. – P 255-292.
8. Neuromuscular performance of balance and posture control in childhood and adolescence / O. Ludwig, J. Kelm, A. Hammes [et al.] // Heliyon. – 2020. – Vol. 6(7). – P. e04541. DOI: 10.1016/ j.heliyon.2020.e04541.
9. Development of postural control and maturation of sensory systems in children of different ages a cross-sectional study / C.D.S. Cardoso de Sá, C.C. Boffino, R.T. Ramos, C. Tanaka // Brazilian Journal Physical Therapy. – 2018. – Vol. 22(1). – P. 70-76. DOI: 10.1016/j.bjpt.2017.10.006.
10. A systematic review of sensorimotor function during adolescence: a developmental stage of increased motor awkwardness? / C.C. Quatman-Yates, C.E. Quatman, A.J. Meszaros [et al.] // British Journal of Sports Medicine. – 2012. – Vol. 46(9). – P. 649-655. DOI: 10.1136/bjsm.2010.079616.

REFERENCES

1. Melnikov A.A., Vikulov A.D., Malakhov M.V. Balance function in wrestler athletes. Yaroslavl: Yaroslavl State Pedagogical University, 2016. 150 p. (in Russ.)
2. Hsu Y.S., Kuan C.C., Young Y.H. Assessing the development of balance function in children using stabilometry. *International Journal Pediatric Otorhinolaryngology*, 2009, vol. 73, no. 5, pp. 737-740. DOI: 10.1016/j.ijporl.2009.01.016.
3. Paillard T. Relationship between Sport Expertise and Postural Skills. *Frontiers in Psychology*, 2019, vol. 10, p. 1428. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.01428.
4. Melnikov A.A., Vasina M.V. Age-Related Peculiarities of Vertical Posture Regulation in Male Judokas Aged 7-15 Years. *Journal of Medical and Biological Research*, 2022, vol. 10, no. 3, pp. 221-231. DOI: 10.37482/2687-1491-Z110. (in Russ.)
5. Koryagina Yu.V., Nopin S.V., Akimkina O.N. Assessment of changes in morphological status and physical qualities of 4-17-year-old girls engaged in rhythmic gymnastics. *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*, 2024, vol. 3, no. 1, pp. 7-16. (in Russ.)
6. Fletcher R.S. On-the-Go Prediction of Soil pH Using Generalized Additive Models in Mississippi Delta: A Case Study. *Open Journal of Soil Science*, 2025, vol. 15, no. 4.
7. Horak F.B., Macpherson J.M. Postural Orientation and Equilibrium. In: Handbook of Physiology. Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems. MD: American Physiological Society, 1996. pp. 255-292.
8. Ludwig O., Kelm J., Hammes A., Schmitt E., Fröhlich M. Neuromuscular performance of balance and posture control in childhood and adolescence. *Heliyon*, 2020, vol. 6(7), p. e04541. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04541.
9. Cardoso de Sá C.D.S., Boffino C.C., Ramos R.T., Tanaka C. Development of postural control and maturation of sensory systems in children of different ages a cross-sectional study. *Brazilian Journal Physical Therapy*, 2018, vol. 22(1), pp. 70-76. DOI: 10.1016/j.bjpt.2017.10.006.
10. Quatman-Yates C.C., Quatman C.E., Meszaros A.J., Paterno M.V., Hewett T.E. A systematic review of sensorimotor function during adolescence: a developmental stage of increased motor awkwardness? *British Journal of Sports Medicine*, 2012, vol. 46(9), pp. 649-655. DOI: 10.1136/bjsm. 2010.079616.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Маргарита Владимировна Васина – аспирант, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: vasina75@gmail.com.
Андрей Александрович Мельников – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: meln1974@yandex.ru.
Сергей Анатольевич Фирсин – кандидат педагогических наук, доцент кафедры управления, Корпоративный университет развития образования, Мытищи, e-mail: firsinsa@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Margarita V. Vasina – Postgraduate Student, Russian University of Sport «GTSOLIFK», Moscow, e-mail: vasina75@gmail.com.
Andrey A. Melnikov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Physiology, Russian University of Sport «GTSOLIFK», Moscow, e-mail: meln1974@yandex.ru.
Sergey A. Firsin – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Management, Corporate University of Education Development, Mytishchi, e-mail: firsinsa@yandex.ru.

Для цитирования: Васина, М.В. Возрастные особенности постуральной регуляции у физически активных лиц 5-20 лет по данным стабилометрии / М.В. Васина, А.А. Мельников, С.А. Фирсин // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_3

For citation: Vasina M.V., Melnikov A.A., Firsin S.A. Age-related features of postural regulation in physically active individuals aged 5-20 years according to the stabilometry data. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_3

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_4
УДК 612.017:57.017.3:373.4

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_4
UDC 612.017:57.017.3:373.4

ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПЯТЫХ КЛАССОВ ГОРОДСКОЙ И СЕЛЬСКОЙ ШКОЛ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Н.А. Гарская[1], Е.Н. Пашутина[2], О.В. Кочубей[3], Е.Е. Романенко[4]
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия
[2]Государственное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Государственный гуманитарно-технологический университет», г. Орехово-Зуево, Россия
[3]Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение Луганской Народной Республики «Беловская средняя школа № 2», пгт. Белое, Россия
[4]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Луганский государственный педагогический университет», г. Луганск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Переход в пятый класс сопровождается изменением условий обучения и увеличением адаптационной нагрузки, что определяет актуальность оценки состояния сердечно-сосудистой системы у школьников. ***Методы.*** Выполнен сравнительный анализ показателей сердечно-сосудистой системы у 41 обучающегося 10 лет. Оценивали основные гемодинамические показатели, параметры центральной гемодинамики и адаптационный потенциал. ***Результаты.*** У обучающихся городской школы выявлены более высокие значения частоты сердечных сокращений, диастолического и среднего гемодинамического артериального давления, а также напряжение механизмов адаптации. У сельских школьников отмечены более высокие значения систолического объема крови и более экономичный тип кровообращения. В городской группе выявлены более тесные гемодинамические взаимосвязи. ***Заключение.*** Адаптационные возможности пятиклассников зависят от условий обучения и проживания. У городских школьников адаптация протекает с большим напряжением регуляторных механизмов.
Ключевые слова: школьники, адаптационные возможности, сердечно-сосудистая система, гемодинамика, адаптационный потенциал.

ADAPTIVE CAPACITIES OF 5TH-GRADE URBAN AND RURAL SCHOOLCHILDREN ASSESSED BY CARDIOVASCULAR SYSTEM INDICATORS

N.A. Garskaya[1], E.N. Pashutina[2], O.V. Kochubey[3], E.E. Romanenko[4]
[1]Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
[2]University for Humanities and Technologies, Orekhovo-Zuyevo, Russia
[3]Belovskaya Secondary School No 2, Beloe, Russia
[4]Lugansk State Pedagogical University, Lugansk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The transition to the fifth grade is associated with changes in educational conditions and an increased adaptive load, which underscores the relevance of assessing cardiovascular status in schoolchildren. ***Methods.*** A comparative analysis of cardiovascular indicators was conducted in 41 ten-year-old schoolchildren. We assessed basic hemodynamic parameters, central hemodynamic indices, and adaptive potential. ***Results.*** Urban schoolchildren have shown higher heart rate, diastolic blood pressure, and mean arterial pressure, as well as signs of adaptation mechanism strain. Rural schoolchildren have demonstrated higher stroke volume and a more economical circulation type. Stronger hemodynamic interrelationships were found in the urban group. ***Conclusion.*** The adaptive capacities of fifth-grade schoolchildren depend on learning and living conditions. Urban schoolchildren exhibit greater strain of regulatory mechanisms during adaptation.
Keywords: schoolchildren, adaptive capacities, cardiovascular system, hemodynamics, adaptive potential.

Введение. Переход обучающихся из начальной школы в основную относится к числу наиболее значимых и сложных этапов школьной адаптации, поскольку связан с изменением привычных социальных и образовательных условий. Дополнительные трудности обусловлены тем, что возраст 10-12 лет характеризуется выраженными

физиологическими и психологическими перестройками, способными затруднять приспособление к новому уровню обучения [1]. В этот возрастной период нередко отмечаются снижение самооценки, изменение учебной мотивации и повышение уровня тревожности, что позволяет рассматривать его как кризисный этап развития [2]. Даже при благоприятном течении адаптации к изменившейся образовательной среде данный процесс имеет определенную «цену», которая зависит от степени напряжения и истощения функциональных резервов организма и может сопровождаться соматическими и функциональными нарушениями [3, 4].

По данным литературы, механизмы адаптации имеют свои особенности на разных этапах образовательного процесса, а адаптационные ресурсы организма особенно активно мобилизуются при переходе с одной ступени обучения на другую [5, 6]. В этой связи у учащихся пятых классов существенную роль в успешности школьной адаптации играют индивидуальные адаптационные возможности.

Одной из наиболее чувствительных систем, отражающих процессы приспособления организма к условиям окружающей среды, является сердечно-сосудистая система [7]. В настоящее время ее все чаще рассматривают как интегральный показатель, характеризующий степень динамического равновесия организма со средой [8]. Параметры сердечной деятельности могут служить информативными маркерами напряжения физиологических механизмов и снижения адаптационных резервов [9]. Установлено также, что критический этап в развитии кровообращения приходится именно на возраст 9-10 лет, совпадающий с переходом ребенка в среднюю школу.

Цель исследования – оценить адаптационные возможности учащихся пятых классов сельской и городской общеобразовательных школ по показателям сердечно-сосудистой системы.

Методы и организация исследования. В исследовании приняли участие 41 обучающийся пятых классов в возрасте 10 лет из двух общеобразовательных учреждений Луганской Народной Республики. Сбор эмпирического материала проводился в конце октября 2022-2023 учебного года, в период завершения первой учебной четверти, когда у школьников завершался этап первичной адаптации к образовательным нагрузкам и новому учебному режиму.

В зависимости от места обучения школьники были разделены на две группы: I группа (городская школа) – 26 человек (15 мальчиков, 11 девочек), обучающиеся Луганской средней школы № 17 имени Валерия Брумеля (г. Луганск); II группа (сельская школа) – 15 человек (8 мальчиков, 7 девочек), обучающиеся Беловской средней школы № 2 (пгт. Белое, 25 км от г. Луганска).

Исследование выполнено с соблюдением этических стандартов биомедицинских исследований и при наличии информированного добровольного согласия родителей (законных представителей) детей. Комплексная оценка физического развития и функционального состояния проводилась в соответствии с рекомендациями Научно-исследовательского института антропологии Московского государственного университета (1981) и Всемирной организации здоровья (ВОЗ) (1984) [10, 11].

В утренние часы, в состоянии относительного физиологического покоя, у всех участников регистрировали антропометрические показатели (рост и массу тела), а также гемодинамические параметры: частоту сердечных сокращений (ЧСС), систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) артериальное давление стандартным аускультативным методом.

Для более детальной оценки состояния центральной гемодинамики анализировали пульсовое давление (ПД), среднее гемодинамическое артериальное давление (СрГД), систолический объем крови (СО), минутный объем крови (МОК), сердечный индекс (СИ) и общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС) [11-14]. Эффективность и экономичность работы системы кровообращения оценивали по показателям максимального потребления кислорода (МПК), коэффициенту выносливости (КВ) и коэффициенту эффективности кровообращения (КЭК) [15, 16]. Интегральную оценку функционирования адаптационных механизмов

проводили по величине адаптационного потенциала (АП) по Р.М. Баевскому (1987) [17, 18].

Статистическую обработку данных выполняли с использованием пакета прикладных программ Statistica 10. Количественные признаки описывали с помощью среднего арифметического и стандартной ошибки среднего (M±m), диапазона вариации (Lim) и коэффициента вариации (CV), который использовали для оценки однородности выборок. Нормальность распределения оценивали по критерию Шапиро-Уилка. Межгрупповое сравнение показателей при нормальном распределении проводили с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок, при отклонении от нормального распределения применяли U-критерий Манна-Уитни. Взаимосвязь между показателями оценивали методом корреляционного анализа (r). Статистически значимыми считали различия при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Согласно критериям ВОЗ, возраст 10 лет является критическим рубежом начала подросткового периода, сопряженным с повышенной уязвимостью к стрессорным факторам. С учетом того, что сердечно-сосудистая система выступает ведущим маркером адаптационных реакций, нами была проведена сравнительная оценка базовых гемодинамических показателей учащихся городской и сельской школ (табл. 1).

Таблица 1

Базовые гемодинамические показатели обучающихся городской и сельской школ

Показатели	I группа (городская школа)		II группа (сельская школа)	
	Мальчики (♂) (n=15)	Девочки (♀) (n=11)	Мальчики (♂) (n=8)	Девочки (♀) (n=7)
ЧСС, уд/мин	109,08±5,26	104,63±4,18	94,5±2,69	94,71±5,41
p	–	>0,05	>0,05	>0,05
p'	–	–	–	>0,05
Lim (R)	84-158 (74)	82-129 (47)	80-104 (24)	76-117 (41)
CV, %	17,4	13,26	8,04	15,1
САД, мм рт. ст.	113,69±6,17	105,64±3,83	97,5±2,28	105,0±3,9
p	–	>0,05	>0,05	>0,05
p'	–	–	>0,05	>0,05
Lim (R)	85,0-162,0 (77)	90,0-129,0 (39)	92,0-111,0 (19)	93,0-120,0 (27)
CV, %	19,06	12,03	6,59	9,83
ДАД, мм рт. ст.	80,23±5,0	75,18±1,68	62,63±2,99	64,14±2,76
p	–	>0,05	–	>0,05
p'	–	–	≤0,05	≤0,01
Lim (R)	54,0-117,0 (63)	64,0-86,0 (22)	54,0-77,0 (23)	55,0-73,0 (18)
CV, %	22,46	7,4	13,51	11,35
ПД, мм рт. ст.	33,46±3,46	30,45±3,81	34,88±3,14	40,86±3,89
p	–	>0,05	–	>0,05
p'	–	–	>0,05	>0,05
Lim (R)	14-59 (35)	14-51 (37)	17-49 (32)	25-56 (31)
CV, %	40,5	41,54	25,43	25,18
СрГД, мм рт. ст.	91,38±5,12	85,33±1,88	74,25±2,35	77,76±2,6
p	–	>0,05	>0,05	>0,05
p'	–	–	≤0,05	≤0,05
Lim (R)	64,33-130,0 (65,67)	75,0-96,33 (21,33)	69,0-86,33 (17,33)	70,0-86,0 (16,0)
CV, %	5,6	2,2	3,16	3,34

Примечание: ЧСС – частота сердечных сокращений; Lim (R) – диапазон изменчивости признака; CV – коэффициент вариации; p – вероятность разницы между мальчиками и девочками одной школы; p' – вероятность разницы между учащимися одного пола городской и сельской школ; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ПД – пульсовое давление; СрГД – среднее гемодинамическое артериальное давление.

Установлено, что у обучающихся городской школы ЧСС была выше, чем у сельских сверстников: у городских мальчиков – 109,08±5,26 уд/мин, у девочек – 104,63±4,18 уд/мин, тогда как у сельских школьников соответствующие значения были ниже – 94,5±2,69 и 94,71±5,41 уд/мин. Несмотря на отсутствие статистически значимых различий сама направленность изменений заслуживает внимания. Кроме того, в городской группе отмечены более высокие значения коэффициента вариации ЧСС, особенно у мальчиков, что может указывать на большее напряжение механизмов регуляции сердечного ритма. По уровню САД достоверных различий между группами не выявлено.

Иная картина наблюдалась при анализе диастолического давления. У обучающихся городской школы ДАД было выше, чем у сельских школьников: 80,23±5,0 и 75,18±1,68 мм рт. ст. у мальчиков и девочек города 62,63±2,99 против 64,14±2,76 мм рт. ст. в сельской группе. Различия между учащимися одного пола были статистически значимыми: у мальчиков – при $p' \leq 0,05$, у девочек – при $p' \leq 0,01$. Повышение ДАД у городских школьников можно рассматривать как признак более высокого тонуса периферических сосудов.

Показатели ПД между группами существенно не различались, однако для них была характерна достаточно высокая вариабельность. СрГД у обучающихся городской школы также оказалось выше: у мальчиков – 91,38±5,12 мм рт. ст., у девочек – 85,33±1,88 мм рт. ст., тогда как в сельской группе эти значения составили 74,25±2,35 и 77,76±2,6 мм рт. ст. соответственно. Различия были достоверными при $p' \leq 0,05$.

Дальнейший анализ был связан с оценкой показателей центральной гемодинамики и адаптационных возможностей (табл. 2). По МОК статистически значимых различий между группами не выявлено: он варьировал от 4311,85±338,53 мл/мин у городских мальчиков до 5120,3±400,26 мл/мин у сельских девочек. Однако механизмы поддержания кровообращения у городских и сельских школьников оказались различными.

У сельских школьников более высокими были значения СО: У мальчиков сельской школы – 51,86±3,13 мл, у девочек – 53,94±2,96 мл, тогда как у городских школьников соответствующие показатели были ниже – 40,59±3,58 и 42,11±2,34 мл. Различия были статистически значимыми: у мальчиков – при $p' \leq 0,05$, у девочек – при $p' \leq 0,01$. Это позволяет считать, что у сельских школьников поддержание МОК в большей степени обеспечивается за счет ударного выброса, тогда как у городских – за счет более частого сердечного ритма.

По показателю ОПСС достоверных различий не получено, однако у городских мальчиков отмечалась тенденция к его повышению: 1911,33±283,96 дин•с•см$^{-5}$ против 1262,46±119,69 дин•с•см$^{-5}$ у сельских сверстников. При этом высокий коэффициент вариации указывает на выраженную неоднородность городской группы по данному признаку.

Показатели МПК, КЭК и СИ достоверно между группами не различались. В то же время КВ у городских школьников был выше, чем у сельских, что можно рассматривать как косвенный признак меньшей экономичности функционирования сердечно-сосудистой системы.

Наиболее существенные различия получены при анализе АП по Р.М. Баевскому. У сельских школьников значения АП составили 1,83±0,06 усл.ед. у мальчиков и 1,97± 0,08 усл.ед. у девочек, что соответствует удовлетворительной адаптации. У городских пятиклассников этот показатель был выше – 2,79±0,17 и 2,7±0,09 усл. ед. соответственно. Различия с сельской группой были достоверными при $p' \leq 0,001$. Такие значения соответствуют напряжению механизмов адаптации.

Для уточнения характера взаимосвязей между уровнем адаптационного потенциала и показателями гемодинамики был проведен корреляционный анализ (табл. 3). Наиболее сильная связь выявлена между АП и СрГД. У городских мальчиков коэффициент корреляции составил $r=0,95$, у девочек – $r=0,94$, у сельских мальчиков – $r=0,7$. Во всех случаях связь была достоверной при $p \leq 0,05$. У сельских девочек статистически значимой связи между этими показателями не отмечено.

Таблица 2

Показатели центральной гемодинамики и адаптационных возможностей обучающихся городской и сельской школ

Показатели	I группа (городская школа)		II группа (сельская школа)	
	Мальчики (♂) (n=15)	Девочки (♀) (n=11)	Мальчики (♂) (n=8)	Девочки (♀) (n=7)
МОК, мл/мин	4311,85±338,53	4400,96±303,6	4882,1±298,05	5120,3±400,26
p	–	>0,05	–	>0,05
p'	–	–	>0,05	>0,05
Lim (R)	2086,4-6138,3 (4051,9)	3205,8-6256,5 (3047,7)	3567,2-6089,5 (2522,3)	3570,0-6084,0 (2514,0)
CV, %	28,31	22,88	17,27	20,68
СО, мл	40,59±3,58	42,11±2,34	51,86±3,13	53,94±2,96
p	–	>0,05	–	>0,05
p'	–	–	≤0,05	≤0,01
Lim (R)	16,3-59,1 (42,8)	27,4-51,9 (24,5)	34,3-64,1 (29,8)	42,5-62,0 (19,5)
CV, %	31,83	18,38	17,05	14,52
МПК, л/мин	3,61±0,07	3,65±0,1	3,48±0,09	3,61±0,1
p	–	>0,05	–	>0,05
p'	–	–	>0,05	>0,05
Lim (R)	3,17-3,99 (0,82)	3,06-4,23 (1,17)	3,26-4,03 (0,77)	3,16-3,89 (0,73)
CV, %	7,15	9,04	7,06	6,98
КВ, усл. ед.	38,15±5,05	40,65±5,89	29,8±4,67	24,59±2,84
p	–	>0,05	–	>0,05
p'	–	–	>0,05	>0,05
Lim (R)	18,81-85 (66,19)	21,18-83,57 (62,39)	19,39-61,17 (41,78)	15,89-35,48 (19,59)
CV, %	47,7	48,02	44,36	30,54
ОПСС, дин•с•см$^{-5}$	1911,33±283,96	1611,98±103,31	1262,46±119,69	1277,25±144,81
p	–	>0,05	–	>0,05
p'	–	–	>0,05	>0,05
Lim (R)	989,3-4844,71 (3855,41)	1194,61-2256,91 (1062,3)	921,69-1849,29 (927,6)	963,04-1893,08 (930,04)
CV, %	53,57	21,26	26,82	30,0
КЭК, усл. ед.	1237,31±171,96	1073,24±157,18	1089,58±94,76	1291,19±139,39
p	–	>0,05	–	>0,05
p'	–	–	>0,05	>0,05
Lim (R)	555,33-2528,0 (1972,67)	512,0-2107,0 (1595,0)	589,33-1551,67 (962,34)	700,0-1716,0 (1016,0)
CV, %	50,11	48,57	24,59	28,56
СИ, л/мин/м^2	3,35±0,37	3,143±0,32	3,89±0,28	3,59±0,27
p	–	>0,05	–	>0,05
p'	–	–	>0,05	>0,05
Lim (R)	1,82-4,9 (3,08)	1,56-5,26 (3,7)	2,98-5,36 (2,38)	2,05-4,24 (2,19)
CV, %	30,07	33,96	20,41	20,24
АП, усл. ед.	2,79±0,17	2,7±0,09	1,83±0,06	1,97±0,08
p	–	>0,05	–	≤0,05
p'	–	–	≤0,001	≤0,001
Lim (R)	1,96-4,35 (2,39)	2,32-3,42 (1,1)	1,6-2,02 (0,42)	1,72-2,35 (0,63)
CV, %	20,78	10,74	9,58	10,99

Примечание: МОК – минутный объем крови; Lim (R) – диапазон изменчивости признака; CV – коэффициент вариации; p – вероятность разницы между мальчиками и девочками одной школы; p' – вероятность разницы между учащимися одного пола городской и сельской школ; СО – систолический объем крови; МПК – максимальное потребление кислорода; КВ – коэффициент выносливости; ОПСС – общее периферическое сопротивление сосудов; КЭК – коэффициент эффективности кровообращения; СИ – сердечный индекс; АП – адаптационный потенциал.

Таблица 3

Корреляционные связи между показателями гемодинамики и адаптационным потенциалом у обследованных школьников

Коррелирующие показатели	I группа (городская школа)		II группа (сельская школа)	
	Мальчики	Девочки	Мальчики	Девочки
АП-СрГД	0,95*	0,94*	0,7*	–
АП-МОК	–	0,6*	–	–
АП-КЭК	0,77*	0,7*	–	–

Примечание: АП – адаптационный потенциал; СрГД – среднее гемодинамическое артериальное давление; МОК – минутный объем крови; КЭК – коэффициент эффективности кровообращения; * – достоверность показателя $p \leq 0,05$.

В городской группе также выявлена достоверная прямая связь между АП и КЭК: у мальчиков – r=0,77, у девочек – r=0,7. У городских девочек дополнительно установлена связь средней силы между АП и МОК (r=0,6; $p \leq 0,05$). В сельской группе, за исключением корреляции АП со СрГД у мальчиков, значимые взаимосвязи не обнаружены.

Полученные данные позволяют считать, что у городских школьников адаптационные процессы теснее связаны с перестройкой гемодинамики. У сельских детей система кровообращения функционирует устойчивее, а зависимость АП от отдельных гемодинамических показателей выражена слабее.

Заключение. Сравнительный анализ показал, что адаптационные возможности учащихся пятых классов зависят от условий обучения и проживания. У обучающихся городской школы выявлены более высокие значения ДАД и СрГД, меньший СО и более высокий АП, соответствующий напряжению механизмов адаптации. У обучающихся сельской школы адаптация протекает более экономично и сопровождается удовлетворительными значениями АП. Корреляционный анализ подтвердил, что у городских обучающихся интегральный показатель адаптации теснее связан с параметрами гемодинамики, чем у сельских школьников.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кужугет, А.А. Наставничество как фактор успешной функциональной адаптации пятиклассников к условиям обучения в основной школе / А.А. Кужугет, П.В. Бойко, А.Р. Нугаев // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. – 2025. – Т. 71. – № 1. – С. 50-57.
2. Родионова, В.О. Социально-психологический тренинг как средство развития адаптационных возможностей учащихся общеобразовательной школы при переходе от начальной к средней ступени обучения / В.О. Родионова, А.Н. Родионов // Мир науки. Педагогика и психология. – 2021. – Т. 9. – № 4. – С. 10-20.
3. Яманова, Г.А. Значимость факторов образовательного пространства в формировании здоровья детей / Г.А. Яманова, А.А. Антонова // Профилактическая медицина. – 2022. – Т. 25. – № 2. – С. 113-118.
4. Леончук, С.Л. Невроз как болезнь адаптации / С.Л. Леончук // Непрерывное медицинское образование и наука. – 2019. – Т. 14. – № 4. – С. 36-39.
5. Науменко, М.В. Особенности адаптации к новой ступени обучения школьников, получающих дополнительное образование / М.В. Науменко, Е.Е. Рогова, Е.И. Рогов // Мир науки. Педагогика и психология. – 2025. – Т. 13. – № 4. URL: https://mir-nauki.com/PDF/95PSMN425.pdf (дата обращения: 16.04.2026).
6. Чумак, К.С. Предикторы эмоционального благополучия учащихся среднего звена в процессе школьной адаптации / К.С. Чумак // Материалы Ивановских чтений. – 2025. – № 1(48). – С. 93-96.
7. Состояние сердечно-сосудистой системы студенток северного вуза в сезоны с крайними значениями фотопериода / И.А. Погонышева, Е.Ю. Шаламова, Д.А. Погонышев [и др.] //

Артериальная гипертензия. – 2022. – Т. 28. – № 4. – С. 444-454.
8. Пашутина, Е.Н. Оценка физического здоровья школьников как анализ адаптационных возможностей / Е.Н. Пашутина, Н.А. Гарская // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 1. – С. 313-320. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_42.
9. Яманова, Г.А. Спектральные параметры сердечного ритма – маркер риска развития дезадаптации учащихся различных учебных заведений / Г.А. Яманова, Р.А. Кудрин, Д.В. Орлов // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2023. – Т. 20. – № 2. – С. 29-34. DOI: 10.19163/1994-9480-2023-20-2-29-34.
10. Нормативы оценки антропометрических показателей у детей от 0 до 19 лет в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения / Н.Л. Черная, Г.С. Маскова, В.М. Ганузин [и др.]. – Ярославль, 2018. – 116 с.
11. Возрастная анатомия, физиология и гигиена : учебное пособие. – Казань: КФУ, 2013. – 166 с.
12. Изменение среднего гемодинамического артериального давления у беременных женщин с гипертензивным синдромом / А.С. Аверин, И.Д. Евтушенко, Д.Ю. Михеева [и др.] // Сибирский медицинский журнал. – 2010. – Т. 25. – № 4-2. – С. 32-34.
13. Ретроспективная оценка сердечного индекса и адаптационного индекса баевского как метода оценки эффективности кардиотропной терапии / Д.Д. Муминов, Т.И. Валинуров, А.А. Тухбатуллин [и др.] // Известия ГГТУ. Медицина, фармация. – 2025. – № 3. – С. 17-21. DOI: 10.51620/2687-1521-2025-3-23-10-14.
14. Мониторинг гемодинамики критических состояний (острый респираторный дистресс-синдром, тяжелый сепсис) и агрессивных методов респираторной поддержки : пособие для врачей / Х.Х. Хапий, В.Л. Кассиль, Ю.Ю. Сапичева [и др.]. – Москва: Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского, 2014. – 16 с.
15. Вахитов, И.Х. Физиология физических упражнений : учебное пособие / И.Х. Вахитов, А.Р. Гиззатуллин, Т.Л. Зефиров. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2015. – 248 с.
16. Быстрая оценка показателей сердечно-сосудистой системы с помощью кардиореспираторных индексов / Ек.Н. Мокашева, Ев.Н. Мокашева, И.В. Гребенникова [и др.] // Успехи современной биологии. – 2023. – Т. 143. – № 2. – С. 131-137. DOI: 10.31857/S0042132423020072.
17. Коэффициент выносливости как прогностический критерий уровня стрессоустойчивости и адаптационных возможностей студентов медицинского вуза / С.А. Леонов, В.В. Сорокина, Е.Н. Мокашева, Е.Н. Мокашева // European Journal of Natural History. – 2021. – № 2. – С. 58-62.
18. Баевский, Р.М. Введение в донозологическую диагностику / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – Москва : Слово, 2008. – 176 с.

REFERENCES

1. Kuzhuget A.A., Boyko P.V., Nugaev A.R. Mentoring as a factor of successful functional adaptation of 5th grade students to the conditions of middle school. *Bulletin of Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev*, 2025, no. 1(71), pp. 50-57. (in Russ.)
2. Rodionova V.O., Rodionov A.N. Socio-psychological training as a means of developing the adaptive capabilities of secondary school students in the transition from primary to secondary education. *World of Science. Pedagogy and psychology*, 2021, vol. 9, no. 4, pp. 10-20. (in Russ.)
3. Yamanova G.A., Antonova A.A. The importance of educational space factors in the formation of children's health. *Russian Journal of Preventive Medicine*, 2022, vol. 25, no. 2, pp. 113-118. (in Russ.)
4. Leonchuk S.L. Neurosis as adaptation disease. *Continuing Medical Education and Science*, 2019, vol. 14, no. 4, pp. 36-39. (in Russ.)
5. Naumenko M.V., Rogova E.E., Rogov E.I. Features of adaptation to a new level of education for schoolchildren receiving additional education. *World of Science. Pedagogy and psychology*, 2025, vol. 13, no. 4. Available at: https://mir-nauki.com/PDF95PSMN425pdf(accessed16.04.2026).(inRuss.)
6. Chumak K.S. Predictors of the emotional well-being of middle-level students in the process of school adaptation. *Materials of the Ivanovsky Readings*, 2025, no. 1(48), pp. 93-96. (in Russ.)
7. Pogonysheva I.A., Shalamova E.Yu., Pogonyshev D.A., Bochkarev M.V., Ragozin O.N. Cardiovascular regulation in female students of northern university during extreme photoperiod seasons. *Arterial'naya Gipertenziya ("Arterial Hypertension"),* 2022, vol. 28, no 4, pp. 444-454. (in Russ.)
8. Pashutina E.N., Garskaya N.A. Assessment of physical health of schoolchildren as an analysis of adaptive capabilities. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 313-320. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_42. (in Russ.)
9. Yamanova G.A., Kudrin R.A., Orlov D.V. Heart rate variability is a marker of the risk of maladaptation of students of various educational institutions. *Journal of Volgograd State Medical University*, 2023, vol. 20, no. 2, pp. 29-34. DOI: 10.19163/1994-9480-2023-20-2-29-34. (in Russ.)

10. Chernaya N.L., Maskova G.S., Ganuzin V.M., Shubina E.V., Dadaeva O.B. Standards for the assessment of anthropometric indicators in children from 0 to 19 years old in accordance with the World Health Organization recommendations. Yaroslavl', 2018. 116 p. (in Russ.)
11. Developmental anatomy, physiology and hygiene: a textbook. Kazan: Kazan Federal University, 2013. 166 p. (in Russ.)
12. Averin A.S., Evtushenko I.D., Mikheeva D.Yu. et al. Alteration of the average hemodynamic blood pressure in pregnant women with the hypertensive syndrome. *Siberian Medical Journal*, 2010, vol. 25, no. 4(2), pp. 32-34. (in Russ.)
13. Muminov D.D., Valinurov T.I., Tukhbatullin A.A. et al. Retrospective evaluation of the cardiac index and Baevsky's adaptation index as methods for assessing the effectiveness of cardiotropic therapy. *Izvestiya GGTU. Meditsina, farmatsiya*, 2025, no. 3(23), pp. 10-14. DOI: 10.51620/2687-1521-2025-3-23-10-14. (in Russ.).
14. Khapij Kh.Kh., Kassil V.L., Sapicheva Yu.Yu. et al. Monitoring of hemodynamics in critical conditions (acute respiratory distress syndrome, severe sepsis) and aggressive methods of respiratory support: a guide for physicians. Moscow: Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirsky, 2014. 16 p. (in Russ.)
15. Vakhitov I.Kh., Gizzatullin A.R., Zefirov T.L. Physiology of physical exercises: a textbook. Kazan: Kazan (Volga Region) Federal University, 2015. 248 p. (in Russ.)
16. Mokasheva Ek.N., Mokasheva Ev.N., Grebennikova I.V., Zemskova V.A., Bolotskikh V.I. Rapid assessment of the cardiovascular system indicators using cardiorespiratory indices. *Advances in Current Biology*, 2023, vol. 143, no. 2, pp. 131-137. DOI: 10.31857/S0042132423020072. (in Russ.)
17. Leonov S.A., Sorokina V.V., Mokasheva Ek.N., Mokasheva Ev.N. Endurance coefficient as a prognostic criterion for the level of stress resistance and adaptive capabilities of medical university students. *European Journal of Natural History*, 2021, no. 2, pp. 58-62. (in Russ.)
18. Baevsky R.M., Berseneva A.P. Introduction to prenosological diagnosis. Moscow: Slovo, 2008. 220 p. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Наталья Александровна Гарская – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и общей патологии, Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, e-mail: natalya_g@bk.ru.
Елена Николаевна Пашутина – кандидат биологических наук, доцент кафедры фармакологии и фармацевтических дисциплин, Государственный гуманитарно-технологический университет, Орехово-Зуево, e-mail: pashutina07@mail.ru.
Оксана Владимировна Кочубей – учитель биологии и географии, Беловская средняя школа № 2, Белое, e-mail: kochubey_0123@mail.ru.
Екатерина Евгеньевна Романенко – магистрантка, Луганский государственный педагогический университет, Луганск.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Natalya A. Garskaya – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Biology and General Pathology Department, Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: natalya_g@bk.ru.
Elena N. Pashutina – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Pharmacology and Pharmacological Disciplines Department, University of Humanities and Technology, Orekhovo-Zuyevo, e-mail: pashutina07@mail.ru.
Oksana V. Kochubey – Teacher of Biology and Geography, Belovskaya Secondary School No. 2, Beloe, e-mail: kochubey_0123@mail.ru.
Ekaterina E. Romanenko – Master's Student, Lugansk State Pedagogical University, Lugansk.

Для цитирования: Особенности адаптационных возможностей обучающихся пятых классов городской и сельской школ по показателям сердечно-сосудистой системы / Н.А. Гарская, Е.Н. Пашутина, О.В. Кочубей, Е.Е. Романенко // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_4

For citation: Garskaya N.A., Pashutina E.N., Kochubey O.V., Romanenko E.E. Adaptive capacities of 5th-grade urban and rural schoolchildren assessed by cardiovascular system indicators. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_4

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_5
УДК 613.7; 612.015; 378

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_5
UDC 613.7; 612.015; 378

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ТЕЛА СТУДЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

А.М. Гладышева[1], Т.Е. Батоцыренова[1], Ю.Н. Семенов[2]
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир, Россия
[2]Институт внедрения новых медицинских технологий «Рамена», г. Рязань, Россия

Аннотация. ***Введение.*** В современном обществе недостаточная физическая активность становится все более серьезной проблемой, оказывая негативное воздействие на состояние здоровья уже в молодом возрасте. ***Методы.*** Оценивали состав тела анализатором InBody 270, функциональное состояние организма методом анализа вариабельности сердечного ритма на 4-х канальном комплексе «Варикард 2.6». Уровень физической активности студентов (n=375) определяли по количеству пройденных за неделю шагов по данным приложений смартфонов и смарт-часов. ***Результаты.*** Выделены 3 группы студентов с различным уровнем физической активности: низким, средним и высоким. Выявлены достоверные различия показателей компонентного состава тела и вариабельности ритма сердца у студентов с различным уровнем физической активности, более выраженные у юношей. ***Заключение.*** Улучшение состава тела и функционального состояния отмечается у студентов с повышением уровня физической активности. Выявлены достоверные корреляционные связи между некоторыми показателями вариабельности сердечного ритма и состава тела.
Ключевые слова: студенты, состав тела, биоимпедансный анализ, вариабельность сердечного ритма, функциональное состояние, физическая активность.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FUNCTIONAL STATE AND BODY COMPOSITION OF STUDENTS WITH DIFFERENT LEVELS OF PHYSICAL ACTIVITY

A.M. Gladysheva[1], T.E. Batotsyrenova[1], Yu.N. Semenov[2]
[1]Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia
[2]Institute of Introduction of New Medical Technologies RAMENA Open Company, Ryazan, Russia

Abstract. ***Introduction.*** In today's society, insufficient physical activity is becoming an increasingly serious problem, negatively affecting health at a young age. ***Methods.*** Body composition was assessed using the InBody 270 analyzer, and the functional state of the body was evaluated using the 4-channel Varicard 2.6 system. The level of physical activity among students (n=375) was identified according to the number of steps taken per week using smartphone and smartwatch apps. ***Results.*** Three groups of students with different physical activity levels were identified: low, medium, and high. We have also found significant differences in body composition and heart rate variability among students with different levels of physical activity, with greater differences in males. ***Conclusion.*** Students with increased physical activity levels have improved body composition and functional status. Significant correlations have been identified between certain parameters.
Keywords: students, body composition, bioimpedance analysis, heart rate variability, functional state, physical activity.

Введение. Физическая инертность является причиной 6-10% неинфекционных заболеваний во всем мире [1]. Имеются данные, подтверждающие взаимосвязь между физической активностью (ФА) и преждевременной смертностью, а также первичной и вторичной профилактикой ряда хронических заболеваний, таких как гипертония, ожирение, заболевания сердечно-сосудистой системы, диабет, депрессии, остеопороз и др. [2].

Для определения уровня ФА используются разные подходы: анкетирование [3], шагометрия [4, 5], опросники [6] и др. Контроль за уровнем ФА особенно актуален в студенческие годы, когда из-за увеличения затрат времени на учебную деятельность, стресса, повышения эмоциональных и

умственных нагрузок, изменения социального окружения часто происходит снижение двигательной активности. Недостаточная ФА является серьезной проблемой для здоровья студенческой молодежи [7, 8].

Цель исследования – сравнительный анализ функционального состояния и компонентного состава тела студентов с различным уровнем физической активности.

Методы и организация исследования. Исследование проведено на базе Владимирского государственного университета с участием 375 студентов, из них 199 девушек и 176 юношей. Обследования проводились в условиях повседневной учебы, в первой половине дня, по расписанию занятий по физической культуре с информированного согласия студентов. Критерий исключения: студенты специальной медицинской группы (в том числе с заболеваниями сердечно-сосудистой системы).

Для анализа состава тела студентов использован биоимпедансный анализатор InBody 270. Оценку адаптационных возможностей организма студентов осуществляли методом анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) с использованием 4-х канального аппаратного комплекса «Варикард 2.6», программное обеспечение «Иским 6.2». Использованы короткие 5-минутные записи электрокардиограммы, в I-ом или II-ом стандартных отведениях. Уровень ФА студентов определяли по количеству фактически пройденных шагов за неделю по данным приложений смартфонов (Здоровье, Samsung Health, Google fit и др.) и смарт-часов. Статистическую обработку данных проводили при помощи программ Microsoft Excel 2019 и Statistica 10. Нормальность распределения проверяли с применением критерия Колмогорова-Смирнова. Достоверность различий определяли с помощью параметрического t-критерия Стьюдента для независимых переменных и непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Статистически значимыми различия считали при $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. В таблице 1 приведены результаты изучения физической активности студентов. Данные представлены в виде медианы (Me), 25 (Q1) и 75 квартилей (Q3). Выделены 3 группы студентов согласно уровню физической активности: 1-я группа ($n_{ж,м}$=50,44), студенты с низким уровнем ФА (<Q1), 2-я группа ($n_{ж,м}$=99,88) со средним (Q1; Q3) и 3-я группа ($n_{ж,м}$=50,44) с высоким (>Q3) уровнем.

Таблица 1

Квартильное распределение студентов по группам ФА, кол-во шагов за неделю

Группы	Me	1-я группа (<Q1)	2-я группа (Q1; Q3)	3-я группа (>Q3)
Девушки (n=199)	51228	37662	37662; 66090	66090
Юноши (n=176)	66569	52547	52547; 83043	83043

Примечание: ФА – физическая активность.

Характеристика обследуемых групп студентов с различным уровнем ФА приведена в таблице 2, средний возраст – 19 лет. В исследуемой выборке девушек (n=199) средняя длина тела составила 165,3±0,52 см, средняя масса тела – 60±0,77 кг, в выборке юношей (n=176) –179,1±0,49 см и 76,1±1,1 кг соответственно. Индекс массы тела (ИМТ) соответствует норме согласно таблицам Всемирной организации здравоохранения. Артериальное давление (АД) в пределах нормальных значений.

В таблице 3 представлены показатели компонентного состава тела студентов с разным уровнем ФА. Следует отметить, что при анализе состава тела прибор InBody делит тело на 5 сегментов: две руки, две ноги и туловище, которое может рассматриваться как область между шеей и ногами. В обеих гендерных группах с ростом ФА отмечено уменьшение общего количества жировой ткани как в абсолютных (кг), так и в относительных (%) значениях, у юношей достоверно в первом случае при p_{1-3}=0,006 и p_{2-3}=0,011, во втором – при p_{1-3}=0,001 и p_{2-3}=0,009. Такая же линейная динамика с увеличением ФА выявлена при сегментарном анализе:

жировая масса туловища (в %) уменьшалась с ростом ФА, причем у юношей достоверно как между группами с низким и высоким уровнем ФА, так и между группами со средним и высоким уровнем ФА (p_{1-3}= 0,016, p_{2-3}=0,02). У юношей произошло достоверное уменьшение жировой массы в верхних и нижних сегментах тела с увеличением ФА, причем при p_{1-3}=0,0008 у правой руки, p_{1-3}=0,0007 у левой, p_{1-3}=0,001 и p_{2-3}=0,017 у правой ноги, p_{1-3}=0,01 и p_{2-3}=0,022 у левой ноги.

Таблица 2

Характеристика обследуемых групп студентов, M±m

Показатели	Пол	Группы			$P_{2-3}\leq$
		1	2	3	
Возраст, лет	Ж	19,12±0,2	19,3±0,1	19,1±0,2	–
	М	19,1±0,2	19,4±0,2	19,1±0,2	–
Длина тела, см	Ж	164,73±1,2	165,6±0,7	165,5±0,8	–
	М	180,2±0,8	178,7±0,7	178,7±1,1	–
Масса тела, кг	Ж	59,16±1,3	60,1±1,2	60,4±1,4	–
	М	76,6±2,4	77,2±1,7	72,3±1,6	0,05
ИМТ, кг/м^2	Ж	21,77±0,4	22,1±0,4	22±0,4	–
	М	23,5±0,7	24±0,5	22,7±0,5	–
САД, мм рт. ст.	Ж	111,9±1,7	112,4±1,2	114,9±1,9	–
	М	125,4±1,3	125,6±1,3	125±1,9	–
ДАД, мм рт. ст.	Ж	72,3±1,1	73,7±0,8	72,2±1,2	–
	М	76,4±1,1	73,5±1	73,3±1,4	–

Примечание: ИМТ – индекс массы тела; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление.

Более высокий уровень двигательной активности студентов с уменьшением количества жировой ткани приводит к достоверному увеличению тощей массы верхних сегментов и туловища, причем у девушек – при сравнении 1-й и 3-й групп (p_{1-3}=0,04 – правая рука, p_{1-3}=0,012 – левая рука, p_{1-3}=0,028 – туловище), у юношей – между группами 1 и 3 (p_{1-3}=0,006, p_{1-3}=0,004, p_{1-3}=0,0004 соответственно), а также между группами 1 и 2 (p_{1-2}=0,0007, p_{1-2}=0,001, p_{1-2}=0,0004). Следует отметить, что у девушек во всех группах тощая масса верхних сегментов и туловища меньше 100%, а жировая масса в этих сегментах существенно превышает 100%, особенно в группе с низкой двигательной активностью, что характерно для лиц, ведущих преимущественно сидячий образ жизни.

Достоверные изменения в сторону увеличения тощей массы отмечены у юношей и в нижних сегментах, причем при сравнении как между группами с низким и высоким уровнем ФА (1 и 3), так и между студентами со средним и высоким уровнем ФА (2-й и 3-й).

В отличие от юношей, у девушек с ростом ФА происходит достоверное увеличение количества протеина (p_{1-3}=0,039), массы скелетной мускулатуры (p_{1-3}=0,04), уровня базального метаболизма (p_{1-3}=0,044).

Следует отметить линейное снижение уровня висцерального жира в обеих гендерных группах с увеличением физической активности, у юношей достоверное (p_{1-3}=0,003, p_{2-3}=0,0097).

Комплексная оценка физического состояния тела InBody, которая стремится к 100, также увеличивается в исследуемых группах линейно с ростом ФА, у юношей достоверно при p_{1-3}=0,0018, p_{1-2}=0,0006.

Таблица 3

Показатели состава тела студентов с разным уровнем ФА, Me [Q1; Q3]

Показатели	Пол	Группы			P
		1	2	3	
Общее количество воды в организме, л	Ж	30,5 [27,4; 32,2]	30,7 [28,4; 33]	31,4 [29,3; 33,3]	–
	М	44,3 [40,9; 49,6]	46,3 [42; 51,8]	45,8 [41; 50,7]	–
Протеин, кг	Ж	8,2 [7,3; 8,7]	8,2 [7,5; 8,9]	8,5 [7,8; 8,9]	p_{1-3}=0,039
	М	12 [11; 13,5]	12,5 [11,3; 14,1]	12,5 [11,1; 13,8]	–
Содержание жира в теле, кг	Ж	17,1 [13,1; 20,5]	15,4 [13; 20]	15,4 [12,3; 19]	–
	М	13,8 [7,3; 19,5]	11,3 [8,2; 16,3]	8,5 [6,5; 13,4]	p_{2-3}=0,011 p_{1-3}=0,006
Масса скелетной мускулатуры, кг	Ж	22,6 [20,1; 24]	22,8 [20,9; 24,6]	23,5 [21,6; 25]	p_{1-3}=0,04
	М	34,2 [31,3; 38,6]	35,8 [32,3; 40,5]	35,4 [31,4; 39,5]	–
Содержание жира, %	Ж	28,9 [26,5; 33,6]	27,4 [23,9; 31,7]	27,2 [22,9; 31,9]	–
	М	17,5 [12,1; 22,6]	15,6 [11,7; 20,8]	11,8 [10,2; 17,7]	p_{2-3}=0,009 p_{1-3}=0,001
Тощая масса правой руки, %	Ж	89,7 [85,8; 95,3]	93,7 [88,2; 101]	96,3 [89,2; 104,6]	p_{1-3}=0,04
	М	101 [95,8; 107]	109,8 [99,2; 116]	107,2 [99,3; 112]	p_{1-2}=0,0007 p_{1-3}=0,006
Тощая масса левой руки, %	Ж	88,8 [83,6; 95,6]	91,9 [87,5; 98,3]	95,9 [87,9; 104,5]	p_{1-3}=0,012
	М	98,9 [94,3; 106]	106,9 [97,7; 116]	105,3 [98,9; 112]	p_{1-2}=0,001 p_{1-3}=0,004
Тощая масса туловища, %	Ж	93,7 [91,7; 99,4]	96,9 [92,8; 101]	97,4 [93,2; 102]	p_{1-2}=0,05 p_{1-3}=0,028
	М	100,7 [98; 104]	105,5 [100; 110]	104,4 [102; 108,4]	p_{1-2}=0,0004 p_{1-3}=0,0004
Тощая масса правой ноги, %	Ж	99,2 [92,9; 106]	100,7 [96,2; 107]	102,8 [96,3; 106]	–
	М	104,8 [101; 111]	107,1 [101; 112]	111,5 [105,6; 116]	p_{2-3}=0,0009 p_{1-3}=0,0023
Тощая масса левой ноги, %	Ж	97,8 [93,6; 106]	101,4 [95,6; 107]	102,8 [97; 106]	–
	М	104,9 [101; 111]	107,1 [101; 112]	109,5 [104,9; 115]	p_{2-3}=0,02 p_{1-3}=0,011
Жировая масса правой руки, %	Ж	119 [96,6; 144]	100,7 [83,2; 140]	106,2 [80,7; 132]	–
	М	95,3 [54,8; 165]	74,5 [39,8; 143]	50,7 [33,2; 101]	p_{1-3}=0,0008
Жировая масса левой руки, %	Ж	118,4 [96; 149]	105,5 [83,2; 143]	107,2 [81,5; 136]	–
	М	98,4 [55,2; 165]	79 [45,6; 148,4]	50,5 [33,1; 101,8]	p_{1-3}=0,0007
Жировая масса туловища, %	Ж	149,7 [121; 184]	137,1 [107; 180]	131,1 [102; 169]	–
	М	154,8 [67; 224]	134,6 [85,3; 210]	94,9 [61; 165]	p_{2-3}=0,02 p_{1-3}=0,016
Жировая масса правой ноги, %	Ж	109,3 [95; 127]	101,6 [85,3; 128]	103 [84,6; 125]	–
	М	107,2 [75; 144]	94,8 [75; 137,4]	81,5 [63,7; 112,6]	p_{2-3}=0,017 p_{1-3}=0,001
Жировая масса левой ноги, %	Ж	109,1 [95; 127]	100,7 [85,8; 127]	102,7 [84,5; 125]	–
	М	105,9 [75; 143]	93,9 [74,5; 136]	80 [63,6; 110,9]	p_{2-3}=0,022 p_{1-3}=0,01
Оценка InBody	Ж	72 [69; 74]	72 [69; 76]	73,5 [70; 77]	–
	М	74,5 [70; 79]	79,5 [73,5; 85]	79,5 [72,5; 86,5]	p_{1-2}=0,0006 p_{1-3}=0,0018
Уровень висцерального жира	Ж	7 [5; 9]	6 [5; 8]	6 [4; 8]	–
	М	5 [2; 8]	4 [3; 6]	2,5 [2; 5]	p_{2-3}=0,0097 p_{1-3}=0,003
Уровень базального метаболизма	Ж	1268 [1181; 1316]	1283 [1212; 1346]	1294 [1234; 1351]	p_{1-3}=0,044
	М	1674,5 [1571; 1829]	1729 [1605; 1899,5]	1716,5 [1577; 1865,5]	–

Примечание: ФА – физическая активность.

Таблица 4

Показатели ВСР студентов разных групп ФА, M±m

Показатели	Пол	Группа			P
		1	2	3	
ЧСС, уд/мин	Ж	84,9±1,7	88,1±1,2	83,4±1,6	p_{2-3}=0,02
	М	87,6±1,6	82,3±1,2	77,9±1,5	p_{1-2}=0,012 p_{2-3}=0,034 p_{1-3}=0,00003
MxDMn, мс	Ж	279,2±16,6	243,2±9,7	303,9±17,6	p_{1-2}=0,047 p_{2-3}=0,0012
	М	256,7±11,6	279,6±11,7	326,1±17,4	p_{2-3}=0,028 p_{1-3}=0,0017
RMSSD, мс	Ж	39,3±4,7	29±1,7	41,1±3,7	p_{1-2}=0,013 p_{2-3}=0,0009
	М	30±2,1	36,1±2,4	42,7±3,6	p_{1-3}=0,0036
SDNN, мс	Ж	53,6±3,5	45,7±1,9	58,6±3,6	p_{1-2}=0,033 p_{2-3}=0,00067
	М	49,6±2,6	53,4±2,2	62,7±3,5	p_{2-3}=0,023 p_{1-3}=0,004
lgSI, усл.ед.	Ж	2,08±0,05	2,22±0,04	1,99±0,06	p_{1-2}=0,04 p_{2-3}=0,0008
	М	2,2±0,05	2,1±0,04	1,9±0,05	p_{2-3}=0,007 p_{1-3}=0,0002
HF, мс	Ж	26,3±2,8	19,9±1,1	27,8±2,4	p_{1-2}=0,012 p_{2-3}=0,0009
	М	19,2±1,2	22,7±1,4	26,6±2,02	p_{1-3}=0,002
LF, мс	Ж	31,7±2	27,8±1,2	34,6±1,9	p_{2-3}=0,002
	М	2,6±0,02	2,6±0,02	2,7±0,02	p_{2-3}=0,01 p_{1-3}=0,01
VLF, мс	Ж	18,6±0,9	17,6±0,8	19,8±1,2	–
	М	18,7±1,1	20,1±0,9	23,9±1,8	p_{2-3}=0,04 p_{1-3}=0,02
ULF, мс	Ж	16,5±1,1	14,5±0,9	17,4±1,1	–
	М	15,6±1,3	16,9±0,8	19,4±1,4	p_{1-3}=0,05
PHF, %	Ж	30,9±2,3	26,6±1,3	31,5±2,2	p_{2-3}=0,04
	М	21,4±1,4	24,8±1,4	25±2	–
ПАРС	Ж	4,5±0,2	4,8±0,2	4,3±0,2	–
	М	4,9±0,3	4,6±0,2	4,6±0,2	–

Примечание: ВСР – вариабельность сердечного ритма; ФА – физическая активность; ЧСС – частота сердечных сокращений; MxDMn – разность между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов; RMSSD – квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов; SDNN – стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов; lgSI – логарифм от индекса напряжения (SI); HF – мощность высокочастотной составляющей спектра; LF – мощность низкочастотной составляющей спектра; VLF – мощность очень низкочастотной составляющей спектра; ULF – мощность ультранизкочастотной составляющей спектра; PHF – мощность спектра высокочастотного компонента вариабельности в % от суммарной мощности колебаний; ПАРС – показатель (индекс) активности регуляторных систем.

В таблице 4 представлены показатели ВСР у студентов с различным уровнем физической активности. Анализ основных показателей ВСР выявил выраженные изменения вегетативной регуляции в разных группах ФА. Так, самые низкие значения пульса наблюдаются в группе с высоким уровнем ФА (у юношей – 77,9±1,5 уд/мин, у девушек – 83,4±1,6 уд/мин). У юношей с ростом ФА наблюдаются статистически

значимые изменения показателей временной области – квадратного корня из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD) – p_{1-3}=0,0036 и (SDNN) – p_{1-3}=0,004, p_{2-3}=0,023, которые линейно увеличиваются от группы с низкой ФА к группе с высокой ФА на фоне снижения и (SI) – p_{1-3}=0,0002, p_{2-3}=0,007. В отличие от юношей, у девушек отмечаются нелинейные изменения. Показатели RMSSD и SDNN достоверно снижаются ко 2-й группе ФА при p_{1-2}=0,013 и p_{1-2}=0,033 и достоверно увеличиваются к 3-й группе ФА при p_{2-3}=0,0009 и p_{2-3}=0,00067 соответственно. Следует отметить, что несмотря на достоверные выраженные изменения показателей ВСР они находятся в пределах нормы [9, 10], кроме SI, нормальные значения которого (80-150 усл.ед.) зарегистрированы только в группах с высокой ФА.

При анализе спектральных показателей ВСР выявлено, что с увеличением ФА у юношей наблюдается повышение мощности высокочастотного компонента спектра (HF), отражающего вагусную активность, как в абсолютных значениях при p_{1-3}=0,002, так и в относительных (в % от суммарной мощности спектра) – от 21,4% в 1-й и до 25% в 3-й группе ФА.

Также выявлено одновременное достоверное увеличение мощности низкочастотного компонента (LF), характеризующего состояние симпатического отдела вегетативной нервной системы (p_{2-3}=0,01, p_{1-3}=0,01). Показатель мощности очень низкочастотной составляющей спектра (VLF) является чувствительным индикатором управления метаболическими процессами, хорошо отражает энергодефицитные состояния [10], также линейно достоверно увеличивается (p_{2-3}=0,04, p_{1-3}=0,02). При оценке спектральных показателей так же, как и в случае с временными, у девушек отмечаются нелинейные изменения. Наиболее неблагоприятный спектральный профиль отмечается у девушек со средним уровнем ФА (2-я группа). В этой группе мощность HF достоверно снизилась по сравнению с 1-й группой (p_{1-2}=0,012), одновременно уменьшилась мощность LF- и VLF-компонентов спектра. Только в группе с высокой ФА происходит достоверное повышение всех компонентов спектра.

При изучении зависимости показателей ВСР с данными биоимпедансометрии в группах студентов с различным уровнем ФА выявлено, что показатель состава тела – процентное содержание жира – достоверно коррелировало с данными пульса, модой (Mo) при $p<0,01$ и значением lgSI при $p<0,05$, причем сила взаимосвязи увеличивалась с ростом ФА (табл. 5). Положительные достоверные значения коэффициентов корреляции выявлены между пульсом, lgSI и содержанием жира (%).

Таблица 5

Корреляционная связь показателей ВСР с процентным содержанием жира в группах студентов с различным уровнем ФА

Показатели	Содержание жира, %		
Группы	1	2	3
ЧСС, уд/мин	-0,04	0,22**	0,35**
Mo, мс	0,009	-0,23**	-0,33**
lgSI, усл.ед.	-0,1	0,16*	0,22*

Примечание: ВСР – вариабельность сердечного ритма; ФА – физическая активность; ЧСС – частота сердечных сокращений; Mo – мода; lgSI – логарифм от индекса напряжения; * – при $p<0,05$; ** – при $p<0,01$.

Наиболее сильные корреляционные связи выявлены в 3-й группе ФА. Положительная корреляция между данными пульса и процентным содержанием жира ($r=0,35$, $p<0,01$), отрицательные – между содержанием жира (%) и Mo ($r=-0,33$, $p<0,01$).

Заключение. В результате проведенного исследования выявлено, что более высокий уровень ФА способствует и более оптимальному составу тела. При сравнении композиции тела у девушек и юношей были выявлены ожидаемые гендерные различия.

Юноши продемонстрировали более низкие значения показателей содержания жира (%) и более высокие значения массы скелетной мускулатуры по сравнению с девушками. Сегментарный анализ выявил у девушек недостаточное развитие мышечной массы по всем сегментам тела (менее 100%), более выраженное у девушек с низким уровнем ФА. С ростом ФА количество мышечной массы увеличивается, но не по всем сегментам тела достигает 100%. Отмечается превышение жировой массы у девушек по всем сегментам (выше 100%) во всех группах ФА, достигая 157% в группе с низким уровнем ФА. У юношей наблюдается сбалансированное развитие мышечной массы по всем сегментам тела, отмечается превышение жировой массы туловища во всех группах ФА, в верхних и нижних сегментах в 1-й и 2-й группах, то есть кроме группы с высоким уровнем ФА, что свидетельствует о положительном влиянии регулярной ФА на компонентный состав тела.

Изменения, отмеченные при анализе показателей ВСР, указывают на смещение вегетативного баланса в сторону парасимпатических влияний на работу сердца и повышение функциональных возможностей организма студентов с высоким уровнем ФА. Выявлены достоверные корреляционные связи между содержанием жира (%) и показателями ВСР: пульсом, Mo (при $p<0,01$) и lgSI (при $p<0,05$), причем сила взаимосвязи увеличивается с ростом ФА.

Исходя из полученных данных, можно дать рекомендации по оптимальному количеству шагов для девушек и юношей в объеме более 66 и 88 тыс. шагов в неделю соответственно.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy / I.M. Lee, E.J. Shiroma, F. Lobelo [et al.] // Lancet. – 2012. – Vol. 380. – P. 219-229.
2. Warburton, D.E. Health benefits of physical activity: the evidence / D.E. Warburton, C.W. Nicol, S.S. Bredin // CMAJ. – 2006. – Vol. 174. – P. 801-809.
3. Михайлова, С.В. Адаптационные возможности и компонентный состав тела студентов с различным уровнем двигательной активности / С.В. Михайлова, Т.В. Хрычева // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13. – № 2. – С. 155-165.
4. Двигательная активность студентов в современных условиях / Е.Н. Копейкина, В.Л. Кондаков, Л.Н. Волошина, В.И. Бочарова // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация. – 2023. – Т. 8. – № 3. – С. 106-112.
5. Изучение показателей двигательной активности студентов медицинского университета / Н.И. Прохоров, Е.А. Шашина, В.В. Макарова, А.А. Матвеев // Гигиена и санитария. – 2020. – № 99(8). – С. 816-821.
6. Андреев, Д.А. Основные подходы к измерению физической активности жителей мегаполиса: экспертный обзор / Д.А. Андреев, А.С. Покусаев. – Москва: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2025. – 44 с.
7. Irwin, J.D. Prevalence of university students' sufficient physical activity: a systematic review / J.D. Irwin // Percept Mot Skills. – 2004. – Vol. 98. – P. 927-943.
8. Поляков, Д.В. Показатели качества жизни, в том числе при недостаточной физической активности в молодой возрастной группе студентов медиков / Д.В. Поляков, Е.Д. Щавинская, А.С. Кулагин // Бюллетень медицинской науки. – 2022. – № 2(26). – С. 52-60.
9. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов, Л.В. Чирейкин [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65-87.
10. Баевский, Р.М. Комплекс для обработки кардиоинтервалограмм и анализа вариабельности сердечного ритма. Варикард программное обеспечение «Интегрированная система кардиоинтервалометрии» (ИСКИМ), медико-физиологические аспекты и медицинская технология анализа ВСР / Р.М. Баевский, Ю.Н. Семенов. – ООО «ИВНМТ «Рамена», 2023 – 57 с.

REFERENCES

1. Lee I.M., Shiroma E.J., Lobelo F. et al. Effect of physical inactivity on major non-communicable

diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet*, 2012, vol. 380, pp. 219-229.
2. Warburton D.E., Nicol C.W., Bredin S.S. Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ*, 2006, vol. 174, pp. 801-809.
3. Mikhaylova S.V., Khrycheva T.V. Adaptive capabilities and body composition of students with different levels of physical activity. *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 2, pp. 155-165. (in Russ.)
4. Kopeykina E.N., Kondakov V.L., Voloshina L.N., Bocharova V.I. Assessment of the volume of students' motor activity in modern conditions. *Physical Culture. Sport. Tourism. Motional recreation*, 2023, vol. 8, no. 3, pp.106-112. (in Russ.)
5. Prokhorov N.I., Shashina E.A, Makarova V.V., Matveev A.A. The studying of physical activity indices in students of medical university. *Hygiene and Sanitation*, 2020, no. 99(8), pp 816-821. (in Russ.)
6. Andreev D.A., Pokusaev A.S. Basic approaches to measuring physical activity of residents of a megalopolis: expert review. Moscow: Scientific Research Institute of Healthcare Organization and Medical Management of the Moscow City Department of Healthcare, 2025. 44 p. (in Russ.)
7. Irwin J.D. Prevalence of university students' sufficient physical activity: a systematic review. *Percept Mot Skills*, 2004, vol. 98, pp. 927-943.
8. Polyakov D.V., Shchavinskaya E.D., Kulagin A.S. Quality of life indicators in young age group of medical students including responders with insufficient physical activity. *Bulletin of Medical Science*, 2022, no. 2(26), pp. 52-60. (in Russ.)
9. Baevsky R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V. et al. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (methodological guidelines). *Journal of Arrhythmology*, 2001, no. 24, pp. 65-87. (in Russ.)
10. Baevsky R.M. Complex for processing cardiointervalograms and analyzing heart rate variability. Varikard "Integrated system of cardiointervalometry" (ISCIM) software, medical and physiological aspects and medical technology of HRV analysis. Institute of Introduction of New Medical Technologies RAMENA Open Company, 2023. 57 p. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Анна Михайловна Гладышева – старший преподаватель кафедры теоретических и медико-биологических основ физической культуры, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, e-mail: annatimina23@gmail.com.
Тамара Ешинимаевна Батоцыренова – доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой теоретических и медико-биологических основ физической культуры, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, e-mail: tamara-vgu@yandex.ru.
Юрий Николаевич Семенов – кандидат биологических наук, директор Института внедрения новых медицинских технологий «Рамена», Рязань, e-mail: semenov@ramena.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Anna M. Gladysheva – Senior Lecturer of the Department of Theoretical and Biomedical Foundations of Physical Culture, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, e-mail: annatimina23@gmail.com.
Tamara E. Batotsyrenova – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Theoretical and Biomedical Foundations of Physical Culture, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, e-mail: tamara-vgu@yandex.ru.
Yury N. Semenov – Candidate of Biological Sciences, Director of the Institute of Introduction of New Medical Technologies RAMENA Open Company, Ryazan, semenov@ramena.ru.

Для цитирования: Гладышева, А.М. Сравнительный анализ функционального состояния и компонентного состава тела студентов с различным уровнем физической активности / А.М. Гладышева, Т.Е. Батоцыренова, Ю.Н. Семенов // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_5

For citation: Gladysheva A.M., Batotsyrenova T.E., Semenov Yu.N. Comparative analysis of the functional state and body composition of students with different levels of physical activity. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_5

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_6
УДК 612

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_6
UDC 612

ИНДЕКСНАЯ ОЦЕНКА АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕВУШЕК И ЮНОШЕЙ 18-20 ЛЕТ, ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО РЕГИОНА

А.И. Закирова, О.Г. Литовченко
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Изучение влияния факторов Севера на организм в юношеском возрасте является особо актуальным, так как в этом возрасте заканчивается развитие большей части антропометрических показателей и окончательно формируется соматотип человека. ***Методы.*** Проводили соматометрию по методу В.В. Бунака, расчет статистических показателей и индексов. ***Результаты.*** Установлено, что для девушек и юношей 18-20 лет, проживающих в условиях северного региона, характерны нормостенический тип телосложения, увеличение массы тела от 18 к 20 годам, стабилизация ростовых процессов. По индексу полового диморфизма у девушек 20 лет преобладает андроморфный тип телосложения. ***Заключение.*** Результаты данной работы могут служить ориентировочными морфологическими критериями при оценке физического развития студенческой молодежи юношеского возраста.
Ключевые слова: юношеский возраст, студенты, антропометрия, индексные показатели, северный регион.

INDEX ASSESSMENT OF ANTHROPOMETRIC INDICATORS OF YOUNG ADULTS AGED 18-20 RESIDING IN THE NORTHERN REGION

A.I. Zakirova, O.G. Litovchenko
Surgut State University, Surgut, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Studying the impact of northern factors on the adolescent body is particularly relevant, since most anthropometric indicators complete their development and the individual's somatotype is fully formed at this age. ***Methods.*** We performed somatometry using the V.V. Bunak's method and calculated statistical indicators and indices. ***Results.*** The subjects are characterized by a normosthenic body type, weight gain from age 18 to 20 years, and growth stabilization. According to the sexual dimorphism index, young women aged 20 exhibit a predominantly andromorphic body type. ***Conclusion.*** The study's results can serve as indicative morphological criteria for assessing the physical development of young university students.
Keywords: adolescence, students, anthropometry, index indicators, northern region.

Введение. Сохранение и укрепление здоровья студенческой молодежи представляют собой стратегическую задачу национального масштаба. Особую значимость приобретает исследование адаптационных механизмов как системного ответа организма на комплексное воздействие эндо- и экзогенных факторов в процессе обучения [1, 2]. Данное направление особенно актуально для регионов Крайнего Севера, где экстремальные климатические условия в сочетании с антропогенной нагрузкой создают повышенные требования к функциональным системам организма. В этих условиях мониторинг адаптационных процессов позволяет осуществлять раннее выявление донозологических нарушений и своевременную коррекцию функционального состояния [3, 4]. Среди объективных маркеров, отражающих влияние средовых факторов на организм, ключевая роль принадлежит морфологическим показателям.

В юношеском возрасте заканчивается развитие большей части антропометрических показателей и окончательно формируется соматотип человека. Данный период онтогенеза считается наиболее значимым в изучении конкретных морфологических критериев диагностики нормы и патологии.

В качестве эффективного инструмента оценки гармоничности физического развития широко используется индексный метод, основанный на расчете пропорциональных соотношений между отдельными антропометрическими показателями. Особенностями индексной оценки физического развития человека являются простота обследования и расчетов, относительная

надежность, возможность использования этого метода для массового скринингового наблюдения, особенно в молодежной среде [5].

Особенности физического развития и телосложения человека в значительной мере зависят и от его конституции, которая, как обобщенная морфофункциональная характеристика индивидуума, отражает особенности не только телосложения, но также метаболизма и функционирования вегетативных систем, адаптационных, компенсаторных реакций человека. Конституция формируется в процессе индивидуального развития на основе наследственности и проявляется в форме телосложения, согласованности функций и строения органов, систем и тела человека в целом, а также определяется условиями окружающей среды, воздействующими на организм. Соматотипологические особенности представляют собой форму проявления естественного биологического популяционного разнообразия, без которого не может быть устойчива ни одна популяция, ни один вид, при этом популяционное разнообразие дискретно, что определяет естественно складывающую типологию вариантов конституции [5-7].

Цель работы – провести индексную оценку антропометрических показателей девушек и юношей 18-20 лет, проживающих в условиях северного региона.

Методы и организация исследования. В исследовании приняли участие 170 девушек и 153 юноши, родившиеся и проживающие в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, являющиеся студентами Сургутского государственного университета, в возрасте от 18 до 20 лет. Критериями включения являлись девушки и юноши 18-20 лет, которые относились к 1 и 2 группам здоровья, кто дал информированное добровольное согласие. Из числа обследуемых были исключены студенты, имеющие острые или хронические заболевания, диагноз «ожирение» на момент обследования, спортивную квалификацию по видам спорта. Морфофункциональные показатели оценивали по длине, массе тела, окружности грудной клетки. Качественную оценку антропометрических показателей проводили на основании индексов Пинье, Эрисмана, индекса полового диморфизма Дж. Таннера, индекса массы тела и индекса гармоничности морфологического развития (ИГМР) с использованием стандартных методических рекомендаций [7]. Для статистической обработки полученных результатов использовали пакет анализа Microsoft Excel, что включало определение медианы, 25% и 75% квартилей (Me [Q1; Q3]). Достоверность различий между группами определяли с помощью непараметрического теста Краскела-Уоллиса. Различия считали статистически значимыми при $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Индексная оценка антропометрических показателей девушек и юношей 18-20 лет, родившихся и проживающих в гипокомфортных климатогеографических условиях Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, представлены в таблице.

В ходе анализа антропометрических показателей студентов нами были выявлены закономерности морфологического развития в возрастном периоде от 18 до 20 лет. Медианные значения показателей длины тела у исследованных студентов статистически значимо не отличались, что свидетельствует о завершении ростовых процессов. Зафиксировано статистически значимое увеличение массы тела: прибавка массы тела в этот период составляла 3 кг у девушек и 4,9 кг у юношей (табл.).

Окружность грудной клетки служит значимым антропометрическим маркером, отражающим степень развития мышечного корсета, объемные параметры грудной полости и функциональные резервы кардиореспираторной системы. Проведенный анализ выявил статистически значимый прирост медианных значений данного показателя у представителей обоих полов в возрастном периоде от 18 до 20 лет. Наблюдаемая положительная динамика может рассматриваться как компонент системной адаптационной перестройки организма в ответ на комплекс экологических факторов северных широт.

Оценка окружности грудной клетки по индексу Эрисмана показала, что девушки 18-19 лет имели узкую грудную клетку, а у 20-летних достоверно преобладал широкий тип грудной клетки. Группы исследованных

юношей в большинстве своем отличались узкогрудостью, самое низкое значение индекса Эрисмана зарегистрировано у юношей 18 лет (-0,5 см соответственно). В норме индекс Эрисмана должен быть равен >5,8 см для юношей и >3,3 см для девушек. Если разница равна или превышает эти значения, то это указывает на хорошее развитие грудной клетки; если ниже указанных величин или имеет отрицательное значение, то это свидетельствует об узкой груди и о слабом физическом развитии [8].

Таблица

Показатели тотальных размеров тела и антропометрических индексов у девушек и юношей 18-20 лет г. Сургута, Me [Q1; Q3]

Индексы	Девушки			Юноши		
	18 лет (n=59)	19 лет (n=61)	20 лет (n=50)	18 лет (n=51)	19 лет (n=50)	20 лет (n=52)
Рост, см	164,00 [161,00; 167,50]	164,00 [161,00; 169,00]	164,50 [161,25; 168,00]	178,00 [173,50; 181,00]	178,01 [174,00; 183,00]	178,20 [174,75; 182,25]
Масса тела, кг	55,00 [51,50; 58,00]	56,04 [51,00; 63,00]	58,00* [53,03; 61,28]	66,00 [63,50; 72,50]	72,00 [62,00; 78,75]	71,30* [65,00; 83,00]
Окружность грудной клетки, см	85,00 [82,35; 87,10]	85,00 [81,00; 90,00]	86,75* [83,40; 91,53]	89,40 [85,20; 95,40]	92,80 [87,35; 96,78]	94,10* [88,00; 99,05]
Индекс Эрисмана, см	2,50 [-0,15; 5,35]	2,00 [-1,00; 7,50]	4,00* [0,01; 8,38]	-0,50 [-3,75; 6,10]	2,50* [-2,08; 6,95]	2,50 [-0,52; 8,88]
Пинье, усл.ед.	25,00 [18,25; 29,65]	24,30 [13,00; 31,00]	21,00 [13,63; 27,88]	22,00 [9,70; 28,85]	16,15 [4,10; 27,38]	10,25* [-1,88; 24,40]
Индекс Таннера, см	80,30 [76,50; 83,75]	82,60 [79,00; 85,70]	84,05* [78,78; 86,25]	94,00 [90,30; 100,00]	97,80 [95,10; 101,75]	97,45 [94,45; 102,20]
ИГМР, усл.ед.	101,17 [93,39; 108,75]	102,55 [91,84; 111,75]	102,37 [93,38; 111,78]	101,45 [91,40; 111,88]	102,85 [91,11; 114,85]	102,24 [88,52; 112,00]

Примечание: * – статистически значимые отличия показателей разных возрастных групп девушек и юношей, p<0,05; ИГМР – индекс гармоничности морфологического развития.

Согласно полученным данным, у юношей всех возрастов и у девушек 18-19 лет были зафиксированы показатели ниже нормы, соответственно – узкая форма грудной клетки. Данная морфологическая особенность свидетельствует о недостаточном уровне физического развития, что в наибольшей степени характерно для юношей.

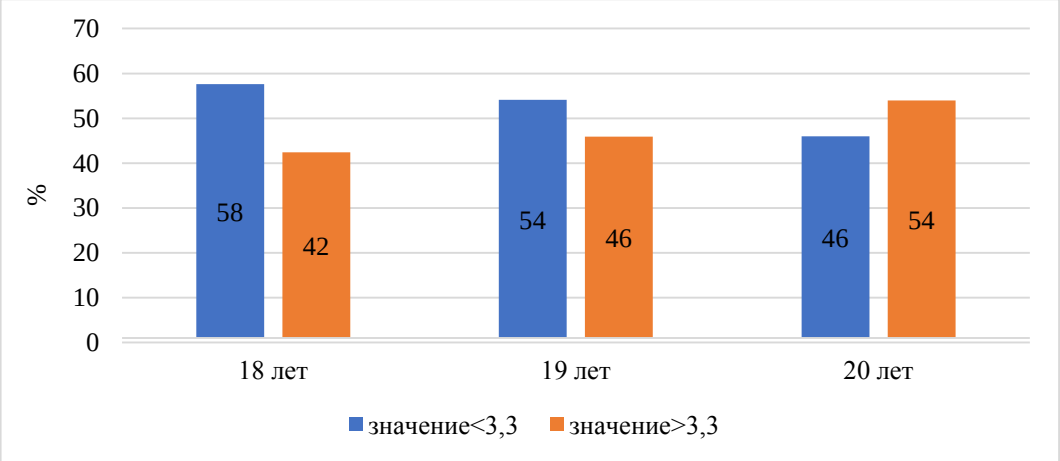


Рис. 1. Удельный вес показателей индекса Эрисмана девушек 18-20 лет

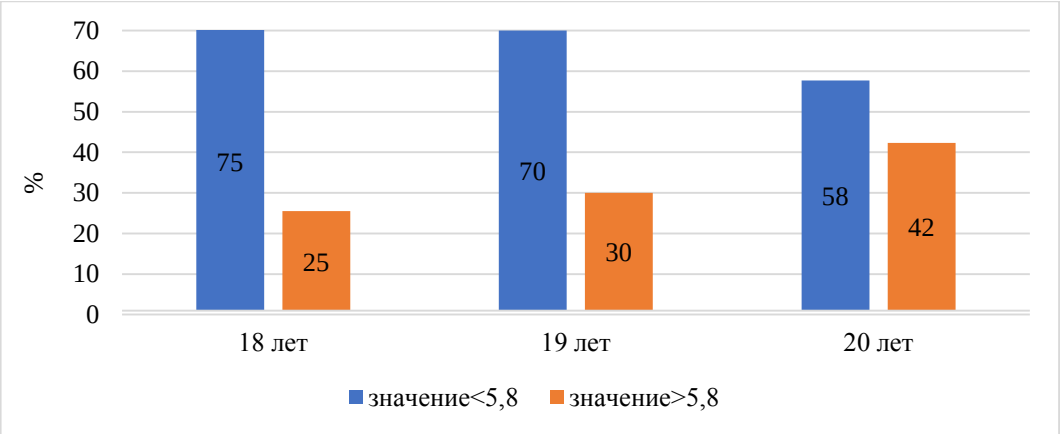


Рис. 2. Удельный вес показателей индекса Эрисмана юношей 18-20 лет

Несмотря на то, что значения индекса Эрисмана во всех возрастных группах оставались ниже нормативных, наблюдалась статистически значимая возрастная динамика: с 18 до 20 лет показатель демонстрировал достоверный прирост как у юношей, так и у девушек.

Для определения крепости и типа телосложения наряду с антропометрическими данными мы также использовали индекс Пинье. Показатель крепости телосложения наиболее корректно отражает конституциональный вариант телосложения, при этом чем меньше показатель, тем крепче представитель [9]. Результаты исследования показали, что у девушек индекс Пинье составлял 25 (18 лет), 24,3 (19 лет) и 21 (20 лет), у юношей – 22, 16,15 и 10,25, что соответствовало «среднему» телосложению девушек и «хорошему» юношей. На основании данного индекса нами установлен нормостенический тип телосложения во всех группах.

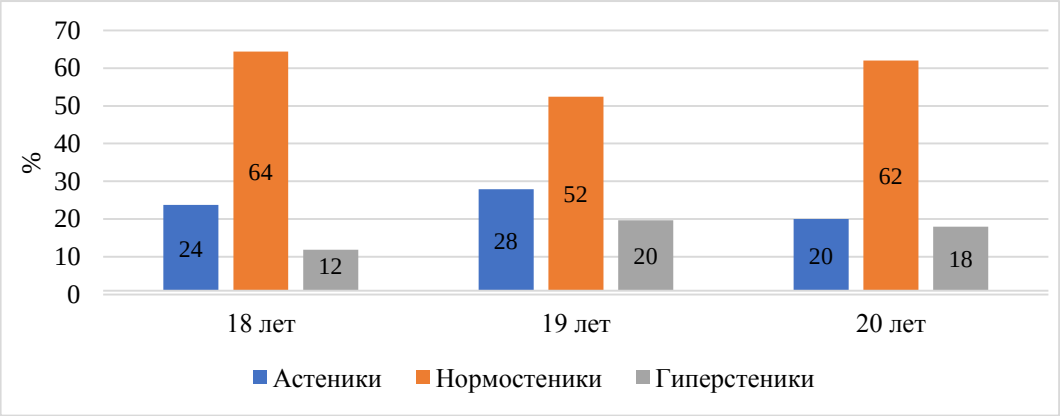


Рис. 3. Удельный вес показателей индекса Пинье девушек 18-20 лет

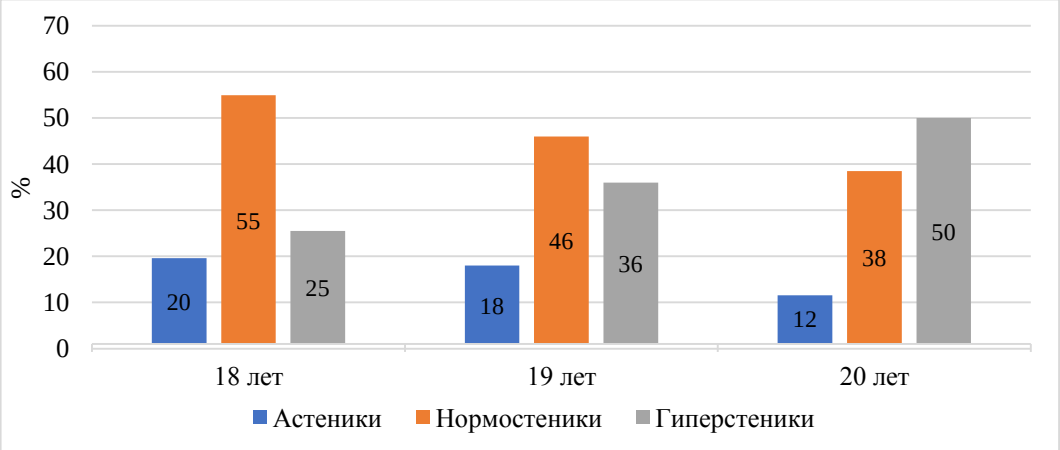


Рис. 4. Удельный вес показателей индекса Пинье юношей 18-20 лет

Детальный анализ удельного веса распределения соматотипов по индексу Пинье показал преобладание нормостенического телосложения в общей студенческой популяции. Однако установлена четкая возрастная динамика в сторону увеличения доли лиц с гиперстеническим типом, статистически значимо выраженная в группе юношей 18-20 лет.

С целью оценки соответствия генотипического пола его фенотипическим проявлениям используются специально разработанные индексы полового диморфизма, среди которых наиболее популярным является индекс Дж. Таннера. В соответствии с этим индексом выделяют три типа половой конституции: гинекоморфный (женский), андроморфный (мужской) и мезоморфный. Мезоморфия для обоих полов расценивается как определенная степень смещения телосложения в сторону противоположного пола. Определение андроморфии у женщин и гинекоморфии у мужчин считается морфологическим признаком инверсии пола [10]. Согласно классификации Дж. Таннера, преобладающее большинство обследованных нами девушек 18-19 лет относились к мезоморфному типу телосложения, 20-летние – к андроморфному типу. В группах юношей 18-20 лет был определен андроморфный тип телосложения. Наличие в структуре распределения по половому диморфизму более половины девушек, имеющих мезоморфный тип, свидетельствует о легкой дисплазии пола. У девушек 20 лет, отнесенных к андроморфному типу, соматотип расценивается как инверсия полового диморфизма.

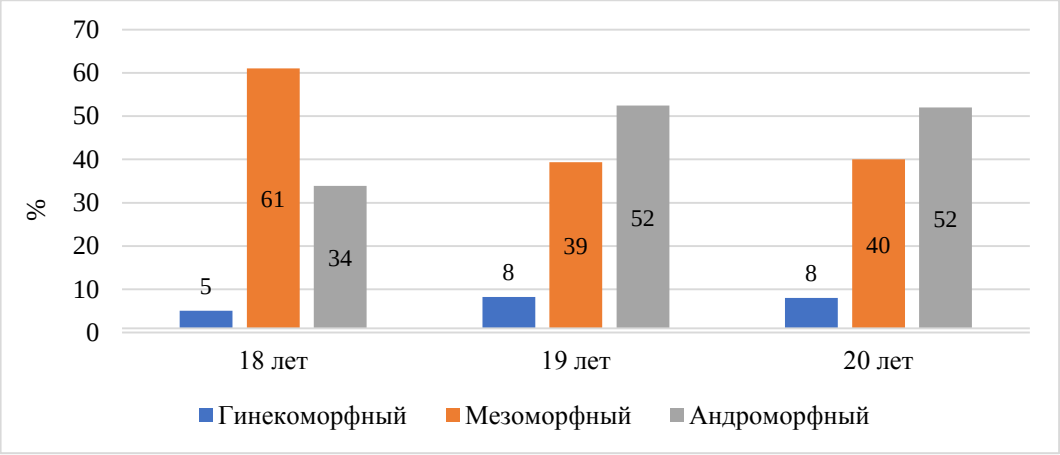


Рис. 5. Удельный вес показателей индекса Таннера девушек 18-20 лет

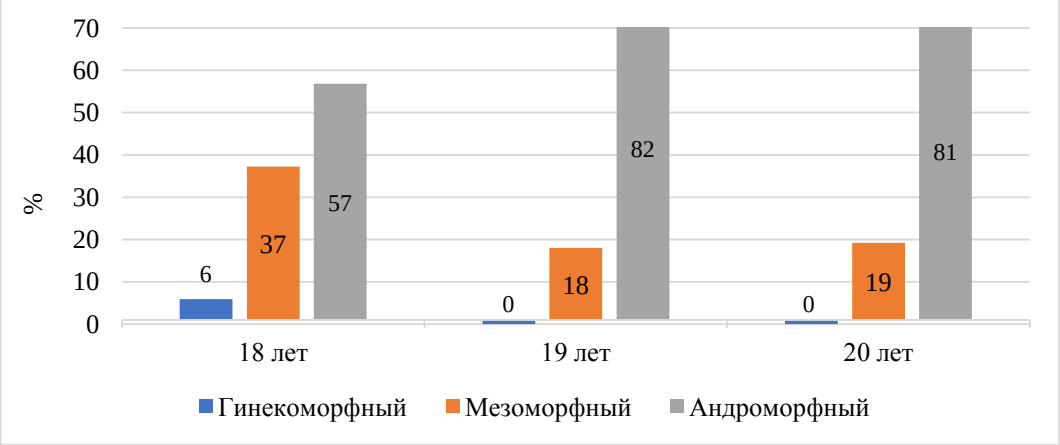


Рис. 6. Удельный вес показателей индекса Таннера юношей 18-20 лет

В результате анализа удельного веса показателей индекса Таннера выявлена ожидаемая возрастная динамика у юношей, характеризующаяся значительным преобладанием и увеличением доли андроморфного типа телосложения. В отличие от этого, в женской когорте обнаружена нетипичная тенденция: высокий и возрастающий удельный вес девушек с андроморфными характеристиками, что свидетельствует о

снижении выраженности полового диморфизма в исследуемой выборке. В норме в юношеском периоде половой диморфизм в телосложении максимально выражен: у юношей активно развивается костно-мышечная масса (плечевой пояс), формируя андроморфный тип, а у девушек увеличивается процент жировой ткани, расширяется таз, формируя гинекоморфный тип. Формирование соматотипа напрямую зависит от баланса половых гормонов и гормона роста. Андроморфный тип у девушек может свидетельствовать о смещении гормонального профиля в сторону относительной гиперандрогении, что может быть следствием воздействия факторов Севера. Проживание в экстремальных условиях Севера является фактором хронического стресса, который нарушает работу нейроэндокринной системы, в частности гипоталамо-гипофизарно-адреналовой оси. Длительная активация гипоталамо-гипофизарно-адреналовой оси влияет на выработку половых гормонов и гормона роста, что в итоге приводит к нивелированию полового диморфизма.

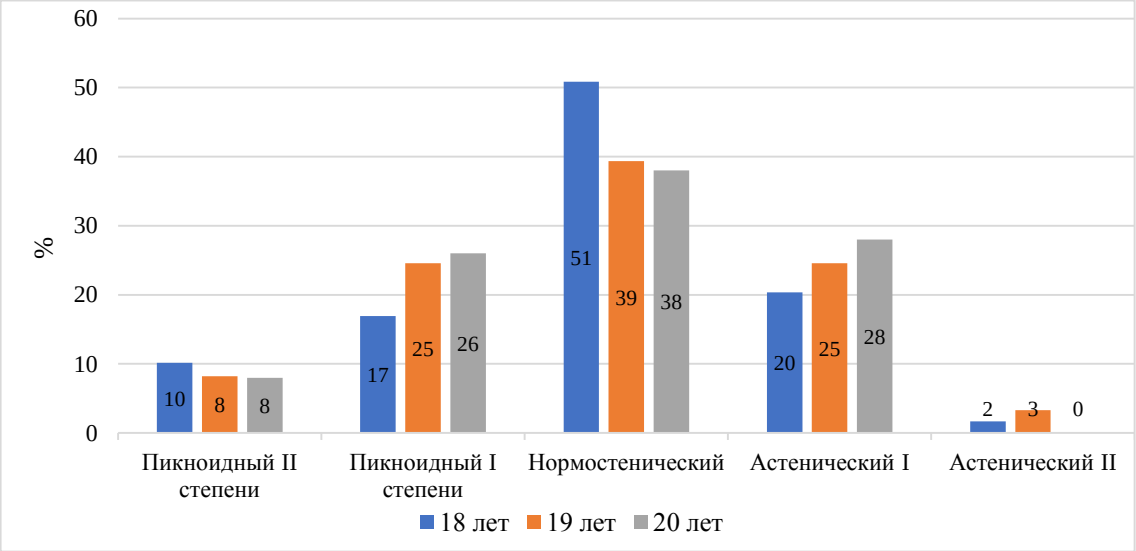


Рис. 7. Удельный вес показателей индекса гармоничности морфологического развития девушек 18-20 лет

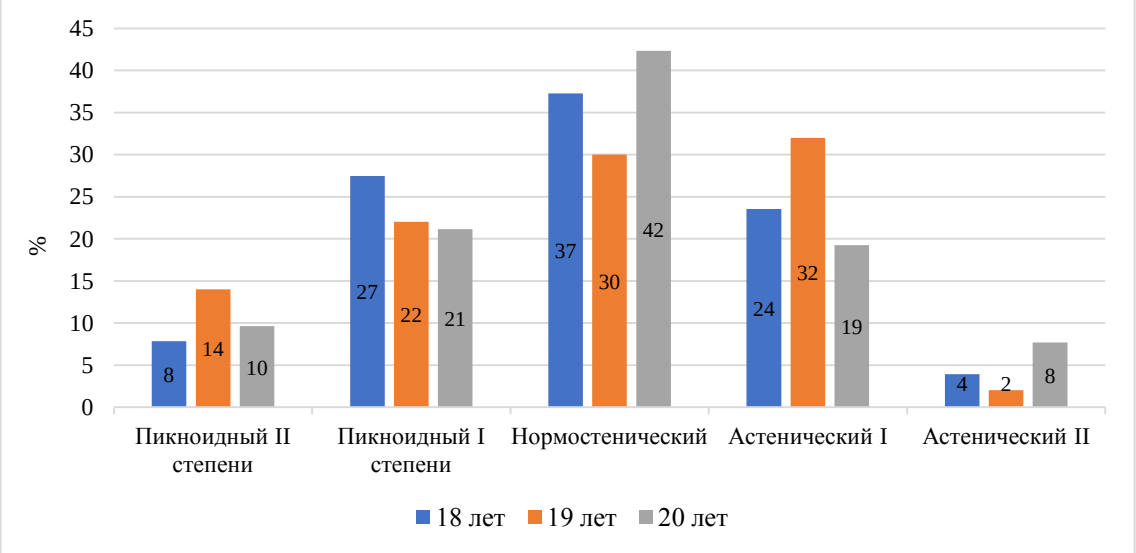


Рис. 8. Удельный вес показателей индекса гармоничности морфологического развития юношей 18-20 лет

Полученные нами данные на основе ИГМР свидетельствуют о нормостеноидном типе развития обследованных девушек и юношей. Детальный анализ распределения соматотипов в разрезе возрастных групп позволил выявить определенные

закономерности. У девушек 18-20 лет нормостенический тип имел наибольшую представленность, за ним следовали астенический тип 1-й степени, пикноидный тип 1-й степени, пикноидный тип 2-й степени и астенический тип 2-й степени. В группах юношей 18 и 20 лет распределение было схожим с девушками: доминировал нормостенический тип, далее следовали пикноидный 1-й степени, астенический 1-й степени, пикноидный 2-й степени и астенический 2-й степени. В группе 19-летних юношей распределение отличалось: первое место по распространенности занял астенический тип 1-й степени, сместив нормостенический тип на вторую позицию. Далее по уменьшению следовали пикноидный тип развития 1-й степени, пикноидный 2-й степени и астенический 2-й степени.

Преобладание нормостенического типа в группах девушек и юношей указывало на то, что к 18 годам у большинства индивидов завершается активная фаза биологического созревания. Стабильность распределения соматотипов у девушек свидетельствовала о том, что их физиологическое развитие к 18 годам в основном стабилизировалось. Это согласуется с известным фактом, что девушки в среднем завершают пубертат раньше юношей. Юноши демонстрировали более позднее и неравномерное развитие. Увеличение доли астеников среди 19-летних юношей можно объяснить диссоциацией в темпах роста разных тканей. Юноши в 17-19 лет могут иметь ростовой скачок в длину (удлинение костей), который опережает набор мышечной массы. Мышечная масса догоняет рост костей обычно к возрасту 20-21 года, что и объясняет преобладание нормостенического типа к 20 годам.

Заключение. По данным нашего исследования обследованные студенты имеют среднюю крепость тела с вариантом нормостенического типа телосложения, склонностью к набору массы тела. Оценка морфологического развития по ИГМР также указывала на нормостеноидный тип развития обследованных девушек и юношей. Показатели длины тела у исследованных студентов в возрастных группах от 18 до 20 лет статистически значимо не отличались, что свидетельствует о завершении ростовых процессов. Выявлена возрастная изменчивость распределения типов телосложения среди девушек 18-20 лет по индексу Дж. Таннера: преобладающим типом в группах 18-19 лет является мезоморфный, в группе 20 лет – андроморфный. В группах юношей был определен андроморфный тип телосложения.

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика физического здоровья и личностных характеристик студентов за период 2012-2024 гг. / Т.Т. Щелина, С.П. Акутина, С.В. Михайлова [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_19.
2. Современный взгляд на здоровье и физическую активность студентов / А.В. Поздова, Е.А. Даровских, К.И. Черепанова [и др.] // Молодежь и наука. – 2022. – № 7. – 5 с.
3. К оценке риска для здоровья населения, обусловленного влиянием климатических факторов в условиях Крайнего Севера / П.З. Шур, Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов, А.А. Хасанова // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 3. – С. 53-62.
4. Литовченко, О.Г. Факторы северных регионов и их влияние на здоровье человека (обзор литературы) / О.Г. Литовченко, Н.С. Литвинова, Л.Ю. Апокина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. – 2022. – № 12. – С. 191-196.
5. Семенов, А.А. Кластерный анализ как интегратор разных методик оценки физического развития практически здоровых лиц юношеского возраста / А.А. Семенов, И.В. Гайворонский, В.В. Криштоп // Астраханский медицинский журнал. – 2023. – Т. 18. – № 1. – С. 72-80.
6. Лукьяненко, Д.А. Особенности телосложения девушек юношеского возраста 1987-1989 годов рождения / Д.А. Лукьяненко, О.В. Калмин, Т.Н. Галкина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2022. – № 2(62). – С. 117-123.
7. Петухов, А.Б. Антропометрия в системе индексов: значение параметра и практическое применение в медицине / А.Б. Петухов, Д.Б. Никитюк, В.Н. Сергеев // Вопросы диетологии. – 2017. – Т. 7. – № 4. – С. 35-42.
8. Стрижков, А.Е. Оценка значимости основных антропометрических индексов / А.Е. Стрижков, В.Ю. Сашнина, Е.А. Азаренкова // Весенние анатомические чтения : сборник статей Республиканской научно-практической конференции, 30 мая

2025 года. – Гродно: Гродненский государственный медицинский университет, 2025. – С. 121-123.
9. Морфологические показатели и антропометрические индексы в оценке физических данных студентов первого курса ИГМА / О.А. Пазиненко, Н.Н. Чучкова, С.А. Буранова, С.Р. Шарафутдинова // Труды Ижевской государственной медицинской академии: сборник научных статей. – 2024. – Т. 62. – С. 3-4.
10. К вопросу об инверсии показателей полового диморфизма у представительниц маскулинных видов спорта / В.Б. Мандриков, Р.П. Самусев, Е.В. Зубарева [и др.] // Вестник ВолГМУ. – 2015. – № 4(56). – С. 76-78.
11. Негашева, М.А. Антропометрические параметры и адаптационные возможности студенческой молодежи к началу XXI века / М.А. Негашева, Т.А. Мишкова // Российский педиатрический журнал. – 2005. – № 5. – С. 12-16.

REFERENCES

1. Shchelina T.T., Akutina S.P., Mikhajlova S.V. et al. Changes in physical health and personal traits of students in 2012-2024. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_19. (in Russ.)
2. Pozdova A.V., Darovskih E.A., Cherepanova K.I. et al. A modern view on the health and physical activity of students. *Youth and science*, 2022, no. 7, p. 50. (in Russ.)
3. Shur P.Z., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., Khasanova A.A. Assessing health risks caused by exposure to climatic factors for people living in the Far North. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 3, pp. 53-62. (in Russ.)
4. Litovchenko O.G., Litvinova N.S., Apokina L.Yu. Factors of northern regions and their impact on human health (literature review). *Modern Science: actual problems of theory and practice. Series: Economics and law*, 2022, no. 12, pp. 191-196. (in Russ.)
5. Semenov A.A., Gayvoronskiy I.V., Krishtop V.V. Cluster analysis as an integrator of different techniques for assessing the physical development of healthy adolescents. *Astrakhan Medical Journal*, 2023, vol. 18, no. 1, pp. 72-80. (in Russ.)
6. Lukyanenko D.A., Kalmin O.V., Galkina T.N. The physique features of adolescent girls born in 1987-1989. *University proceedings. Volga region. Medical science*, 2022, no. 2, pp. 117-123. (in Russ.)
7. Petuhov A.B., Nikityuk D.B., Sergeev V.N. Anthropometry in the system of indices: parameter significance and practical use in medicine. *Vopr. dietol. (Nutrition)*, 2017, vol. 7, no. 4, pp. 35-42. (in Russ.)
8. Strizhkov A.E., Sashnina V.Yu., Azarenkova E.A. Assessment of the significance of the main anthropometric indices. Spring Anatomical Readings: Collection of articles from the Republican Scientific and Practical Conference (Grodno, May 30, 2025). Grodno: Grodno State Medical University, 2025, pp. 121-123. (in Russ.)
9. Pazinenko O.A., Chuchkova N.N., Buranova S.A., Sharafutdinova S.R. Morphological indicators and anthropometric indices in the assessment of physical data of first-year students of the Irkutsk State Medical Academy. Proceedings of the Izhevsk State Medical Academy: Collection of scientific articles, 2024, vol. 62, pp. 3-4. (in Russ.)
10. Mandrikov V.B., Samusev R.P., Zubareva E.V. et al. On inversion of the manifestations of sexual dimorphism in female athletes competing in masculine sports. *Journal of Volgograd State Medical University*, 2015, no. 4(56), pp. 76-78. (in Russ.)
11. Negasheva M.A., Mishkova T.A. Anthropometric parameters and adaptive capacities of students by the early 21st century. *Russian Pediatric Journal*, 2005, no. 5, pp. 12-16. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Альбина Ильдаровна Закирова – аспирант кафедры морфологии и физиологии, Сургутский государственный университет, Сургут, e-mail: albinkasakirowa@mail.ru.
Ольга Геннадьевна Литовченко – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры морфологии и физиологии, Сургутский государственный университет, Сургут, e-mail: olgalitovchenko@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Albina I. Zakirova – Postgraduate Student of the Department of Morphology and Physiology, Surgut State University, Surgut, e-mail: albinkasakirowa@mail.ru.
Olga G. Litovchenko – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Morphology and Physiology, Surgut State University, Surgut, e-mail: olgalitovchenko@mail.ru.

Для цитирования: Закирова, А.И. Индексная оценка антропометрических показателей девушек и юношей 18-20 лет, проживающих в условиях северного региона / А.И. Закирова, О.Г. Литовченко // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_6

For citation: Zakirova A.I., Litovchenko O.G. Index assessment of anthropometric indicators of young adults aged 18-20 residing in the northern region. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_6

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_7
УДК 796.912:6123-38

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_7
UDC 796.912:6123-38

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ M. GASTROCNEMIUS MEDIALIS В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ У ФИГУРИСТОК ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕСТОВ

Н.Н. Захарьева, Д.А. Рыбкин
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Россия

Аннотация. ***Введение.*** В статье представлены результаты исследования биоэлектрической активности m. gastrocnemius medialis у 24 фигуристок высокой квалификации при выполнении стабилометрических тестов. ***Методы.*** Использованы компьютерная стабилометрия, поверхностная электромиография, психофизиологическое тестирование (реакция на движущийся объект, отмеривание отрезков, тест «URA»). По стратегии равновесия спортсменки разделены на группу 1 (голеностопная) и группу 2 (тазобедренная). ***Результаты.*** У фигуристок группы 2 отмечены более высокие показатели RMS, RMS/t, большее число всплесков электромиографии и рост высокочастотных компонентов стабилограммы при снижении низкочастотной мощности ($p<0,05$). Спортсменки группы 2 в 100% случаев имели травмы опорно-двигательного аппарата. ***Заключение.*** Голеностопная стратегия экономичнее и устойчивее, тазобедренная энергозатратна и связана с травматизмом. Психофизиологические различия между группами указывают на неоднородность регуляторных механизмов. Данные могут быть полезны для мониторинга фигуристок и профилактики травм опорно-двигательного аппарата.

Ключевые слова: фигурное катание, стабилометрия, электромиография, m. gastrocnemius medialis, постуральный контроль, стратегии равновесия, спортивный травматизм, миоработа.

BIOELECTRIC CHARACTERISTICS OF M. GASTROCNEMIUS MEDIALIS IN PROVIDING POSTURAL CONTROL OF HIGHLY QUALIFIED FIGURE SKATERS PERFORMING STABILOMETRIC TESTS

N.N. Zakharyeva, D.A. Rybkin
Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The results of a study on bioelectrical activity of the m. gastrocnemius medialis in 24 highly qualified figure skaters performing stabilometric tests are presented. ***Methods.*** Computer stabilometry, surface electromyography, and psychophysiological testing (reaction to a moving object, segment estimation, “URA” test) were used. According to the strategy of balance, athletes were divided into group 1 (ankle) and group 2 (hip). ***Results.*** The data from group 2 has demonstrated higher RMS, RMS/t, more electromyography bursts, and increased high-frequency stabilogram components with reduced low-frequency power ($p<0.05$). 100% of group 2 had a history of musculoskeletal injuries. ***Conclusion.*** The ankle strategy is more efficient and stable, while the hip strategy is more energy consuming and injury-associated. Psychophysiological differences between groups indicate unevenness of regulatory mechanisms. The data received may be applied in monitoring and prevention of musculoskeletal injuries.

Keywords: figure skating, stabilometry, electromyography, m. gastrocnemius medialis, postural control, balance strategies, sports injuries, myoactivity.

Введение. В фигурном катании способность сохранять устойчивое положение тела при выполнении прыжков, вращений, шагов и поддержек требует тонкой регуляции мышечного тонуса, особенно в голеностопном суставе, который выполняет роль основного биомеханического звена во взаимодействии с опорой [1, 2]. Среди мышц, обеспечивающих постуральную устойчивость, особое место занимает m. gastrocnemius medialis (медиальная икроножная мышца). Особая роль m. gastrocnemius medialis в поддержании равновесия отмечена благодаря анатомическому расположению и физиологическим свойствам: высокой плотности мышечных веретен и участию в формировании проприоцептивной обратной связи [3-5].

M. gastrocnemius medialis может активно участвовать в тонкой регуляции положения центра давления (ЦД) во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Однако, большинство исследований постурального контроля в фигурном катании либо носят биомеханический характер (оценка кинематических и динамических характеристик или проведение стабилометрических исследований, но без измерения электромиограммы (ЭМГ)), либо ограничиваются оценкой суммарной активности мышц голени без разделения на медиальную и латеральную мышцы [2-4, 6]. В литературе имеются исследования, которые показывают, что m. gastrocnemius medialis обладает независимой направленной настройкой и способна генерировать специфические корректирующие моменты в голеностопном суставе, что необходимо для поддержания равновесия [5, 7]. Кроме того, ее активность напрямую связана с управлением положением тела при наклоне вперед, а низкочастотные нейронные сигналы к этой мышце являются важным механизмом контроля позы [4]. Изучение активности m. gastrocnemius medialis у фигуристок высокой спортивной квалификации помогает понять, как организм приспосабливается к физическим нагрузкам, требующим поддержания равновесия на этапе совершенствования спортивного мастерства: к многочасовым тренировкам на высокую и точечную координацию движений, быстрым вращениям и прыжкам. Систематическое выполнение фигуристками сложного контента двигательных программ формирует особые двигательные привычки, что находит отражение в характере мышечной работы и выборе стратегии поддержания равновесия.

Цель исследования – выявить характеристики биоэлектрической активности m. gastrocnemius medialis в обеспечении постурального контроля у фигуристок высокой квалификации при выполнении стабилометрических тестов.

Методы и организация исследования. Исследование проводилось на базе Научно-исследовательского института спорта и спортивной медицины Российского университета спорта «ГЦОЛИФК» (Россия, г. Москва), в лаборатории научно-методического обеспечения подготовки спортсменов сборных команд в январе-марте 2026 года. В физиологическом эксперименте участвовали 24 спортсменки высокой квалификации (кандидаты в мастера спорта и мастера спорта), специализирующиеся в женском одиночном фигурном катании на коньках. Возраст спортсменок составил в среднем 19±0,4 лет (18-19 лет), стаж регулярных тренировок в среднем составил 11±1,35 лет. Все участницы физиологического эксперимента активно тренируются и регулярно выступают на международных и всероссийских соревнованиях.

Методы исследования включали:

1) компьютерную стабилометрию, выполненную на отечественном стабилоанализаторе – диагностическом комплексе с биологической обратной связью «Стабилан-01-2» (ЗАО «РИТМ», Россия);

2) поверхностную электромиографию (пЭМГ) с использованием беспроводного четырехканального электромиографа «Callibri Muscle Tracker» (ООО НМФ «Нейротех», Россия).

Для оценки качества работы сенсорного звена постуральной системы изучали реакции сенсорных систем на биологически значимые раздражители. Для этого использовались комплекс методик, выполненных спортсменками в компьютерной программе «Исследователь временных и пространственных свойств человека версия 2.1», и трехэтапный тест умственной работоспособности «URA».

Протокол исследования предусматривал последовательную оценку постурального контроля в условиях статического равновесия и при провокации динамической неустойчивости. Для стандартизации процедуры перед основными измерениями у испытуемых определяли ведущую (опорную) нижнюю конечность. С этой целью применялся комплекс из трех моторных проб:

1) тест «Ударная точность» (имитация замаха и удара по воображаемому мячу);

2) тест «Шаговое доминирование» (однократное восхождение на степ-платформу с последующим возвратом);

3) тест «Ротационная стабилизация» (последовательные повороты туловища на

90° вправо и влево с фиксацией позы на одной ноге в положении «ласточка»).

Во время выполнения проб параллельно проводилась регистрация ЭМГ-сигналов с целью оценки активности медиальной икроножной мышцы. Датчики пЭМГ накладывались на брюшко медиальной головки икроножной мышцы в соответствии с Европейскими рекомендациями проекта SENIAM (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles – пЭМГ для неинвазивной оценки мышц), которые предписывают размещение электродов по наиболее выступающему контуру мышцы вдоль линии, проходящей от коленного сустава до пяточной кости [8, 9]. После выполнялись два основных стабилометрических теста: «Мишень» и проба Ромберга, каждый длительностью по 20 секунд. Прямая аппаратная синхронизация между датчиками «Callibri» и стабилоплатформой отсутствовала, поэтому в начале каждого теста испытуемые выполняли кратковременное подседание, создающее общий маркер на ЭМГ (всплеск активности икроножной мышцы) и стабилограмме (резкое изменение реакции опоры и центра давления). В среде Microsoft Excel 2016 временные ряды выравнивались по зарегистрированным пикам вручную. Точность метода оценена в трех тестах: разброс маркера не превышал ±0,1 с, что на порядок меньше анализируемых параметров.

Для идентификации стратегии равновесия (голеностопной или тазобедренной) мы опирались на стабилометрические параметры, детально описанные в работах Д.В. Скворцова: частотные (60%Pw(F), 60%Pw(S) – уровни 60% мощности спектра во фронтальной (F) и сагиттальной (S) плоскостях), скоростные (средняя скорость ЦД, линейная скорость средняя) и пространственные показатели (площадь эллипса, Qx/Qy, индексы кривизны) [10, 11]. Согласно данным биомеханического моделирования, изменения координат ЦД во фронтальной плоскости наиболее тесно связаны с динамикой моментов в тазобедренных суставах, что позволяет использовать указанные параметры для диагностики переключения постуральной стратегии. Для количественной оценки биоэлектрической активности m. gastrocnemius medialis применялся метод расчета среднеквадратического значения амплитуды (RMS, root mean square) по следующей формуле:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^2},$$

где x_i^2 – значения амплитуды ЭМГ-сигнала в i-й момент времени,

N – количество отсчетов в анализируемом интервале.

Для характеристики мышечной работы (миоработы) за единицу времени дополнительно рассчитывался показатель RMS/t:

$$RMS/t = \frac{RMS}{T},$$

где T – длительность анализируемого временного интервала (с).

Данный параметр позволяет оценить интенсивность биоэлектрической активности мышцы, нормированную по времени выполнения теста.

Анализ количества колебаний амплитуды ЭМГ-сигнала проводился графическим методом с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2016 (окно сглаживания составило 50 мс). Для этого строился график изменения RMS-амплитуды во времени. Всплеском (колебанием) считался участок ЭМГ-сигнала, амплитуда которого превышала среднее значение RMS, рассчитанное для всего временного ряда, при условии, что это среднее значение составляло не менее 5 мкВ (пороговый уровень, выбранный для минимизации влияния фонового шума и спонтанной активности мышцы). Подсчитывалось общее количество таких всплесков за время выполнения каждого стабилометрического теста, что соответствует общепринятым подходам к количественной обработке ЭМГ-данных [12-14]. Подсчитывалось общее количество таких всплесков за время выполнения каждого стабилометрического теста.

Параллельно с этим из диагностического комплекса «Стабилан-01-2» осуществлялся экспорт стабилограмм, представляющих собой траекторию перемещения ЦД во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Для каждого временного интервала, соответствующего зарегистрированному

всплеску RMS-амплитуды, определялись: среднее отклонение ЦД – усредненное расстояние от центра статокинезиограммы и максимальное отклонение ЦД – наибольшее расстояние от центра за тот же интервал.

Сопоставление временных рядов ЭМГ и стабилограммы осуществлялось путем синхронизации по временным меткам, что позволило оценить взаимосвязь между всплесками биоэлектрической активности m. gastrocnemius medialis и параметрами постуральных колебаний центра давления. Исследование проводилось в стандартизированных лабораторных условиях при температуре воздуха 22-24 °C и относительной влажности 45-55%. Все участницы физиологического эксперимента были проинформированы о безвредности тестирования и подписали протокол добровольного согласия на проведение тестирования, а сам эксперимент осуществлен в соответствии с Хельсинкской декларацией.

Критерии включения в группу обследования:

1) высокая спортивная квалификация фигуристок;

2) отсутствие острых респираторных инфекций, COVID-19 и обострения хронических заболеваний на момент проведения тестирования;

3) отсутствие менструальной, предменструальной и овуляторной фаз овариально-менструального цикла (ОМЦ) на момент проведения тестирования.

Критерии исключения из группы обследования:

1) отсутствие высокой спортивной квалификации фигуристок;

2) наличие острых респираторных инфекций, COVID-19 и обострения хронических заболеваний на момент проведения тестирования;

3) наличие менструальной, предменструальной и овуляторной фаз ОМЦ на момент проведения тестирования;

4) отсутствие мотивации к проведению физиологического тестирования.

Проверка на нормальность распределения данных по критерию Колмогорова-Смирнова и сравнительный анализ по t-критерию Стьюдента и U-критерию Манна-Уитни выполнялись с использованием программного пакета SPSS Statistics 27. Количественные показатели представлены медианой (Me) и стандартным отклонением (σ), для нормального распределения – средним арифметическим значением (M) и стандартным отклонением (σ).

Результаты исследования и их обсуждение. Обследованы 24 фигуристки высокой квалификации, активно тренирующиеся и регулярно участвующие в соревнованиях. Спортсменки разделены на 2 группы сравнения по принадлежности к выбору типа стратегии поддержания равновесия: 1 группа – 11 фигуристок с реализацией голеностопной стратегии; 2 группа – 13 спортсменок с тазобедренной стратегией. При анализе данных спортивного анамнеза выяснено, что фигуристки, использующие голеностопную стратегию, отмечают травмы опорно-двигательного аппарата в 33% случаев, а спортсменки, использующие тазобедренную стратегию, в 100% случаях имеют в анамнезе травмы нижних конечностей, перенесенные задолго до начала хода эксперимента. Примеры реализации спортсменками голеностопной и тазобедренной стратегий отражены на рисунке 1.

Результаты, представленные в рисунках, показаны по данным средних значений спортсменок на каждой из представленных стратегий. Как видно из рисунка 1А, при использовании фигуристками тазобедренной стратегии колебания амплитуды RMS (при подсчете пиков) значительно превышают колебания амплитуды RMS у фигуристок с голеностопной стратегией (рис. 1Б), что согласуется со сдвигами в перемещении центра давления во фронтальных и сагиттальных направлениях.

При выполнении фигуристками различных стабилометрических тестов изменения RMS ЭМГ-сигнала сопровождались соответствующими колебаниями ЦД. Полученные данные показали, что наибольшее количество всплесков во всех тестах зарегистрировано при использовании тазобедренной стратегии. В тесте «Мишень» при голеностопной стратегии отмечено 11 всплесков, при тазобедренной – 22; в пробе Ромберга со зрительным контролем (ОГ) – 12 и 18, а с ограничением зрительного контроля (ЗГ) – 16 и 20 всплесков,

соответственно. В тестах, требующих более сложной координации (особенно в тесте «Мишень»), применение тазобедренной стратегии регуляции позы сопровождается большим количеством высокоамплитудных всплесков ЭМГ икроножной мышцы по сравнению с менее энергозатратной голеностопной стратегией.

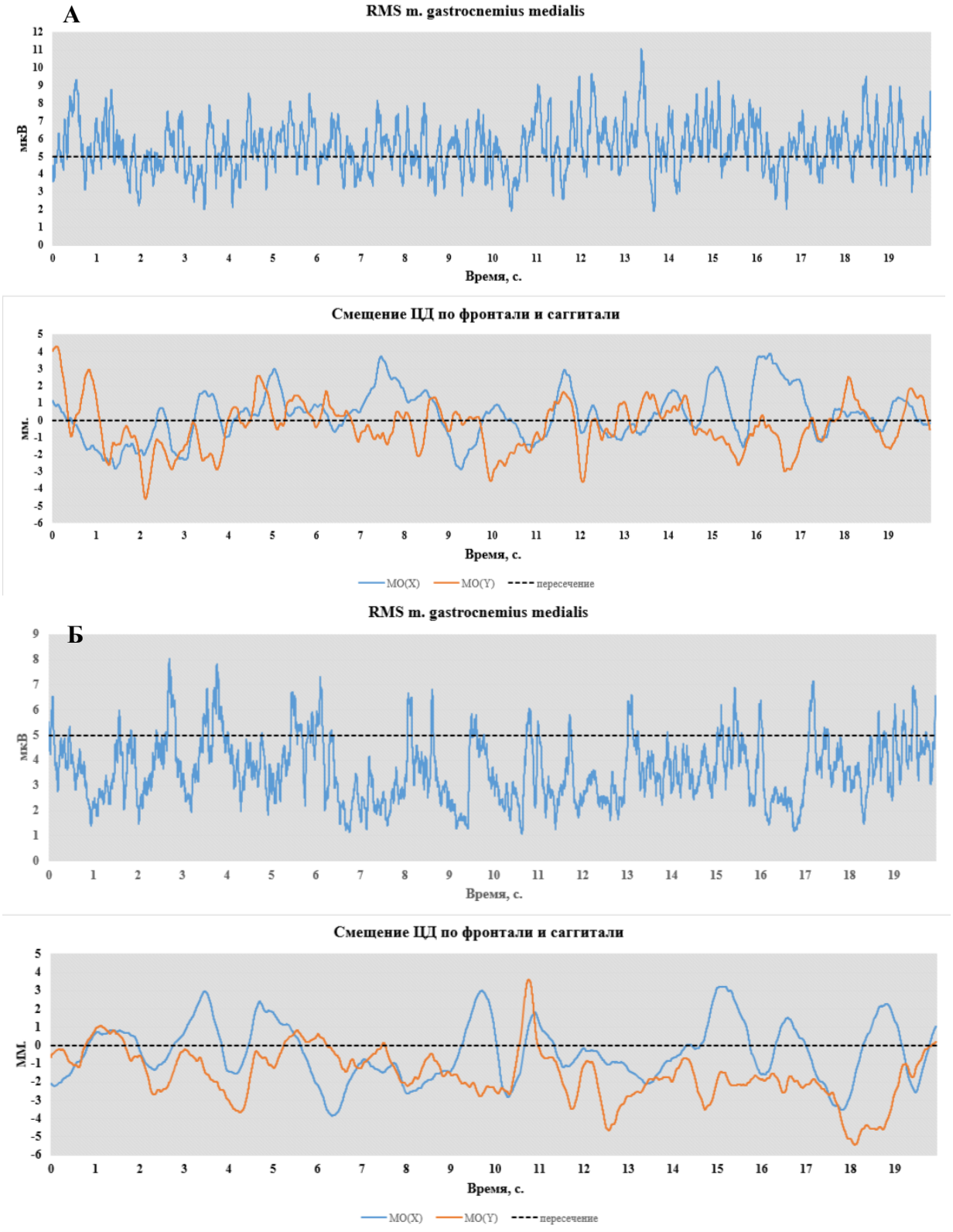


Рис. 1. А – пример реализации фигуристками тазобедренной стратегии, Б – пример реализации фигуристками голеностопной стратегии.

Примечание: ЦД – центр давления; RMS – среднеквадратическое значение амплитуды; МО – математическое ожидание положения ЦД по направлениям.

Различия значений стабилометрических параметров в тесте «Мишень» и расчетных показателей ЭМГ-сигнала представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, в группах сравнения выявлены различия по большинству показателей теста «Мишень». В группе с тазобедренной стратегией зафиксированы более высокие значения показателя отношения длины статокинезиограммы к общему разбросу (OD), средней амплитуды ЭМГ, площади ЭМГ-сигнала, количества всплесков RMS, отношения миоработы RMS/t и относительной амплитуды RMS%. Частотные характеристики спектра мощности (60%Pw(F), 60%Pw(S)) оказались выше в группе с тазобедренной стратегией, что является естественным для определения данной стратегии, а значения показателя F1(F) ниже (p=0,02).

Таблица 1

Сравнение стабилометрических и электромиографических показателей в тесте «Мишень» у фигуристок с голеностопной (n=11) и тазобедренной (n=13) стратегиями поддержания равновесия, Me±σ

Параметр	Голеностопная стратегия (n=11)	Тазобедренная стратегия (n=13)	P<
Стабилометрические показатели			
OD, рад/с	72,2±4,8	83,1±12,6	0,02
F1(F), Гц	0,42±0,13	0,12±0,04	0,02
60%Pw(F), Гц	0,85±0,06	1±0,09	0,04
Pw2(F), %	77,5±2,41	73±1,29	0,04
Pw3(F), %	11±1,07	14±1,41	0,02
60%Pw(S), Гц	0,82±0,07	1,02±0,22	0,04
Pw3(S), %	13±2,21	16,5±4,39	–
ЭМГ-показатели			
m. gastrocnemius medialis – A. (ср), мкВ	48±23,3	87±16,9	0,04
m. gastrocnemius medialis – S., мВ*мс	962±463,4	1737,5±345,1	0,04
m. gastrocnemius medialis – кол-во всплесков RMS	11±2,9	22±2,6	0,01
m. gastrocnemius medialis – RMS/t	4,3±1,8	9,8±1,6	0,01
m. gastrocnemius medialis – RMS%	3,1±0,8	5,5±1,2	0,04

Примечание: OD – отношение длины статокинезиограммы к среднему разбросу; F1 – частота первого пика; (F) – фронтальная плоскость; (S) – сагиттальная плоскость; 60%Pw – уровень 60% мощности спектра; Pw2 – мощность второй зоны; Pw3 – мощность третьей зоны; A. (ср) – исходный сигнал средней амплитуды; S. – площадь амплитуды сигнала; RMS – среднеквадратическое значение амплитуды; RMS/t – пройденный участок амплитуды за единицу времени; RMS% – средний процент пиков за отдельные участки амплитуды; разница статистически значима при p<0,05.

Сравнительный анализ стабилометрических параметров проведен с учетом методических подходов, предложенных в трудах Скворцова (2010), Кубряка (2022) [11, 15]. В качестве методологического ориентира для совместного с ЭМГ анализа мы опирались на исследование Vieira et al. (2009), которое показало, что RMS биоэлектрической активности m. gastrocnemius medialis является высокоинформативным показателем мышечной работы при выполнении постуральных тестов, а его изменения тесно связаны с динамикой изменений центра давления [16]. Сравнение стабилометрических и электромиографических показателей в тесте Ромберга с ОГ у фигуристок с голеностопной и тазобедренной стратегиями представлено в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, в пробе Ромберга, проведенной со зрительным контролем, отмечены значимые различия для показателя «Нормированная площадь векторограммы» и частотного показателя 60%Pw(S). На уровне тенденции (p<0,10) зарегистрированы более высокие значения отношения показателей OD, амплитуды вариации угловой скорости (АВУС). В значениях показателей ЭМГ установлены

тенденции различий следующих параметров: средней амплитуды, площади сигнала, количества всплесков RMS и отношения миоработы RMS/t. Необходимо отметить, что указанные отличия показателей стабилометрии и ЭМГ менее выражены в тесте Ромберга с ОГ, чем в тесте «Мишень», и часто носят характер тенденций.

Таблица 2

Сравнение стабилометрических и электромиографических показателей в тесте Ромберга со зрительным контролем у фигуристок с голеностопной и тазобедренной стратегиями, Me±σ

Параметр	Голеностопная стратегия (n=11)	Тазобедренная стратегия (n=13)	P<
Стабилометрические показатели			
OD, рад/с.	63,7±6,7	83,8±16,4	–
НПВ, мм^2/с	0,12±0,03	0,19±0,12	0,02
АВУС, °/с	19,6±2,7	23,7±2,2	–
КАЛС с, %	0,36±1,07	0,33±0,62	0,04
60%Pw(S), Гц	0,85±0,08	1,13±0,09	0,01
ЭМГ-показатели			
m. gastrocnemius medialis – A. (ср), мкВ	48,5±27,8	92±18,2	–
m. gastrocnemius medialis – S., мВ*мс	972±554,6	1838±359,1	–
m. gastrocnemius medialis – кол-во всплесков RMS	12±2	18±5	–
m. Gastrocnemius medialis – RMS/t	5,8±2,1	9,9±2,2	–

Примечание: OD – отношение длины статокинезиограммы к среднему разбросу; НПВ – нормированная площадь векторограммы; АВУС – амплитуда вариации линейной скорости; КАЛС – коэффициент асимметрии линейной скорости; 60%Pw – уровень 60% мощности спектра; (S) – сагиттальная плоскость; A. (ср) – исходный сигнал средней амплитуды; S. – площадь амплитуды сигнала; RMS – среднеквадратическое значение амплитуды; RMS/t – пройденный участок амплитуды за единицу времени; разница статистически значима при $p<0,05$.

Таблица 3

Сравнение стабилометрических и электромиографических показателей в тесте Ромберга с закрытыми глазами у фигуристок с голеностопной и тазобедренной стратегиями, Me±σ

Параметр	Голеностопная стратегия (n=11)	Тазобедренная стратегия (n=13)	P<
Стабилометрические показатели			
КРИНД, %	6,5±1,3	14,4±4,5	0,02
УСС, °/с	15,1±1,6	23±4,3	0,02
АВУС, °/с	19,1±1,09	25,3±4,95	0,04
60%Pw(F), Гц	0,7±0,12	0,9±0,18	–
Pw2(F), %	73,5±5,3	63,5±4,7	0,04
Pw3(F), %	9,5±0,7	17,5±3,1	0,01
60%Pw(S), Гц	0,85±0,07	1,1±0,16	–
Pw3(S), %	14±2,1	21,5±3,1	0,02
ЭМГ-показатели			
m. gastrocnemius medialis – A. (ср), мкВ	52±14,3	96±35,6	–
m. gastrocnemius medialis – S., мВ*мс	1045±289,2	1877±703,9	–
m. gastrocnemius medialis – RMS/t	6,8±3,2	10,4±3,3	–

Примечание: КРИНД – коэффициент резкого изменения направления движения; УСС – средняя угловая скорость; АВУС – амплитуда вариации линейной скорости; 60%Pw – уровень 60% мощности спектра; Pw2 – мощность второй зоны; Pw3 – мощность третьей зоны; (F) – фронтальная плоскость; (S) – сагиттальная плоскость; A. (ср) – исходный сигнал средней амплитуды; S. – площадь амплитуды сигнала; RMS/t – пройденный участок амплитуды за единицу времени; разница статистически значима при $p<0,05$.

Сравнение вышеуказанных показателей в тесте Ромберга с закрытыми глазами (ЗГ) представлено в таблице 3.

В условиях отсутствия зрительного контроля зафиксировано наибольшее количество значимых различий между группами с разными постуральными стратегиями. В группе с тазобедренной стратегией статистически значимо выше оказались коэффициент резкого изменения направления движения, угловая скорость смещения ЦД, АВУС, а также спектральные показатели: доля мощности в высокочастотном диапазоне Pw3(F) и Pw3(S) при одновременном снижении доли низкочастотной мощности Pw2(F). Для частоты 60%Pw(F) также отмечена тенденция к повышению в группе с тазобедренной стратегией. Полученные результаты согласуются с литературными данными, согласно которым высокочастотные компоненты в спектре колебаний центра давления ассоциированы с реализацией тазобедренной стратегии постурального контроля [17, 18].

Как следует из полученных нами данных, представленных на рисунке 2, при сравнении усредненных и пиковых значений RMS m. gastrocnemius medialis в зависимости от выбранной стратегии поддержания равновесия установлено, что реализация тазобедренной стратегии сопровождается более высокими показателями по сравнению с голеностопной: превышение составляет 21% для усредненного значения и 15% для пикового.

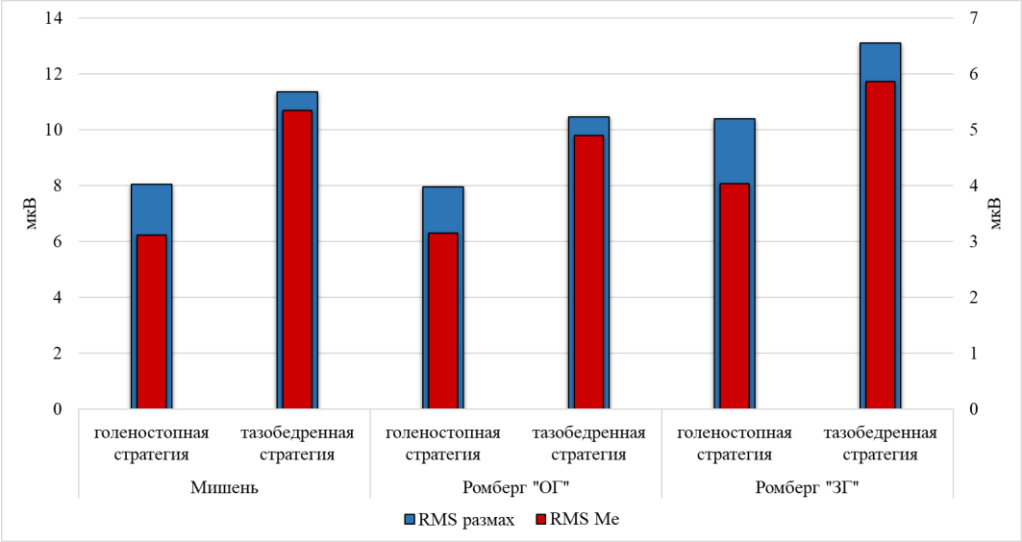


Рис. 2. Соотношение средней и максимальной RMS при голеностопной и тазобедренной стратегиях поддержания равновесия у фигуристок-одиночниц высокой квалификации
Примечание: RMS – среднеквадратическое значение амплитуды; ОГ – зрительный контроль (глаза открыты); ЗГ – глаза закрыты.

В тесте «Мишень» у спортсменок с тазобедренной стратегией смещения ЦД ниже, чем в группе голеностопной: X% – 19,87 против 23,96; Y% – 23,27 против 28,69. В пробе Ромберга с ОГ сохраняется аналогичная картина: X% – 32,35 против 35,43; Y% – 31,19 против 32,82. В пробе с ЗГ различия минимальны: X% – 26,92 против 26,66; Y% – 32,27 против 31,36. Наибольшее снижение величины отклонений ЦД при тазобедренной стратегии отмечено в тесте «Мишень» и пробе Ромберга с ОГ (рис. 3).

В тесте «Мишень» у испытуемых тазобедренной группы зарегистрирована более высокая амплитуда ЭМГ (пиковое значение RMS% – 12,02) по сравнению с группой голеностопной стратегии (8,19). Указанная закономерность сохраняется в пробе Ромберга с ОГ (10,94 против 8,31) и с ЗГ (13,77 против 10,41). При этом длительность одного колебания при использовании тазобедренной стратегии во всех тестовых заданиях не существенно ниже, чем при голеностопной: в тесте «Мишень» – 3,12 против 4,87; в пробе с ОГ – 3,05 против 3,56; с ЗГ – 3,34 против 3,54, что позволяет говорить о более оперативной коррекции позы. Установленная взаимосвязь между

повышением амплитуды ЭМГ и сокращением длительности корректирующих движений может говорить о возможной компенсаторной роли m. gastrocnemius medialis в обеспечении постуральной устойчивости, что особенно значимо в тестовых условиях, предъявляющих повышенные требования к координации и сенсорному контролю (рис. 4).

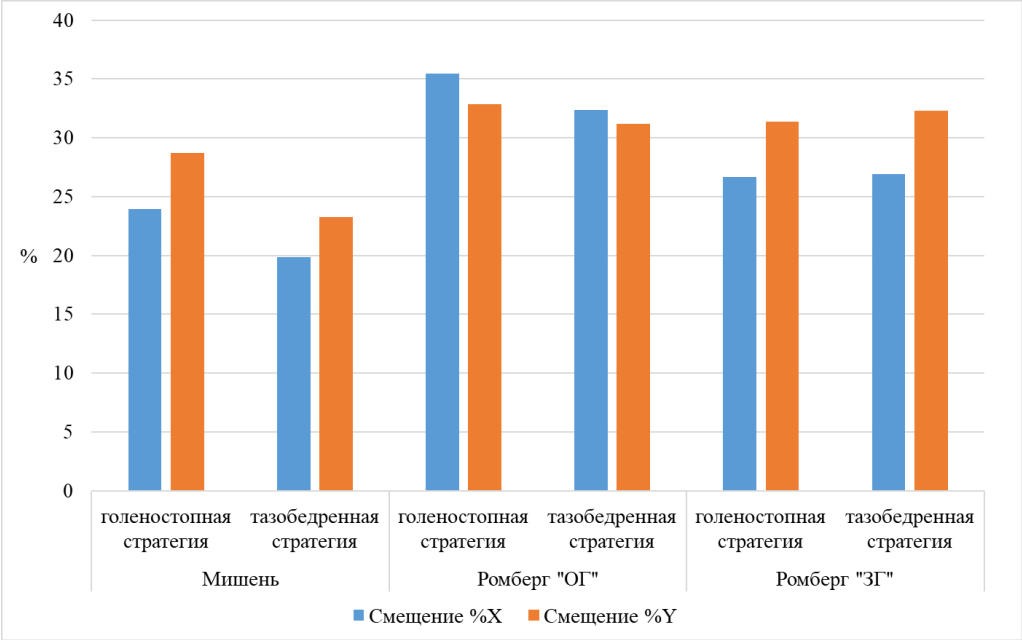


Рис. 3. Гистограмма распределения относительных показателей смещения ЦД во фронтальной (X%) и сагиттальной (Y%) плоскостях у фигуристок-одиночниц высокой квалификации в зависимости от стратегии поддержания равновесия

Примечание: ЦД – центр давления; ОГ – зрительный контроль (глаза открыты); ЗГ – глаза закрыты.

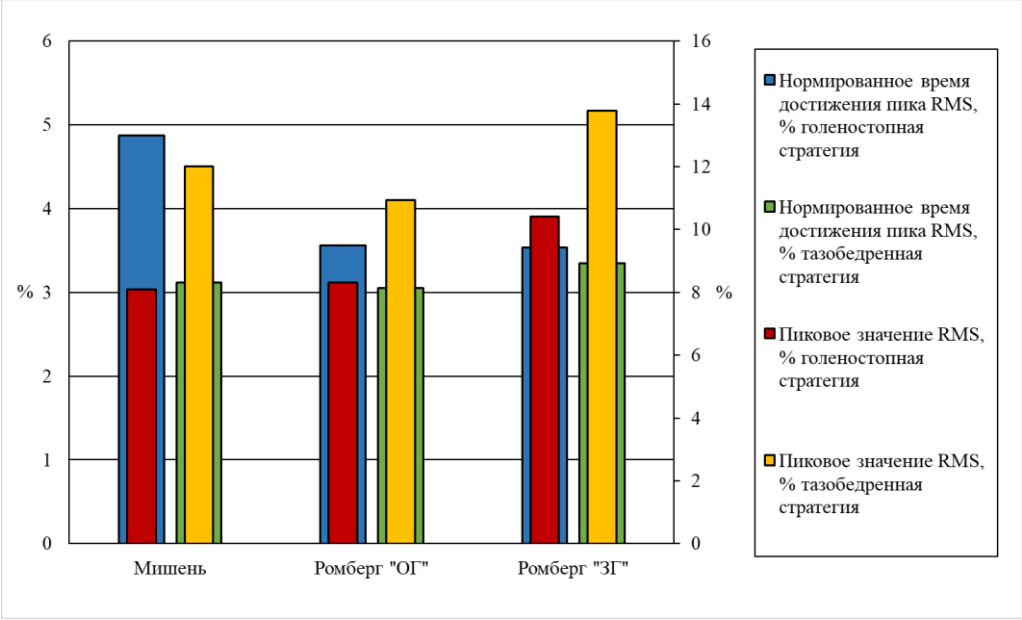


Рис. 4. Гистограмма зависимости амплитуды ЭМГ m. gastrocnemius medialis (пиковое значение RMS%) и средней длительности одного колебания (нормированное время достижения пика RMS%) у фигуристок-одиночниц высокой квалификации в стабилометрических тестах

Примечание: ЭМГ – электромиограмма; RMS – среднеквадратическое значение амплитуды.

Таблица 4

Сравнительный анализ психофизиологических показателей у фигуристок с голеностопной и тазобедренной стратегиями, M±σ

Психофизиологические параметры	Голеностопная стратегия (n=11)	Тазобедренная стратегия (n=13)	P<
РДО (кол-во опережающих реакций)	2,5±0,8	0,7±0,5	0,006
Отмеривание отрезков (ошибка в %)	9,9±3,6	23,8±11,8	0,02
URA, этап 3, интервал 2, кол-во ошибок	5,5±1	3,5±1	0,02

Примечание: РДО – реакция на движущийся объект; URA – трехэтапный тест умственной работоспособности; P – t-критерий Стьюдента.

В таблице 4 представлены результаты психофизиологических параметров у фигуристок-одиночниц высокой квалификации в зависимости от применяемой стратегии постурального контроля.

Выявленные межгрупповые различия отражают неоднородность психофизиологических механизмов регуляции движений у фигуристок, применяющих разные стратегии поддержания равновесия. Установлены статистически значимые межгрупповые различия по всем трем показателям ($p<0,05$). Самым действенным в плане значимости межгрупповых отличий отмечен тест «Реакция на движущийся объект». Количество опережающих ошибок отмечено меньше в группе 2 (тазобедренная стратегия). В более сложном психофизиологическом тесте «Отмеривание отрезков», напротив, более оперативная реакция отмечена у спортсменок с голеностопной стратегией. В тесте «URA» на третьем, самом сложном, этапе теста, количество ошибок вновь меньше в группе тазобедренной стратегии (результаты 2-ой попытки).

Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено, что применение тазобедренной стратегии поддержания равновесия сопровождается снижением величины отклонений центра давления во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Такие отличия наиболее выражены в тесте «Мишень» и менее в пробе Ромберга с ОГ. Одновременно с этим фиксируются рост амплитуды ЭМГ m. gastrocnemius medialis и сокращение длительности корректирующих движений, что свидетельствует о более оперативной постуральной коррекции. Выявленная зависимость подтверждает компенсаторную роль данной мышцы в обеспечении устойчивости, особенно в условиях повышенных координационных и сенсорных требований. Психофизиологические различия между группами сравнения указывают на неоднородность реакций сенсорного звена постуральной системы у фигуристок, использующих разные стратегии постурального контроля, что требует дальнейшего изучения.

Заключение. В результате проведенного исследования выявлены различия биоэлектрических характеристик активности m. gastrocnemius medialis у фигуристок высокой квалификации при выполнении стабилометрических тестов с реализацией спортсменками различных стратегий для поддержания равновесия. Установлено, что применение тазобедренной стратегии поддержания равновесия сопровождается достоверно более высокими значениями амплитудных (RMS, RMS/t, RMS%) и структурных (количество всплесков RMS) показателей ЭМГ m. gastrocnemius medialis по сравнению с голеностопной стратегией. Наибольшее количество статистически значимых различий зафиксировано нами в стабилометрическом тесте «Мишень», который является самым информативным, а также в пробе Ромберга с ОГ, что указывает на возрастание роли m. gastrocnemius medialis в условиях повышенных требований для поддержания спортсменками равновесия при выполнении стабилометрических тестов. Показано, что переход к тазобедренной стратегии ассоциирован с перераспределением частотного состава стабилограммы (отмечен рост высокочастотных компонентов Pw3(F), Pw3(S) и снижение низкочастотной мощности Pw2(F)), что согласуется с литературными данными о спектральных маркерах постуральных стратегий [17, 18]. Сопоставление временных рядов ЭМГ и стабилограммы подтвердило, что всплески амплитуды RMS

медиальной икроножной мышцы синхронизированы с колебаниями центра давления, причем при тазобедренной стратегии длительность одного корректирующего движения меньше, что может свидетельствовать о более быстрой, но энергозатратной стратегии при необходимости регулировать вертикальную позу. Необходимо отметить, что фигуристки, реализующие тазобедренную стратегию, в 100% случаев отмечают в анамнезе травмы опорно-двигательного аппарата. Полученные результаты расширяют представления о нейрофизиологических механизмах постурального контроля в фигурном катании и могут быть использованы для объективного мониторинга функционального состояния спортсменок для оптимизации тренировочного процесса, направленного на совершенствование статокинетической устойчивости, и для определения функционально-диагностических критериев, позволяющих своевременно проводить профилактику травм голеностопного сустава. Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение динамики ЭМГ-характеристик медиальной икроножной мышцы в процессе многолетней подготовки и при воздействии различных тренировочных нагрузок.

Выводы:

1) Более высокий уровень реализации вертикальной устойчивости демонстрируют фигуристки-одиночницы с голеностопной стратегией;

2) Голеностопная стратегия поддержания постуральной устойчивости имеет более низкую стоимость миоработы, что позволяет более плавно корректировать движения при обеспечении постурального контроля;

3) Наибольшую вертикальную устойчивость фигуристок демонстрирует голеностопная стратегия в виду наименьшего количества колебаний ЭМГ;

4) Особенностью биоэлектрических характеристик m. gastrocnemius medialis у фигуристок с разными стратегиями постурального контроля является: большее среднее время максимального пика ЭМГ и меньшее значение амплитуды у спортсменок, реализующих голеностопную стратегию, в то время как у спортсменок, реализующих тазобедренную стратегию, отмечено меньшее среднее время максимального пика ЭМГ, но большее значение амплитуды ($p<0,05$).

5) Фигуристки с тазобедренной стратегией в 100% случаев имеют в анамнезе травмы опорно-двигательного аппарата.

6) В дальнейшем целесообразно исследовать зависимость «ЭМГ – координационные проявления» во время выполнения фигуристками специально прыжковых элементов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивлев, В.И. Особенности афферентного обеспечения функции равновесия у фигуристов в подготовительном периоде / В.И. Ивлев, А.В. Шевцов // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_8.

2. Седоченко, С.В. Динамика стабилометрических параметров устойчивостии технического мастерства квалифицированных фигуристок / С.В. Седоченко, О.Н. Савинкова, А.В. Черных // Человек. Спорт. Медицина. – 2025. – Т. 25. – № S1. – С. 92-96. DOI 10.14529/hsm25s111.

3. Vieira, T.M.M. Is the stabilization of quiet upright stance in humans driven by synchronized modulations of the activity of medial and lateral gastrocnemius muscles? / T.M.M. Vieira, U. Windhorst, R. Merletti // Journal of Applied Physiology. – 2010. – Vol. 108. – No. 1. – P. 85-97. DOI: 10.1152/japplphysiol.00676.2009.

4. Voluntary control of forward leaning posture relates to low-frequency neural inputs to the medial gastrocnemius muscle / T. Watanabe, I. Nojima, H. Sugiura [et al.] // Gait & Posture. – 2019. – Vol. 68. – P. 187-192. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.11.026.

5. Zaback, M. Independent directional tuning of the human triceps surae muscles during standing postural control / M. Zaback, C.K. Thompson // Journal of Applied Physiology. – 2025. DOI: 10.1152/japplphysiol.00626.2025.

6. Absence of lateral gastrocnemius activity and differential motor unit behavior in soleus and medial gastrocnemius during standing balance / M.E. Héroux, C.J. Dakin, B.L. Luu [et al.] // Journal

of Applied Physiology. – 2014. – Vol. 116. – No. 2. – P. 140-148. DOI: 10.1152/japplphysiol. 00906.2013.
7. Asymmetrical loading of the human triceps surae: I. Mediolateral force differences in the Achilles tendon / A. Arndt, G.P. Brüggemann, J. Koebke, B. Segesser // Foot & Ankle International. – 1999. – Vol. 20. – No. 7. – P. 444-449. DOI: 10.1177/107110079902000709.
8. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures / H.J. Hermens, B. Freriks, C. Disselhorst-Klug, G. Rau // Journal of Electromyography and Kinesiology. – 2000. – Vol. 10. – No. 5. – P. 361-374. DOI: 10.1016/s1050-6411(00)00027-4.
9. SENIAM: Gastrocnemius Medialis. – URL: http://seniam.org/gastrocnemiusmedialis.html (дата обращения: 12.05.2026).
10. Современные аспекты стабилометрии и стабилотренинга в коррекции постуральных расстройств / И.М. Рудь, Е.А. Мельникова, М.А. Рассулова, А.Е. Гореликов // Доктор.Ру. – 2017. – № 11(140). – С. 51-56.
11. Скворцов, Д.В. Стабилометрическое исследование : краткое руководство / Д.В. Скворцов. – Москва : Мера-ТСП, 2010. – 172 с.
12. Городничев, Р.М. Спортивная электронейромиография / Р.М. Городничев. – Великие Луки : ВЛГИФК, 2005. – 227 с.
13. Robbins, D. An Introduction to EMG Signal Processing Using MatLab and Microsoft Excel / D. Robbins // Applications, Challenges, and Advancements in Electromyography Signal Processing / ed. G.R. Naik. – Hershey, PA : IGI Global, 2014. DOI: 10.4018/978-1-4666-6090-8.ch004.
14. Abbink, J.H. Detection of onset and termination of muscle activity in surface electromyograms / J.H. Abbink, A. van der Bilt, H.W. van der Glas // Journal of Oral Rehabilitation. – 1998. – Vol. 25. – No. 5. – P. 365-369. DOI: 10.1046/j.1365-2842.1998.00242.x.
15. Кубряк, О.В. Стабилометрия за 2 минуты : интерактивное методическое пособие / О.В. Кубряк, А.И. Мезенчук. – Москва : Мера-ТСП, 2022. – 44 с.
16. Vieira, T.M.M. Intermittent recruitment of motor units in the medial gastrocnemius muscle during quiet standing / T.M.M. Vieira, R. Merletti, D. Farina // Gait & Posture. – 2009. – Vol. 30. – Suppl. 1. – P. S17-S18. DOI: 10.1016/j.gaitpost. 2009.07.098.
17. Experimental Analysis of Postural Mechanism Using a New Movable Platform / T. Yamamoto, H. Asano, R. Muratubaki, O. Hounokidani // Biomechanisms. – 1992. – Vol. 11. – P. 261-271. DOI: 10.3951/biomechanisms.11.261.
18. Zhang, H. Frequencies in Center of Pressure Time Series above 1Hz during Quiet Upright Stance Reflect the Use of a Hip Strategy / H. Zhang, M.A. Nussbaum // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. – 2008. – Vol. 52. – No. 19. – P. 1511-1515. DOI: 10.1177/154193120805201519.

REFERENCES

1. Ivlev V.I., Shevtsov A.V. Afferent mechanisms underlying balance function in figure skaters during the preparation period. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_01_8. (in Russ.)
2. Sedochenko S.V., Savinkova O.N., Chernykh A.V. Dynamics of stabilometric parameters and technical performance in skilled figure skaters. *Human. Sport. Medicine*, 2025, vol. 25(S1), pp. 92-96. DOI: 10.14529/hsm25s111. (in Russ.)
3. Vieira T.M.M., Windhorst U., Merletti R. Is the stabilization of quiet upright stance in humans driven by synchronized modulations of the activity of medial and lateral gastrocnemius muscles? *Journal of Applied Physiology*, 2010, vol. 108, no. 1, pp. 85-97. DOI: 10.1152/japplphysiol. 00676.2009.
4. Watanabe T., Nojima I., Sugiura H. et al. Voluntary control of forward leaning posture relates to low-frequency neural inputs to the medial gastrocnemius muscle. *Gait & Posture*, 2019, vol. 68, pp. 187-192. DOI: 10.1016/j.gaitpost. 2018.11.026.
5. Zaback M., Thompson C.K. Independent directional tuning of the human triceps surae muscles during standing postural control. *Journal of Applied Physiology*, 2025. DOI: 10.1152/japplphysiol.00626.2025.
6. Héroux M.E., Dakin C.J., Luu B.L. et al. Absence of lateral gastrocnemius activity and differential motor unit behavior in soleus and medial gastrocnemius during standing balance. *Journal of Applied Physiology*, 2014, vol. 116, no. 2, pp. 140-148. DOI: 10.1152/japplphysiol. 00906.2013.
7. Arndt A., Brüggemann G.P., Koebke J. et al. Asymmetrical loading of the human triceps surae: I. Mediolateral force differences in the Achilles tendon. *Foot & Ankle International*, 1999, vol. 20, no. 7, pp. 444-449. DOI: 10.1177/107110079902000709.
8. Hermens H.J., Freriks B., Disselhorst-Klug C. et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2000, vol. 10, no. 5, pp. 361-374. DOI: 10.1016/s1050-6411(00)00027-4.
9. SENIAM: Gastrocnemius Medialis. Available at: http://seniam.org/gastrocnemiusmedialis.html (accessed: 12.05.2026).

10. Rud I.M., Melnikova E.A., Rassulova M.A., Gorelikov A.E. Current aspects of stabilometry and stability training in the treatment of postural disorders. *Doctor.Ru*, 2017, no. 11(140), pp. 51-56. (in Russ.)
11. Skvortsov D.V. Stabilometric Study: a brief guide. Moscow: Maska, 2010.172 p. (in Russ.)
12. Gorodnichev R.M. Sports Electroneuromyography. Velikiye Luki, 2005. 227 p. (in Russ.)
13. Robbins D. An Introduction to EMG Signal Processing Using MatLab and Microsoft Excel. In: Applications, Challenges, and Advancements in Electromyography Signal Processing. Naik G.R., ed. Hershey, PA: IGI Global, 2014. DOI: 10.4018/978-1-4666-6090-8.ch004.
14. Abbink J.H., van der Bilt A., van der Glas H.W. Detection of onset and termination of muscle activity in surface electromyograms. *Journal of Oral Rehabilitation*, 1998, vol. 25(5), pp. 365-369. DOI: 10.1046/j.1365-2842.1998.00242.x.
15. Kubryak O.V., Mezenchuk A.I. Stabilometry in 2 minutes: interactive methodological guide. Moscow: Mera-TSP, 2022. 44 p. (in Russ.)
16. Vieira T.M.M., Merletti R., Farina D. Intermittent recruitment of motor units in the medial gastrocnemius muscle during quiet standing. *Gait & Posture*, 2009, vol. 30, suppl. 1, pp. S17-S18. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2009.07.098.
17. Yamamoto T., Asano H., Muratubaki R., Hounokidani O. Experimental Analysis of Postural Mechanism Using a New Movable Platform. *Biomechanisms*, 1992, vol. 11, pp. 261-271. DOI: 10.3951/biomechanisms.11.261.
18. Zhang H., Nussbaum M.A. Frequencies in Center of Pressure Time Series above 1Hz during Quiet Upright Stance Reflect the Use of a Hip Strategy. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 2008, vol. 52, no. 19, pp. 1511-1515. DOI: 10.1177/154193120805201519.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Наталья Николаевна Захарьева – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры физиологии, главный научный сотрудник лаборатории научно-методического обеспечения подготовки спортсменов сборных команд НИИ спорта и спортивной медицины, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: zakharyeva.natalia@mail.ru.
Дмитрий Алексеевич Рыбкин – аспирант кафедры физиологии, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: proofreadrose7@gmail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Natalya N. Zakharyeva – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Physiology, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Scientific and Methodological Support of National Team Athlete Training, Research Institute of Sports and Sports Medicine, Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, e-mail: zakharyeva.natalia@mail.ru.
Dmitry A. Rybkin – Postgraduate Student of the Department of Physiology, Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, e-mail: proofreadrose7@gmail.ru.

Для цитирования: Захарьева, Н.Н. Биоэлектрические характеристики m. gastrocnemius medialis в обеспечении постурального контроля у фигуристок высокой квалификации при выполнении стабилометрических тестов / Н.Н. Захарьева, Д.А. Рыбкин // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_7

For citation: Zakharyeva N.N., Rybkin D.A. Bioelectric characteristics of m. gastrocnemius medialis in providing postural control of highly qualified figure skaters performing stabilometric tests. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_7

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_8
УДК 159.91+371

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_8
UDC 159.91+371

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОГО ОБУЧЕНИЯ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТУДЕНТОВ

Ю.А. Карвунис[1], Ю.Г. Калинникова[1], Н.А. Карвунис[1], В.В. Шевченко[1], Л.В. Капилевич[1,2]
[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск, Россия
[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Изучены психофизиологические характеристики студентов при контроле результатов обучения в цифровой среде, в том числе с применением нейросетей. ***Методы.*** Обследовано 100 студентов первого курса, которым предлагалось выполнить три задания – на бумаге, онлайн и с использованием генеративного искусственного интеллекта. До и после выполнения каждого задания проводился комплекс физиологических и психофизиологических исследований. ***Результаты.*** Показано, что наибольшее влияние на психофизиологические характеристики оказывает работа онлайн, особенно с применением нейросети. В то же время показатели, характеризующие уровень стресса и вегетативный баланс в большей степени изменяются при традиционной форме сдачи зачета. ***Заключение.*** Полученные результаты позволяют предположить, что в процесс адаптации студентов к ситуации проверки знаний вовлекается два частично или полностью независимых механизма, причем в разных условиях осуществления контроля степень их вовлеченности меняется.
Ключевые слова: цифровое обучение, искусственный интеллект, студенты, психофизиология, электроэнцефалография.

THE IMPACT OF DIGITAL LEARNING TECHNOLOGIES ON STUDENTS' PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS

Yu.A. Karvunis[1], Yu.G. Kalinnikova[1], N.A. Karvunis[1], V.V. Shevchenko[1], L.V. Kapilevich[1,2]
[1]National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
[2]Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The psychophysiological characteristics of students were studied during learning assessment in a digital environment, including the use of neural networks. ***Methods.*** One hundred first-year students were examined as they completed three tasks in turn: on paper, online, and using generative artificial intelligence. A series of physiological and psychophysiological measurements were conducted immediately before and after each task. ***Results.*** It has been revealed that online work has the greatest impact on psychophysiological characteristics, especially with the use of neural networks. At the same time, the indicators characterizing stress levels and autonomic balance change to a greater extent in the traditional form of taking the test. ***Conclusion.*** The results suggest that two partially or completely independent mechanisms are involved in students' adaptation to knowledge assessment, with the degree of their involvement varying under different assessment conditions.
Keywords: digital learning, artificial intelligence, students, psychophysiology, electroencephalography.

Введение. Результаты исследования образа жизни современных подростков свидетельствуют о том, что большинство молодых людей проводят значительное время перед экраном компьютера. При этом время физической активности значительно сокращается [1]. Показано, что рост времени, проводимого за компьютером, сопровождается повышением риска формирования депрессии и частоты случаев суицида [2]. Также растет вероятность формирования различных нарушений здоровья, метаболических расстройств и в итоге – снижения качества жизни [3].

Особенно эта проблема актуализируется при внедрении цифровых систем в учебный процесс. Цифровизация образования в последние годы прогрессировала экспоненциально, и сегодня она перешла на принципиально новый уровень [4].

Особенно массовым применение цифровых технологий в образовании стало в период коронавирусной пандемии [5], после ее завершения возврат в оффлайн-режим произошел лишь частично [6].

Все эти факторы приводят к функциональным расстройствам со стороны нервной системы учащихся, что проявляется в развитии утомления, психоэмоциональной неустойчивости [7]. Большинство авторов основным путем решения данной проблемы видят сокращение времени работы за компьютером [8]. Однако не все с этим согласны, в том числе указывая на многочисленные неудачи подобных попыток [9]. По всей видимости, ключевые проблемы при разработке технологий интерактивного цифрового обучения должны решаться в том числе на основе оценки особенностей психофизиологических реакций обучающихся на цифровую образовательную среду [10].

Цель исследования – изучить психофизиологические характеристики студентов при выполнении контрольных заданий в цифровой среде, в том числе с применением генеративного искусственного интеллекта (ИИ).

Методы и организация исследования. В исследовании участвовали 100 студентов первого курса Томского государственного университета (51 мужчина и 49 женщин, возраст – 18,5±0,4 лет). Поскольку выдаваемые задания были связаны с английским языком, студенты языковых специальностей к исследованию не привлекались. Также в исследование не включались студенты с заболеваниями нервной системы, иммунологическими и эндокринными расстройствами.

В ходе исследования испытуемым выдавался тест на английском языке с открытой формой. Тест состоял из предложений с пропусками, в которые необходимо было подставить любое слово, подходящее по контексту. Первый вариант студенты должны были выполнить оффлайн. Второе задание они должны были выполнить онлайн с автоматической проверкой. При проверке третьего задания использовался генеративный ИИ ChatGPT3,5. При использовании генеративных инструментов испытуемым предлагалось составить промпт, который предлагал бы несколько возможных вариантов ответов, выбор при этом оставался за студентом. Время на выполнение во всех трех случаях составляло 20 минут.

В исследование включались результаты измерений только в случае успешного выполнения задания студентом. Интервал между заданиями составлял неделю. Всем испытуемым дважды (непосредственно перед выполнением задания и сразу после) проводили следующие исследования: оценка психофизиологических показателей; регистрация электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и кардиоинтервалограммы; определение концентрации кортизола в слюне.

Оценка психофизиологических показателей проводилась на программно-аппаратном комплексе «Психотест» (Нейрософт, Россия). Использовались следующие методики: теппинг-тест, тест «Помехоустойчивость», цветовой тест Люшера, а также тесты «Простая зрительно-моторная реакция» (ПЗМР), «Реакция на движущийся объект» (РДО).

Регистрация ЭЭГ выполнялась с использованием аппаратно-программного комплекса Нейрон-Спектр (ООО «Нейрософт», Россия) по программе «Нейрон-Спектр 4/П». Оценка вариабельности сердечного ритма (ВСР) выполнялась на приборе «ВНС-спектр» (ООО «Нейрософт», Россия).

Содержание кортизола в слюне определялось иммуноферментным методом «КОРТИЗОЛ В СЛЮНЕ-ИФА» (ООО «ХЕМА», Россия).

Статистический анализ данных выполнялся в программе GraphPad Prism 9.3.1. Выборки перед статистическим анализом оценивались на нормальность по критерию Колмогорова-Смирнова с правкой Лиллиефорса. Данные представлены в виде Me [Q1; Q3]. Результаты спектрального анализа ЭЭГ представлены в виде среднего арифметического и ошибки среднего. Уровень значимости при проверке гипотезы принадлежности двух выборок к одной генеральной совокупности оценивался с использованием двустороннего дисперсионного анализа с критерием множественного сравнения Тьюки и поправкой Холма-Сидака.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты выполнения психофизиологических тестов представлены в таблице 1. Средняя частота движений в теппинг-тесте уменьшалась при выполнении всех трех заданий, тогда как величина отклонения кривой снижалась только при выполнении задания с использованием ИИ. Схожие результаты были получены в тесте «Помехоустойчивость». Коэффициент точности Уиппла был одинаковым во всех трех вариантах заданий, а число ошибок запаздывания было ниже при использовании ИИ.

В тесте ПЗРМ функциональный уровень и количество ошибок оставались неизменными, если задание выполнялось на бумаге или онлайн. В то же время при использовании ИИ достоверно возрастал показатель функционального уровня. Среднее время реакции возрастало при выполнении задания на бумаге и снижалось при использовании ИИ.

В тесте РДО увеличение числа точных реакций, а также снижение числа опережений отмечалось при выполнении заданий онлайн. При выполнении заданий с ИИ изменения в этом тесте были выражены в большей степени, однако число запаздываний не изменялось.

При проведении цветового теста Люшера после выполнения задания оффлайн возрастал показатель вегетативного баланса. Однако, когда задание выполнялось с применением ИИ, он, напротив, достоверно снижался. Показатель стресса был максимальным при выполнении задания оффлайн.

Полученные результаты свидетельствуют, что наибольшее влияние на психофизиологические характеристики оказывает работа онлайн, особенно с применением ИИ. В то же время показатели, характеризующие уровень стресса и вегетативный баланс, в большей степени изменяются при традиционной форме сдачи зачета.

Таблица 1

Результаты психофизиологических тестов при учебной деятельности в цифровом формате, Me [Q1; Q3]

Группа		До выполнения задания	Выполнение задание на бумаге	Выполнение задания онлайн	Выполнение задания с использованием ИИ
Теппинг тест	Средняя частота, Гц	6,2 [5,9; 6,4]	4,9 [4,7; 5,3]*	5,5 [5,2; 5,7]*	5,0 [4,8; 5,3]*
	Степень отклонения кривой работоспособности, %	-20,7 [19,5; 21,2]	-16,5 [15,9; 16,8]*	-17,2 [16,8; 17,6]*	-40,0 [37,3; 44,5]*@#
Помехоустойчивость	Число ошибок запаздывания	5,7 [5,4; 6,1]	4,7 [4,5; 5,0]*	4,7 [4,4; 4,9]*	4,0 [3,7; 4,2]*@#
	Коэффициент точности Уиппла	0,87 [0,83; 0,91]	0,89 [0,86; 0,93]	0,88 [0,85; 0,89]	0,9 [0,88; 0,93]
ПЗМР	Функциональный уровень системы	4,3 [4,1; 4,5]	4,3 [4,2; 4,6]	4,4 [4,2; 4,6]	4,9 [4,6; 5,2]*@#
	Среднее значение времени реакции, мс	245,1 [235,2; 267,8]	267,7 [258,4; 281,7]*	246,7 [224,4; 261,2]*	221,7 [212,5; 236,2]*@#
РДО	Число точных реакций	24,3 [22,1; 26,9]	25,0 [21,9; 29,3]	28,6 [26,4; 30,1]*	32,7 [30,1; 34,5]*@#
Тест Люшера	Вегетативный баланс	1,7 [1,3; 2,2]	3,2 [3,0; 3,4]*	1,6 [1,2; 2,1]@	0,5 [0,3; 0,7]*@#
	Показатель стресса	17,7 [15,9; 19,6]	25,9 [21,3; 28,9]*	19,7 [16,3; 22,5]@	18,3 [16,5; 20,7]@

Примечание: ИИ – искусственный интеллект; ПЗМР – простая зрительно-моторная реакция; РДО – реакция на движущийся объект; * – достоверность различий с показателем до выполнения задания ($p \leq 0,05$); @ – достоверность различий с показателями при выполнении задания на бумаге ($p \leq 0,05$); # – достоверность различий с показателями выполнения задания онлайн ($p \leq 0,05$).

Биоэлектрическая активность головного мозга различалась при разных условиях образовательной деятельности в цифровом пространстве. До выполнения когнитивных нагрузок максимальная амплитуда альфа-ритма в левом полушарии составила 94,2±7,5 мкВ (средняя – 26,5±5,3 мкВ), в правом – 98,4±7,5 мкВ (средняя – 26,3±4,8 мкВ). Доминирующая частота альфа-ритма – 10,5 Гц. Индекс альфа-ритма по спектру – 40,9±5,2%. Альфа-ритм преобладает в затылочных областях. При выполнении пробы с открыванием глаз индекс альфа-ритма уменьшился на 46,8±5,9%.

После выполнения первого задания на листе бумаги максимальная амплитуда альфа-ритма в левом полушарии возросла до 99,7±5,1 мкВ ($p \leq 0,05$) (средняя – до 27,2±4,6 мкВ). Максимальная амплитуда альфа-ритма в правом полушарии увеличилась до 106,5±7,2 мкВ ($p \leq 0,05$) (средняя – 27,4±5,1 мкВ). Индекс альфа-ритма по спектру увеличился на 54,7±8,1% ($p \leq 0,05$). При выполнении пробы с открыванием глаз индекс альфа-ритма уменьшился на 67,7±9,1% ($p \leq 0,05$).

После выполнения второго задания (онлайн по предоставленной ссылке) на фоновой записи максимальная амплитуда альфа-ритма над левым полушарием составила 99,7±6,1 мкВ ($p \leq 0,05$) (средняя – 28,5±5,3 мкВ), над правым – 105,8±7,2 мкВ ($p \leq 0,05$) (средняя – 28±4,9 мкВ). Индекс альфа-ритма по спектру составил 56,9±7,4% ($p \leq 0,05$). После выполнения пробы с открыванием глаз индекс альфа-ритма уменьшился на 64,8±7,2% ($p \leq 0,05$).

После выполнения третьего задания (с использованием при проверке ChatGPT3,5) максимальная амплитуда альфа-ритма возрастала наиболее значительно: над левым полушарием – до 112,5±10,2 мкВ (средняя – 32,5±5,7 мкВ) ($p \leq 0,05$), над правым – 114,7±10,8 мкВ (средняя – 32,5±5,5 мкВ) ($p \leq 0,05$). Индекс альфа-ритма по спектру составил 67,0±6,8% ($p \leq 0,05$). При выполнении пробы с открыванием глаз индекс альфа-ритма уменьшился на 78,5±5,7% ($p \leq 0,05$).

Сходный частотный диапазон (9-11 ГЦ), регистрируемый в области моторной коры, мы интерпретировали как мю-ритм. Максимальная амплитуда мю-ритма до выполнения заданий составила 25,2±3,1 мкВ (средняя – 8,4±0,8 мкВ). После выполнения первого задания она возросла до 37,5±3,5 мкВ (средняя – 12,7±1,5 мкВ) ($p \leq 0,05$). После выполнения второго задания составила 38,6±3,4 мкВ (средняя –11,5±1,3 мкВ) ($p \leq 0,05$). Наибольший прирост максимальной амплитуды мю-ритма – до 42,8±4,1 мкВ (средняя – 17,2±3,5 мкВ) ($p_1 < 0,05$) мы зарегистрировали после выполнения третьего задания.

Максимальная амплитуда низкочастотного (НЧ) бета-ритма (от 14 до 20 Гц) до выполнения нагрузок составила 42,7±4,2 мкВ (средняя – 9,1±0,8 мкВ). Индекс бета-НЧ-ритма над левым полушарием (по спектру) составлял 3,9±0,4%, над правым – 4,4±0,5%. При выполнении задания оффлайн максимальная амплитуда бета-НЧ-ритма составила 41,5±3,7 мкВ (средняя – 9,1±1,0 мкВ). Индекс бета-НЧ-ритма над левым полушарием (по спектру) составил 4,0±0,3%, над правым – 5,1±0,4%. Небольшой прирост максимальной амплитуды низкочастотного бета-ритма был зарегистрирован после выполнения третьего задания – до 47,5±4,1 мкВ (средняя – 12,3±1,2 мкВ) ($p \leq 0,05$). Индекс бета-НЧ-ритма над левым полушарием (по спектру) – 4,2±0,6%, над правым – 5,0±0,5%. Максимальная амплитуда бета-НЧ-ритма возрастала до 57,2±5,1 мкВ (средняя – 12,5±1,8 мкВ) ($p \leq 0,05$) после выполнения третьего задания. Индекс бета-НЧ-ритма над левым полушарием (по спектру) составил 5,7±0,4% ($p \leq 0,05$), над правым – 5,3±0,3% ($p_1 < 0,05$).

Максимальная амплитуда высокочастотного (ВЧ) бета-ритма (от 20 до 35 Гц) до выполнения заданий составляла 44,2±5,7 мкВ (средняя 9,2±1,7 мкВ). Индекс бета-ВЧ-ритма над левым полушарием (по спектру) – 3,9±0,7%, над правым – 4,9±0,9%. После выполнения первого задания максимальная амплитуда высокочастотного бета-ритма составляла 42,8±4,2 мкВ (средняя – 9,1±0,8 мкВ). Индекс бета-ВЧ-ритма над левым полушарием (по спектру) – 3,9±0,5%, над правым – 5,5±0,6%. Также не было отмечено изменений максимальной амплитуды высокочастотного бета-ВЧ-ритма после выполнения второго задания – она составила 45,6±5,1 мкВ (средняя – 9,3±0,8 мкВ). Индекс бета-ВЧ-ритма над левым

полушарием (по спектру) – 3,6±0,4%, над правым – 4,4±0,6%. После выполнения третьего задания максимальная амплитуда высокочастотного бета-ритма возросла до 60,6±4,1 мкВ (p≤0,05) (средняя – 9,2±1,3 мкВ). Индекс бета-ВЧ-ритма над левым полушарием (по спектру) – 4,8±0,6%, над правым – 4,9±0,5%.

Максимальная амплитуда дельта-ритма (частотой от 1 до 4 Гц) до выполнения заданий составила 120,7±9,5 мкВ (средняя – 4,1±0,3 мкВ). После выполнения заданий она снижалась: после первого задания – до 106,5±7,2 мкВ (p≤0,05) (средняя – 4,3±0,2 мкВ), после второго задания – до 96,6±5,4 мкВ (p≤0,05) (средняя – 4,1±0,2 мкВ), после третьего – до 76,5±4,8 мкВ (средняя – 2,5±0,2 мкВ) (p≤0,05). Доминирующая частота дельта-ритма во всех случаях составляла 1,5 Гц.

Максимальная амплитуда тета-ритма (частотой от 4 до 8 Гц) до выполнения заданий составила 65,2±5,3 мкВ (средняя – 12,1±1,1 мкВ). Доминирующая частота тета-ритма – 6,6 Гц, индекс тета-ритма по спектру – 15,4±1,2%. После выполнения задания онлайн максимальная амплитуда тета-ритма возросла до 99,7±6,9 мкВ (средняя – 18,2±1,5 мкВ) (p≤0,05). Доминирующая частота тета-ритма составила 7,2 Гц, индекс тета-ритма по спектру – 17,2±1,4%. (p≤0,05). После выполнения второго задания максимальная амплитуда тета-ритма также составляла 98,5±6,7 мкВ (средняя – 18,3±1,4 мкВ) (p≤0,05). Доминирующая частота тета-ритма – 7,4 Гц, индекс тета-ритма по спектру – 15,9±1,1%. Существенный прирост всех показателей был зарегистрирован после выполнения третьего задания: максимальная амплитуда тета-ритма увеличилась до 123,5±7,4 мкВ (средняя – 27,8±2,5 мкВ) (p≤0,05), индекс тета-ритма по спектру – до 21,8±3,6% (p≤0,05).

Подводя итоги, можно отметить следующие закономерности. При выполнении задания оффлайн или онлайн имеет место возрастание амплитуды альфа-ритма и небольшой прирост амплитуды мю-ритма, некоторое усиление тета-ритма и угнетение дельта-ритма. Когда при выполнении задания применялся ИИ, изменения имели ту же направленность, но они выражены в большей степени. Кроме этого, наблюдается прирост амплитуды бета-ритма, особенно его низкочастотной компоненты.

Результаты исследования вариабельности сердечного ритма представлены в таблице 2. Можно отметить, что высокочастотная компонента сердечного ритма оказалась нечувствительной к выполнению заданий – она не изменялась во всех трех случаях. Обе низкочастотные компоненты существенно усиливались при выполнении заданий на бумаге либо онлайн. При выполнении задания с использованием ИИ ChatGPT3,5 прирост также фиксировался, но был выражен в меньшей степени. Вероятно, в этом случае возрастание симпатического тонуса также имеет место, но выражено слабее.

Таблица 2

Результаты вариационной пульсометрии при учебной деятельности в цифровом формате, Me [Q1; Q3]

Группа	VLF, мс^2/Гц	LF, мс^2/Гц	HF, мс^2/Гц
До выполнения задания	518,08 [363,82; 881,03]	976,31 [594,43; 1212,55]	2024,87 [1796,40; 2430,19]
Выполнение задание на бумаге	941,26 [694,48; 1269,99]*	1625,6 [1227,75; 2108,33]*	2137,98 [1641,40; 2515,15]
Выполнение задания онлайн	951,64 [665,37; 1103,94]*	1767,34 [1528,27; 1975,69]*	2004,51 [1757,17; 2362,38]
Выполнение задания с ИИ	651,64 [465,37; 903,94]@#	1197,34 [728,27; 1375,69]@#	2097,75 [1647,19; 2459,23]

Примечание: VLF – крайне низкочастотная компонента сердечного ритма; LF – низкочастотная компонента сердечного ритма; HF – высокочастотная компонента сердечного ритма; ИИ – искусственный интеллект; * – достоверность различий с показателем до выполнения задания (p≤0,05); @ – достоверность различий с показателями при выполнении задания на бумаге (p≤0,05); # – достоверность различий с показателями выполнения задания онлайн (p≤0,05).

Таблица 3

Концентрация кортизола в слюне при учебной деятельности в цифровом формате, Me [Q1; Q3]

Группа	Концентрация, нг/мл
До выполнения задания	0,25 [0,22; 0,28]
Выполнение задание на бумаге	0,35 [0,31; 0,4]*
Выполнение задания онлайн	0,32 [0,31; 0,39]*
Выполнение задания с ИИ	0,29 [0,26; 0,32]*@#

Примечание: ИИ – искусственный интеллект; * – достоверность различий с показателем до выполнения задания ($p \leq 0,05$); @ – достоверность различий с показателями при выполнении задания на бумаге ($p \leq 0,05$); # – достоверность различий с показателями выполнения задания онлайн ($p \leq 0,05$).

Из результатов, представленных в таблице 3, видно, что максимальная концентрация кортизола в слюне отмечалась в случаях, когда задания выполнялись на бумаге или онлайн. При использовании ИИ прирост концентрации данного гормона был незначительным.

Полученные результаты позволяют предположить, что в процесс адаптации студентов к ситуации проверки знаний вовлекается два частично или полностью независимых механизма, причем в разных условиях осуществления контроля степень их вовлеченности меняется. Первый механизм связан с изменением вегетативного баланса и повышением уровня стресса. Он вовлекается преимущественно при сдаче зачета оффлайн, а также несколько в меньшей степени при онлайн-тестировании. Данный механизм сопряжен с усилением доли низкочастотных компонентов кардиоинтервалограммы, а также с максимальным приростом концентрации кортизола в слюне. Также с ним связаны изменения показателей психофизиологических тестов, характеризующие уровень стресса и вегетативный баланс – в частности, в тесте Люшера показатели стресса и вегетативного баланса изменялись в наибольшей степени при выполнении первого задания (на бумаге).

Второй механизм адаптации студентов к ситуации проверки знаний связан с активацией процессов в коре головного мозга, что находит свое проявление в изменении характера биоэлектрической активности. Если задание выполнялось на бумаге или онлайн, отмечались прирост альфа-ритма и небольшое усиление мю-ритма, некоторое усиление тета-ритма и угнетение дельта-ритма. При выполнении задания с использованием ИИ изменения имеют ту же направленность, но выражены в большей степени. Кроме этого, при использовании ИИ наблюдается прирост амплитуды бета-ритма, особенно его низкочастотной компоненты. Большинство психофизиологических характеристик изменяется при выполнении заданий онлайн и в большей степени с использованием ИИ.

Наибольший интерес вызывает тот факт, что максимальные перестройки в биоэлектрической активности коры, сопровождающиеся выраженной активацией психофизиологических показателей, имеют место в ситуации наименьшего стресса. Очевидно, что при выполнении когнитивных заданий перестройка биоэлектрической активности зависит от характера задания и не связана напрямую со стрессорными воздействиями. Можно предположить, что при выполнении задания на бумаге стресс в сочетании с низкой мотивацией способствуют активации миндалины, что через ингибирование гиппокампа (чему также способствует усиление продукции кортизола) угнетает активность префронтальной коры. В случае выполнения задания с использованием ИИ за счет эмоциональной вовлеченности и снижения фактора стресса (данная среда является для молодых людей привычной и не вызывает тревоги) усиливается активность гиппокампа и стимулируется активность префронтальной коры. Эти различия в механизмах ответа центральной нервной системы и находят отражения в описанных паттернах биоэлектрической активности коры.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют, что наибольшее влияние на психофизиологические характеристики

оказывает работа онлайн, особенно с применением ИИ. В то же время показатели, характеризующие уровень стресса и вегетативный баланс, в большей степени изменяются при традиционной форме сдачи зачета. Можно предположить, что в процесс адаптации студентов к ситуации проверки знаний вовлекается два частично или полностью независимых механизма, причем в разных условиях осуществления контроля степень их вовлеченности меняется.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тишкова, А.С. Особенности цифровой социализации современной молодежи: теоретический экскурс / А.С. Тишкова // Человеческий капитал. – 2023. – № 12-1(180). – С. 212-218.
2. Physiologic responses and energy expenditure of Kinect active video game play in schoolchildren / S.R. Smallwood, M.M. Morris, S.J. Fallows, J.P. Buckley // Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine. – 2012. – Vol. 166. – No. 11. – P.1005-1009.
3. Digital learning. smartphone usage, and digital culture in Indonesia education / A.I. San, N. Suryani, D. Rochsantiningsih, S. Suharno // Integration of Education. – 2020. – Vol. 24. – No. 1. – P. 20-31. DOI: 10.15507/1991-9468.098.024.202001.020-031.
4. Грязнова, Е.В. Противоречия цифрового высшего образования в информационной культуре современного общества / Е.В. Грязнова // Вестник Минского университета. – 2023. – Т. 11. – № 1. – С. 12-20. DOI: 10.26795/2307-1281-2023-11-1-12.
5. Digital readiness and its effects on higher education students' socio-emotional perceptions in the context of the COVID-19 pandemic / M. Händel, M. Stephan, M. Gläser-Zikuda [et al.] // Journal of Research on Technology in Education. – 2020. – Vol. 54. – No. 2. – P. 267-280. DOI: 10.1080/15391523.2020.1846147.
6. Спартакян, Н.С. Психолого-педагогические характеристики цифрового образовательного пространства / С.Н. Спартакян, М.Г. Синякова // Педагогическое образование в России. – 2022. – № 1. – С. 145-156.
7. Лангуев, К.А. Влияние цифровой образовательной среды на психофизиологическое состояние старшеклассников / К.А. Лангуев, Е.С. Богомолова // Цифровая гуманитаристика и технологии в образовании (DHTE 2023) : сборник статей IV Международной научно-практической конференции. – Москва : Издательство ФГБОУ ВО МГППУ, 2023. – С. 115-124.
8. Stomaiuolo, A. Contexts of Digital Socialization: Studying Adolescents Interactions on Social Network Sites / A. Stomaiuolo // Human Development. – 2017. – Vol. 60. – No. 5. – P. 233-238. DOI: 10.1159/000480341.
9. Ермаков, П.Н. Психофизиологические маркеры поведения личности в цифровой среде / П.Н. Ермаков, И.С. Лучинкина // Мир науки. Педагогика и психология. – 2024. – Т. 12. – № 6. – URL: https://mir-nauki.com/PDF/128PSMN624.pdf (дата обращения: 25.06.2026)
10. Влияние технологий цифрового обучения на функциональные и психофизиологические ответы организма: анализ литературы / Д.З. Шибкова, Б.П. Айгужин, А.Д. Герасев, Р.И. Айзман // Science for Education Today. – 2021. – № 3. – С. 125-141. DOI: 10.15293/2658-6762.2103.07.

REFERENCES

1. Tishkova A.S. Features of digital socialization of modern youth: theoretical excursion. *Human capital*, 2023, no. 12-1(180), pp. 212-218. (in Russ.)
2. Smallwood S.R., Morris M.M., Fallows S.J., Buckley J.P. Physiologic responses and energy expenditure of kinect active video game play in schoolchildren. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 2012, vol. 166, no. 11, pp. 1005-1009.
3. San A.I. Digital learning. smartphone usage, and digital culture in Indonesian education. *Integration of Education*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 20-31. DOI: 10.15507/1991-9468.098.024.202001.020-031.
4. Gryaznova E.V. Contradictions of digital higher education in the information culture of modern society. *Vestnik of Minsk University*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 42-48. DOI: 10.26795/2307-1281-2023-11-1-12. (in Russ.)
5. Händel M. Digital readiness and its effects on higher education students' socio-emotional perceptions in the context of the COVID-19 pandemic. *Journal of Research on Technology in Education*, 2020, vol. 54, no. 2, pp. 267-280. DOI: 10.1080/15391523.2020.1846147.
6. Spartakyan N.S., Sinyakova M.G. Psychological and pedagogical characteristics of the digital educational space. *Pedagogical Education in Russia*, 2022, no. 1, pp. 145-156. (in Russ.)

7. Languyev K.A., Bogomolova E.S. The Impact of the Digital Educational Environment on the Psychophysiological State of High School Students. Digital Humanities and Technologies in Education (DHTE 2023): collection of articles of the IV International Scientific and Practical Conference. Moscow: Publishing House of the Moscow State Psychological and Pedagogical University, 2023. pp. 115-124. (in Russ.)
8. Stomaiuolo A. Contexts of Digital Socialization: Studying Adolescents Interactions on Social Network Sites. *Human Development*, 2017, no. 60, pp. 233-238. DOI: 10.1159/000480341.
9. Ermakov P.N., Luchinkina I.S. Psychophysiological markers of personality behavior in the digital environment. *World of Science. Pedagogy and Psychology*, 2024, vol. 12, no. 6. Available at: https://mir-nauki.com/PDF/128PSMN624.pdf (accessed 25.06.2026) (in Russ.)
10. Shibkova D.Z., Aiguzhin B.P., Gerasev A.D., Aizman R.I. The impact of digital learning technologies on functional and psychophysiological responses of the organism: an analytical literature review. *Science for Education Today*, 2021, no. 3, pp. 125-141. DOI: 10.15293/2658-6762.2103.07. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Юлия Алексеевна Карвунис – старший преподаватель кафедры спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, Томский государственный университет, e-mail: juliakarvounis@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2744-0300.
Юлия Геннадьевна Калинникова – кандидат медицинских наук, доцент кафедры спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, Томский государственный университет, e-mail: Kalina3341@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5410-1147.
Николетта Александровна Карвунис – магистрант факультета физической культуры, Томский государственный университет, e-mail: juliakarvounis@gmail.com; ORCID: 0009-0001-2875-8097.
Виктория Витальевна Шевченко – аспирант факультета физической культуры, Томский государственный университет, e-mail: fomchenko1993@gmail.com; ORCID: 0009-0000-1152-0763.
Леонид Владимирович Капилевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины факультета физической культуры, Томский государственный университет; профессор отделения физической культуры, Томский политехнический университет, e-mail: kapil@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-2316-576X.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Yulia A. Karvunis – Senior Lecturer of the Department of Sports and Recreative Tourism, Sports Physiology and Medicine, Faculty of Physical Culture, Tomsk State University, e-mail: juliakarvounis@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2744-0300.
Yulia G. Kalinnikova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Sports and Recreative Tourism, Sports Physiology and Medicine, Faculty of Physical Culture, Tomsk State University, e-mail: Kalina3341@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5410-1147.
Nikoletta A. Karvunis – Master's Student of the Faculty of Physical Culture, Tomsk State University, e-mail: juliakarvounis@gmail.com, ORCID: 0009-0001-2875-8097.
Viktoria V. Shevchenko – Postgraduate Student of the Faculty of Physical Culture, Tomsk State University, e-mail: fomchenko1993@gmail.com, ORCID: 0009-0000-1152-0763.
Leonid V. Kapilevich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Sports and Recreative Tourism, Sports Physiology and Medicine, Faculty of Physical Culture, Tomsk State University; Professor of the Department of Physical Culture, Tomsk Polytechnic University, e-mail: kapil@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2316-576X.

Для цитирования: Влияние технологий цифрового обучения на психофизиологические характеристики студентов / Ю.А. Карвунис, Ю.Г. Калинникова, Н.А. Карвунис [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_8

For citation: Karvunis Yu.A., Kalinnikova Yu.G., Karvunis N.A., Shevchenko V.V., Kapilevich L.V. The impact of digital learning technologies on students' psychophysiological characteristics. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_8

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_9
УДК 615.017

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_9
UDC 615.017

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И СНИЖЕНИЕ МЫШЕЧНОЙ БОЛИ С ПОМОЩЬЮ ЭКИПИРОВКИ С ТЕХНОЛОГИЕЙ ОКСИГЕНАЦИИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Ю.В. Корягина[1], К.Ю. Орлов[2], А.Ю. Дмитрак[2], Ю.В. Кушнарева[1], В.В. Дейнеко[2]
[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия
[2]Общество с ограниченной ответственностью «Лонг Лайф Технолоджиес», г. Москва, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Цель работы – исследование влияния использования спортивной экипировки SportDots (тазобедренных повязок) на функциональное состояние мышц нижних конечностей спортсменов при выполнении силовых нагрузок. ***Методы.*** В исследовании участвовало 10 спортсменов мужского пола, возраст – 26 [20; 33] лет. Проводились 2 сессии нагрузочного тестирования мышц бедра на роботизированном биомеханическом комплексе CON-TREX MJ: в сессии 1 на правую ногу спортсмена одевали спортивную экипировку SportDots, на левую – плацебо, сессия 2 проходила в альтернативных условиях. Отдых между сессиями составил 7 дней. В каждой сессии у всех спортсменов как до, так и после нагрузочного тестирования проводилась стимуляционная реовазография нижних конечностей и определялись индивидуальное восприятие нагрузки с помощью шкалы Борга, а также интенсивность боли по визуальной аналоговой шкале. ***Результаты.*** Выявлены положительные эффекты применения SportDots, проявляющиеся в оптимизации периферической гемодинамики (венозного оттока, времени наполнения сосудов), снижающие развитие утомления и уменьшающие восприятие величины нагрузки и мышечную боль после нее. ***Заключение.*** С учетом доказанной способности нормализовать периферическую гемодинамику и ускорять восстановительные процессы применение SportDots рекомендуется сразу после любых физических нагрузок. Это делает гетры, тайтсы и наколенники SportDots научно обоснованным, немедикаментозным инструментом для решения проблемы «восстановления ног» у марафонцев и представителей других видов спорта.

Ключевые слова: спортивная экипировка, SportDots, функциональное состояние, восстановление, опорно-двигательный аппарат, динамометрия, гемодинамика, мышечная боль.

REAL-TIME ADJUSTMENT OF RECOVERY PROCESSES AND REDUCTION OF MUSCLE PAIN WITH OXYGENATION TECHNOLOGY EQUIPMENT

Yu.V. Koryagina[1], K.Yu. Orlov[2], A.Yu. Dmitrak[2], Yu.V. Kushnareva[1], V.V. Deineko[2]
[1]North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, Russia
[2]Long Life Technologies LLC, Moscow, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Objective – to study the effect of the SportDots sports equipment (hip braces) on the functional state of the lower limb muscles of athletes during power loads. ***Methods.*** The study involved 10 male athletes aged 26 [20; 33] years. We conducted two sessions of load testing of the thigh muscles on the CON-TREX MJ robotic biomechanical complex: in session 1, we placed SportDots sports equipment (hip braces) on the athlete's right leg, the placebo was placed on the left leg. Session 2 was held under alternative conditions. The rest period between sessions lasted 7 days. In each session, all athletes underwent stimulation rheovasography of lower limbs both before and after the test, and individual load perception was identified using the Borg scale, as well as pain intensity on a visual analog scale. ***Results.*** The positive effects of using the SportDots equipment have been revealed, manifested in optimizing peripheral hemodynamics (venous outflow, vascular filling time), reducing the development of fatigue and the perception of the load magnitude and muscle pain after it. ***Conclusion.*** Based on the proven ability of the SportDots equipment to normalize peripheral hemodynamics and accelerate recovery processes, it is recommended to use the equipment immediately after any physical activity. This makes SportDots gaiters, tights, and knee pads a scientifically proven, non-medicinal tool for solving the problem of "leg recovery" for marathon runners and representatives of other sports.

Keywords: sports equipment, SportDots, functional state, recovery, musculoskeletal system, dynamometry, hemodynamics, muscle pain.

Введение. Восстановление ног после тяжелых циклических и силовых тренировок – важнейшая задача для повышения работоспособности спортсменов и профилактики усталостных травм и повреждений [1]. Накопление лактата, застой воспалительной жидкости и локальные отеки замедляют возврат к тренировкам и провоцируют крепатуру (болезненные ощущения и скованность в мышцах, которые появляются через 12-48 часов после физической нагрузки и обычно держатся 3-5 дней), или отсроченную мышечную боль (delayed onset muscle soreness (DOMS)) [2-4].

Перспективным для ускорения и оптимизации процессов восстановления может быть использование специальной спортивной одежды SportDots с технологиями дальнего инфракрасного излучения (ДИИ) [5-6] и механотрансдукции [7]. ДИИ – это определенный диапазон длин волн в инфракрасном спектре электромагнитного излучения (от 3 мкм до 1 мм) [8]. Большинство исследователей считают, что оптимальный диапазон длин волн ДИИ для воздействия на биологические процессы в организме человека находится в пределах от 4 до 14 мкм [9, 10], поскольку он может проникать в кожу и ткани человека на глубину до 4 см [11], тем самым способствуя кровообращению и оксигенации тканей [11-13].

Механотрансдукция – критически важный регулятор многочисленных биологических процессов – представляет собой преобразование механических сигналов в биохимические, касающиеся клеточной активности и метаболизма. Типичные механические сигналы в организме включают гидростатическое давление, сдвиговое напряжение жидкости, силу натяжения, жесткость внеклеточного матрикса или эластичность тканей, а также вязкость внеклеточной жидкости [7].

В связи с этим целью работы явилось исследование влияния использования спортивной экипировки SportDots (тазобедренных повязок) на функциональное состояние мышц нижних конечностей спортсменов при выполнении силовых нагрузок.

Методы и организация исследования. Механизм восстановления тканей организма, реализованный в технологии SportDots, основан на синергии двойного действия:

1) ДИИ: экипировка отражает выделяемое телом тепло в виде ДИИ-излучения. Проникая в ткани, оно стимулирует выработку оксида азота, что напрямую снижает сосудистое сопротивление и вызывает вазодилатацию (расширение капилляров). Это усиливает местный кровоток, улучшает транспорт кислорода и ускоряет вывод метаболитов (включая лактат и ионы водорода) из уставших мышц.

2) Механотрансдукция: постоянное микронадавливание патчей (дотов) создает эффект локального микро-массажа. Этот механический микродренаж в комбинации с улучшенным кровотоком позволяет значительно быстрее снимать локальный отек после тяжелых тренировок.

Для обоснования и получения научных доказательств эффектов применения экипировки SportDots проведено слепое плацебо-контролируемое исследование с участием спортсменов (лыжников, триатлонистов и бегунов). Работа проводилась в Центре медико-биологических технологий Северо-Кавказского федерального научно-клинического центра Федерального медико-биологического агентства (ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России) в среднегорье на высоте 1 240 м в период учебно-тренировочных сборов спортсменов на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Юг Спорт», г. Кисловодск с участием 10 спортсменов мужского пола, возраст – 26 [20; 33] лет. Все участники дали информированное согласие на участие в исследовании в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации и разрешение на обработку персональных данных; исследование было одобрено комиссией по вопросам биоэтики ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России.

Исследование включало две сессии: в сессии 1 во время нагрузочного тестирования мышц бедра на правую ногу спортсмена одевали спортивную экипировку SportDots (тазобедренные повязки), на левую ногу – плацебо. Сессия 2 проходила в альтернативных условиях (правая нога – плацебо, левая – экипировка SportDots). Отдых между первой и второй

сессией составил 7 дней. В каждой сессии у всех спортсменов как до, так и после нагрузочного тестирования проводилась реовазография (РВГ) нижних конечностей на реографе «Валента» (ООО «Компания Нео», Россия).

Нагрузочное тестирование мышц бедра, включающее 2 нагрузки, выполняли с помощью роботизированного биомеханического комплекса «CON-TREX MJ» (Physiomed Elektromedizin AG, Германия) (рис. 1). Первая нагрузка включала серию из 4 подходов на разных угловых скоростях: 8 повторений с ограничением по скорости 60 °/с, 10 повторений с ограничением по скорости 120 °/с, 12 повторений с ограничением по скорости 180 °/с, 6 повторений с ограничением по скорости 30 °/с, время отдыха между подходами составило 60 с. Вторая нагрузка состояла из серии из 3 подходов: время выполнения каждого подхода – 60 с, ограничение по скорости – 180 °/с, время отдыха между подходами составило 120 с.

Сразу после нагрузочного тестирования мышц бедра в каждой сессии у спортсменов определяли индивидуальное восприятие нагрузки с помощью шкалы субъективных ощущений Борга и оценивали интенсивность боли по визуальной аналоговой шкале (ВАШ).



Рис. 1. Фотография проведения силового нагрузочного тестирования

Статистическая обработка данных проводилась с помощью компьютерной программы Statistica 13.0. Рассчитывались стандартные показатели описательной статистики (медиана, первый и третий квартили). Сравнение показателей проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона.

Результаты исследования и их обсуждение. *Нормализация гемодинамики в экипировке SportDots.* Анализ параметров кровообращения стопы и голени правой и левой ног по данным РВГ до и после нагрузки показал, что после выполнения тяжелой силовой нагрузки параметры венозного оттока (рис. 2), а также времени максимального и медленного наполнения сосудов (рис. 3) в экипировке SportDots были значительно ближе к физиологической норме, чем при нагрузках в плацебо-форме. В частности, это показатели: время максимального систолического наполнения сосудов (стопа правая SportDots – 0,11 [0,1; 0,13] с, плацебо – 0,12 [0,11; 0,13], $p<0,02$), время медленного наполнения (голень правая SportDots – 0,09 [0,09; 0,11] с, плацебо – 0,11 [0,1; 0,11] с, $p<0,02$), венозный отток (стопа правая SportDots – 24 [4; 37] %, плацебо – 26,5 [14; 37] %; голень правая SportDots – 15 [10; 26] %, плацебо – 26 [13; 40] %). Это означает, что SportDots активно нормализует периферическую гемодинамику и предотвращает сосудистый застой.

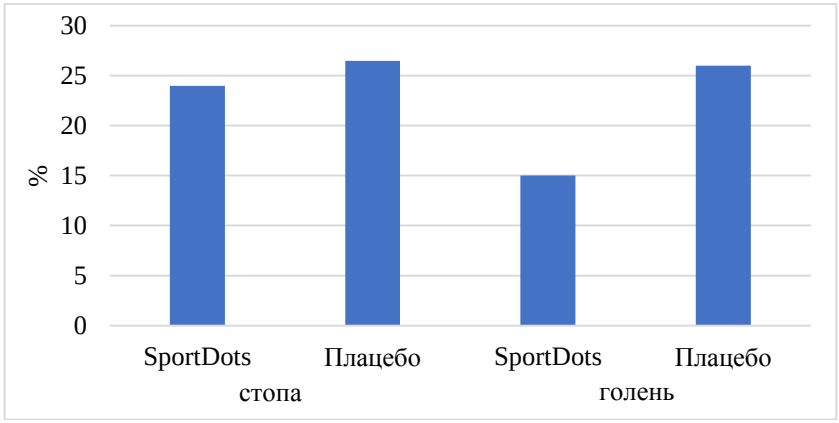


Рис. 2. Параметры венозного оттока в сегментах «стопа» и «голень» правой ноги после силовых нагрузок в экипировке SportDots и без нее (плацебо)

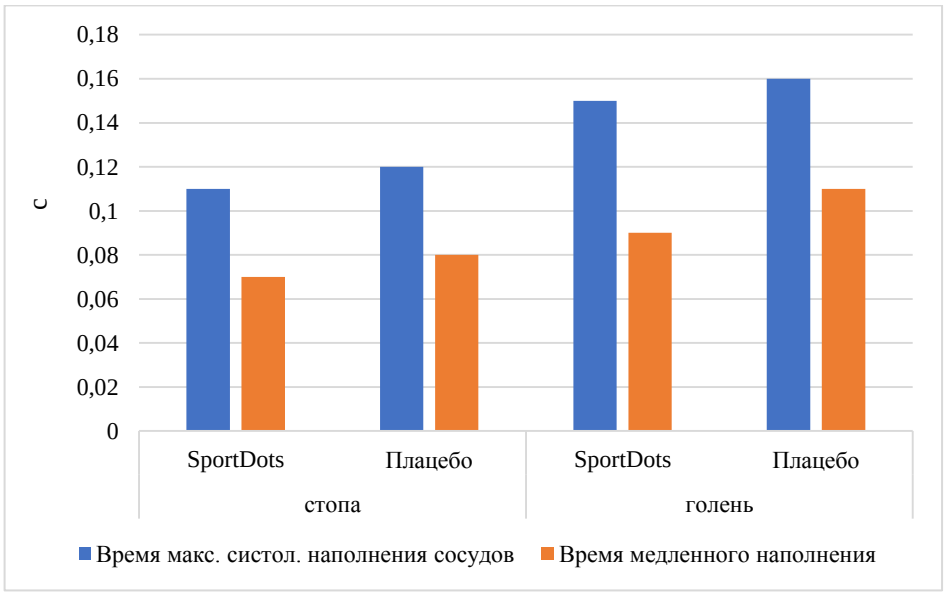


Рис. 3. Параметры времени максимального систолического наполнения сосудов и времени медленного наполнения в сегментах «стопа» и «голень» правой ноги после силовых нагрузок в экипировке SportDots и без нее (плацебо)

Купирование усталости и боли в экипировке SportDots. Экипировка SportDots не только физиологически восстанавливает ткани, но и модулирует восприятие боли через нервную систему. Механическое раздражение кожи дотами (встроенные в ткань пластины) активирует толстые А-бета нервные волокна, которые по воротной теории боли блокируют передачу болевых сигналов в спинной мозг.

Сама нагрузка в экипировке SportDots переносилась спортсменами легче: по шкале Борга тяжелая силовая нагрузка в экипировке SportDots оценивалась как «умеренно легкая» (12-12,5 баллов), а в плацебо – как «умеренная» (13 баллов).

Анализ субъективных ощущений интенсивности боли по шкале ВАШ показал, что сразу после тяжелой силовой нагрузки в спортивной экипировке SportDots интенсивность боли составляет 5-5,5 баллов, а при выполнении той же нагрузки в плацебо – 6 баллов. Через 24 и 48 часов боль полностью отсутствовала (0 баллов).

Заключение. Таким образом, использование SportDots в процессе выполнения силовой нагрузки способствует поддержанию оптимального состояния периферической гемодинамики и предотвращает развитие утомления. Максимальная силовая нагрузка с использованием SportDots оценивается легче, а мышечная боль после нагрузки меньше.

С учетом доказанной способности экипировки SportDots нормализовывать периферическую гемодинамику и ускорять

восстановительные процессы рекомендуется применение SportDots сразу после любых физических нагрузок. Это делает гетры, тайтсы и наколенники SportDots научно обоснованным, немедикаментозным инструментом для решения проблемы «восстановления ног» у марафонцев и представителей других видов спорта.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в соответствии с договором ООО «ЛЛТ» с ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России № 1Н2026 на выполнение НИР по теме «Функциональное состояние и силовые характеристики мышц нижних конечностей у спортсменов при использовании спортивной экипировки SportDots (тайтсы)».

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Financing. The study was carried out under the agreement between Long Life Technologies and the North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency No1H2026 for completion of the Research project titled “Functional state and strength characteristics of the lower limb muscles in athletes when using the SportDots sports equipment (tights)”

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The importance of recovery in resistance training microcycle construction / C.A. Sousa, M.C. Zourdos, A.G. Storey, E.R. Helms // Journal of Human Kinetics. – 2024. – Vol. 91(Spec Issue). – P. 205-223. DOI: 10.2478/hukin-2024-0015.
2. Nahon, R.L. Physical therapy interventions for the treatment of delayed onset muscle soreness (DOMS): Systematic review and meta-analysis / R.L. Nahon, J.S.S. Lopes, A.M. de Magalhães Neto // Physical Therapy in Sport. – 2021. – Vol. 52. – P. 1-12. DOI: 10.1016/j.ptsp.2021.07.005.
3. Wilke, J. Is “delayed onset muscle soreness” a false friend? The potential implication of the fascial connective tissue in post-exercise discomfort / J. Wilke, M. Behringer // International journal of molecular sciences. – 2021. – Vol. 22. – No. 17. – P. 9482. DOI: 10.3390/ijms22179482.
4. Physical therapies for delayed onset muscle soreness: a protocol for an umbrella and mapping systematic review with meta-meta-analysis / S. Wiecha, P. Posadzki, R. Prill, M. Płaszewski // Journal of Clinical Medicine. – 2024. – Vol. 13. – No. 7. – P. 2006. DOI: 10.3390/jcm13072006.
5. Effects of Far-Infrared emitting ceramic materials on recovery during 2-Week preseason of elite futsal players / R.F.H. Nunes, F.J. Cidral-Filho, L.J.F. Flores [et al.] // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2020. – Vol. 34. – No. 1. – P. 235-248. DOI: 10.1519/jsc.0000000000002733.
6. Acute physiological and psychological responses during an incremental treadmill test wearing a new upper-body sports garment with elastomeric technology / D. Janicijevic, A. Saez-Berlanga, C. Babiloni-Lopez [et al.] // Frontiers in Physiology. – 2024. – Vol. 15. – P. 1372020. DOI: 10.3389/fphys.2024.1372020.
7. Cellular mechanotransduction in health and diseases: from molecular mechanism to therapeutic targets / X. Di, X. Gao, L. Peng [et al.] // Signal transduction and targeted therapy. – 2023. – Vol. 8. – No. 1. – P. 282. DOI: 10.1038/s41392-023-01487-x.
8. A pilot study of ceramic powder Far-Infrared ray irradiation (cFIR) on physiology: observation of cell cultures and amphibian skeletal muscle / T-K. Leung, C-M. Lee, S-Y. Tsai [et al.] // The Chinese Journal of Physiology. – 2011. – Vol. 54. – No. 4. – P. 247-254. DOI: 10.4077/CJP.2011.AMM044.
9. Utilisation of Far infrared-emitting garments for optimising performance and recovery in sport: real potential or new fad? A systematic review / L. Mourot, B. Bontemps, M. Gruet [et al.] // PLoS ONE. – 2021. – Vol. 16. – No. 5. – P. e0251282. DOI: 10.1371/journal.pone.0251282.
10. Biological effect of far-infrared therapy on increasing skin microcirculation in rats / S.Y. Yu, J.H. Chiu, S.D. Yang [et al.] // Photodermatol Photoimmunol Photomed. – 2006. – Vol. 22. – No. 2. – P. 78-86. DOI: 10.1111/j.1600-0781.2006.00208.x.
11. Effects of Far infrared rays emitting clothing on recovery after an intense plyometric exercise bout applied to elite soccer players: a randomized double-blind placebo-controlled trial / I. Loturco, C. Abad, F. Nakamura [et al.] // Biology Sport. – 2016. – Vol. 33. – P. 277-283. DOI: 10.5604/20831862.1208479.
12. Far-infrared radiation stimulates platelet-derived growth factor mediated skeletal muscle cell migration through extracellular matrix-integrin signaling / D. Lee, Y. Seo, Y.W. Kim [et al.] // The Korean Journal of Physiology & Pharmacology. – 2019. – Vol. 23. – No. 2. – P. 141-150. DOI: 10.4196/kjpp.2019.23.2.141.

13. Preliminary assessment of the acute effects of Far Infrared-Emitting garments: what are the possible implications for recovery and performance / A. Bertuccioli, R. Cannataro, M. Gervasi [et al.] // Life-Basel. – 2023. – Vol. 13. – No. 10. – P. 1998. DOI: 10.3390/life13101998.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Юлия Владиславовна Корягина – доктор биологических наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий, Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, Ессентуки, e-mail: nauka@skfmba.ru.
Кирилл Юрьевич Орлов – генеральный директор, Лонг Лайф Технолоджиес, Москва, e-mail: 9031438662ok@gmail.com.
Артемий Юрьевич Дмитрак – директор по развитию, Лонг Лайф Технолоджиес, Москва, e-mail: artemiy@healthwear.pro.
Юлия Валериевна Кушнарева – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник центра медико-биологических технологий, Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, Ессентуки, e-mail: u.v.kushnareva@skfmba.ru.
Вадим Владиславович Дейнеко – кандидат биологических наук, директор по науке, Лонг Лайф Технолоджиес, e-mail: vadlen8990@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Yulia V. Koryagina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: nauka@skfmba.ru.
Kirill Yu. Orlov – General Director, Long Life Technologies LLC, Moscow, e-mail: 9031438662ok@gmail.com.
Artemy Yu. Dmitrak – Development Director, Long Life Technologies LLC, Moscow, e-mail: artemiy@healthwear.pro.
Yulia V. Kushnareva – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: u.v.kushnareva@skfmba.ru.
Vadim V. Deineko – Candidate of Biological Sciences, Science Director, Long Life Technologies LLC, Moscow, e-mail: vadlen8990@gmail.com.

Для цитирования: Оптимизация восстановительных процессов и снижение мышечной боли с помощью экипировки с технологией оксигенации в реальном времени / Ю.В. Корягина, К.Ю. Орлов, А.Ю. Дмитрак [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_9

For citation: Koryagina Yu.V., Orlov K.Yu., Dmitrak A.Yu., Kushnareva Yu.V., Deineko V.V. Real-time adjustment of recovery processes and reduction of muscle pain with oxygenation technology equipment. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_9

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_10
УДК 616-001.8-092:612.821.6

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_10
UDC 616-001.8-092:612.821.6

ОЦЕНКА ОТСРОЧЕННЫХ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ КРЫСЯТ, ПОДВЕРГНУТЫХ ОСТРОЙ НОРМОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ, В ТЕСТЕ «ОТКРЫТОЕ ПОЛЕ»

Е.В. Макарова-Горбачева[1], В.В. Леонов[2], О.Н. Павлова[2], О.Н. Гуленко[2]
[1]Частное учреждение образовательная организация высшего образования «Медицинский университет «Реавиз», г. Самара, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Перинатальная гипоксия выступает ведущим этиологическим фактором долгосрочного неврологического дефицита и инвалидизации потомства. Цель – оценить отдаленное влияние перенесенной острой нормобарической гипоксии на динамику физического развития, исследовательскую активность и уровень тревожности крысят с использованием поведенческого теста «Открытое поле». ***Методы.*** Работа выполнена на потомстве первого поколения от крыс линии Wistar, которое было разделено на 2 группы: первая – контроль, вторая – моделировали состояние недоношенной беременности человека путем воздействия острой нормобарической гипоксии на вторые постнатальные сутки. На 30-е сутки жизни крысят проводили тест «Открытое поле». ***Результаты.*** Зафиксирована глубокая деформация этологического профиля у животных обоих полов, перенесших гипоксию и угнетение когнитивного компонента ориентировочного рефлекса на фоне формирования тревожно-компульсивного статуса. ***Заключение.*** Перенесенная гипоксия приводит к формированию ювенильного гипердинамического синдрома у крыс адолесцентного возраста. Глубина выявляемых психоэмоциональных и когнитивных девиаций жестко модулируется половым диморфизмом с максимальной манифестацией признаков дезадаптации у самок.
Ключевые слова: перинатальная гипоксия, крысы, острая нормобарическая гипоксия, открытое поле.

ASSESSMENT OF DELAYED BEHAVIORAL RESPONSES IN RAT PUPS SUBJECTED TO ACUTE NORMOBARIC HYPOXIA IN THE OPEN FIELD TEST

E.V. Makarova-Gorbacheva[1], V.V. Leonov[2], O.N. Pavlova[2], O.N. Gulenko[2]
[1]Reaviz Medical University, Samara, Russia
[2]Samara State Medical University, Samara, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Perinatal hypoxia is a leading etiologic factor in long-term neurological deficit and disability in offspring. Objective: to evaluate the long-term impact of acute normobaric hypoxia on the dynamics of physical development, exploratory activity, and anxiety level in rat pups using the open field behavioral test. ***Methods.*** The study was performed on the first-generation offspring of Wistar rats, which were divided into 2 groups: Group 1 – control, Group 2 – simulated the state of human premature pregnancy by exposure to acute normobaric hypoxia on the second postnatal day. On the 30th day of life, the rat pups underwent the open field test. ***Results.*** Severe deformation of the ethological profile was recorded in animals of both sexes that had undergone hypoxia and suppression of the orienting reflex's cognitive component against the background of an anxious and compulsive state. ***Conclusions.*** Hypoxia leads to the development of juvenile hyperdynamic syndrome in adolescent rats. The severity of the psychoemotional and cognitive deviations is tightly modulated by sexual dimorphism, with the greatest manifestation of maladaptation signs in females.
Keywords: perinatal hypoxia, rats, acute normobaric hypoxia, open field.

Введение. Перинатальная гипоксия (ПГ), характеризующаяся системным дефицитом кислорода у плода в антенатальном периоде или у новорожденного в процессе родоразрешения, остается одной из центральных проблем современной педиатрии и неонатологии. Данное состояние сопряжено с высоким риском инвалидизации и

манифестацией отсроченных психоневрологических расстройств, обусловленных нарушением нормального созревания центральной нервной системы (ЦНС) [1, 2].

Несмотря на существенный прогресс в сфере реанимационной помощи, интенсивной терапии и неонатального ухода гипоксически-ишемическое поражение головного мозга в критические периоды раннего онтогенеза сохраняет статус ведущего этиологического фактора неврологического дефицита. Кислородное голодание запускает каскад патологических реакций, определяющих высокий уровень заболеваемости и ухудшение качества жизни пациентов в долгосрочной перспективе [3-5].

В основе патогенеза отдаленных последствий ПГ лежит комплекс глубоких метаболических, молекулярных и нейробиологических расстройств, в числе которых деструкция гематоэнцефалического барьера, глутаматергическая эксайтотоксичность, запуск процессов апоптоза и генерализованное нейровоспаление. Данные деструктивные процессы манифестируют в виде стойких морфофункциональных изменений архитектоники головного мозга, детерминирующих развитие сенсомоторных аномалий. В долгосрочном периоде это трансформируется в когнитивный дефицит, нарушения мнестических функций и процессов обучения, а также в поведенческую дезадаптацию и расстройства эмоционально-волевой сферы. Спектр выявляемых клинических и поведенческих фенотипов варьируется от субклинических форм и легких когнитивных дисфункций до инвалидизирующих неврологических патологий, требующих непрерывной патогенетической терапии и многолетней реабилитации [6-8].

В структуре церебральных повреждений, индуцированных ПГ, наибольшей уязвимостью обладают области, ответственные за координацию и регуляцию локомоторных функций, включая моторную кору, базальные ганглии, гиппокамп и мозжечок [9].

Клинические данные свидетельствуют, что перенесенное кислородное голодание ассоциировано со значительным уменьшением объема таламуса, ключевого ретранслятора сенсорной афферентации, а также стриатума, интегрирующего мотивационные стимулы и двигательные программы. Подобная топография повреждений указывает на системный характер нарушений процессов нейроонтогенеза [10].

Несмотря на видоспецифические хронологические различия в развитии головного мозга человека и грызунов в пренатальном и раннем постнатальном периодах между ними прослеживается фундаментальное сходство ключевых этапов нейро- и синаптогенеза [11]. На основе этих данных в настоящее время разработаны модели, в которых используются малые лабораторные животные, для изучения механизмов, лежащих в основе гипоксии у человека. Такие исследования позволяют понять механизмы патогенеза различных изменений в организме, вызванных гипоксией, и это может способствовать разработке эффективных стратегий лечения и реабилитации пациентов, перенесших ПГ [12].

Цель – исследовать отдаленное влияние перенесенной острой нормобарической гипоксии на динамику физического развития, исследовательскую активность и уровень тревожности крысят с использованием поведенческого теста «Открытое поле».

Методы и организация исследования. Эксперимент проведен на половозрелых крысах линии Wistar (30 самок, 10 самцов). Животные были разделены на две равные группы методом рандомизации. Животные содержались в виварии при стандартном доступе к воде и пище. Полученное потомство первого поколения (F1) находилось на совместном вскармливании с самками до 30-дневного возраста, после чего крысят сепарировали. Общий объем исследованной выборки потомства в контрольной группе составил 179 животных (93 самца, 86 самок), в опытной группе – 185 особей (103 самца, 82 самки).

Для воспроизведения патогенеза, характерного для недоношенной беременности у человека, в качестве повреждающего фактора использовали острую нормобарическую гипоксию (ОНГ) на вторые сутки постнатального онтогенеза крысят (P2) [13].

Экспериментальное воздействие и кондиционирование контрольной группы осуществляли в мультигазовом инкубаторе

New Brunswick Scientific «Innova CO-48 CO2» (США). Параметры газовой среды и экспозиции для воспроизведения гипоксии (8% кислорода, 92% азота, температура – 37 ºС, длительность – 2 часа) были подобраны на этапе предварительных исследований и верифицированы по данным литературы [13].

Днем рождения крысят считали нулевые сутки постнатального развития (Р0). На этапе Р2 проводили антропометрическое исследование (определение массы тела) с последующим разделением каждого помета на две эквивалентные по численности и половому диморфизму группы:

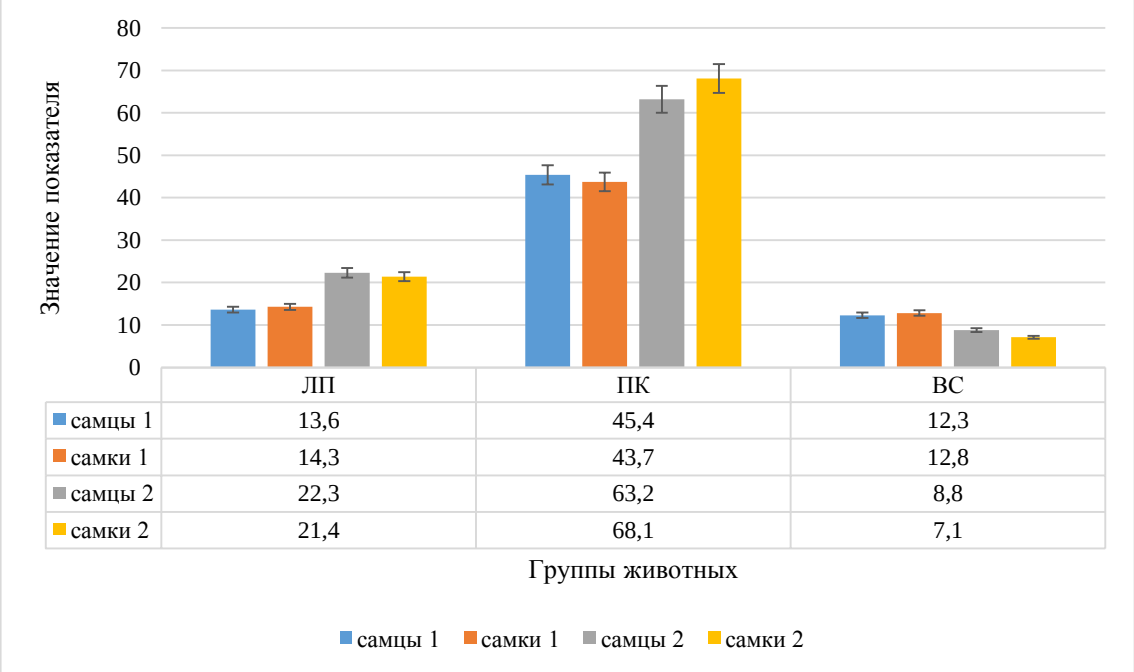
Группа 1 (контроль, n=164): 82 самца и 82 самки. Для нивелирования стрессогенного фактора, связанного с манипуляциями, животных помещали в инкубатор на 2 часа при температуре 37 ºС в условиях нормоксии (атмосферная концентрация кислорода).

Группа 2 (ОНГ, n=164): 82 самца и 82 самки. Животных подвергали сеансу острой нормобарической гипоксии путем двухчасовой экспозиции в инкубаторе со сниженным содержанием кислорода (8% O_2) при температуре 37 ºС.

Для комплексной оценки нейроповеденческого статуса, уровня тревожности и ориентировочно-исследовательской активности животных, перенесших ОНГ на этапе Р2, на 30-е сутки жизни (Р30) проведено тестирование в бесстрессорной модификации методики «Открытое поле».

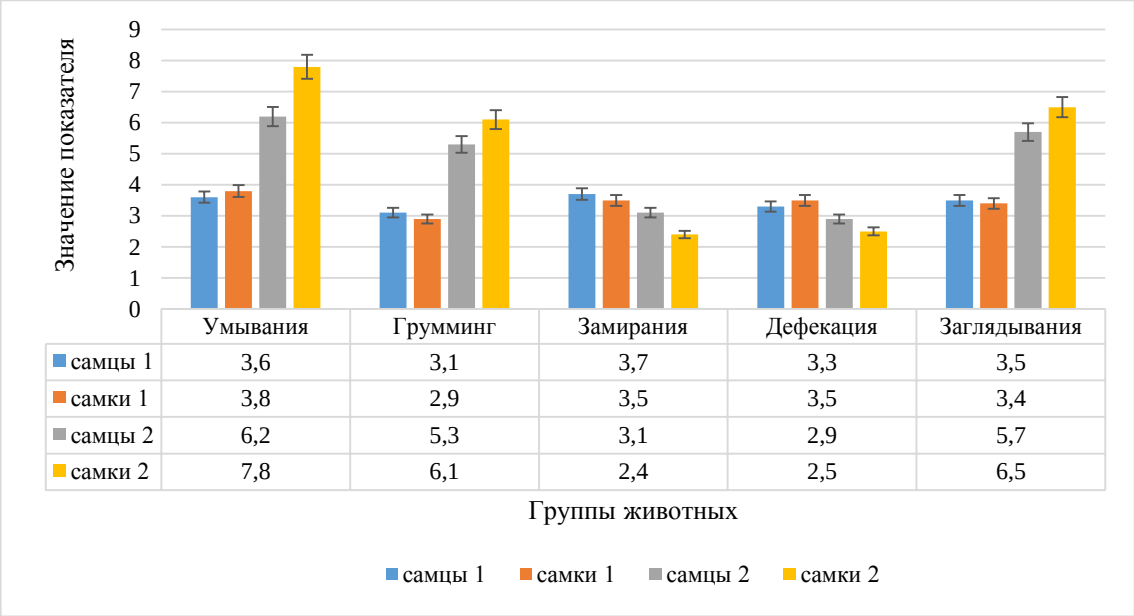
Статистическую обработку полученных массивов данных выполняли с использованием пакета программного обеспечения STATISTICA (версия 10.0.1011.0). Проверку характера распределения количественных признаков на соответствие закону нормальности осуществляли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Учитывая нормальный тип распределения исследуемых переменных, межгрупповые сравнения проводили методами одномерного и многомерного дисперсионного анализа (ANOVA/MANOVA). При обнаружении статистически значимых эффектов контролируемых факторов или их интерференции (взаимодействия) процедуру множественных сравнений реализовывали посредством пост-хок анализа с применением критерия наименьшей существенной разности Фишера (Fisher LSD test).

Результаты исследования и их обсуждение. Сравнительный анализ параметров ориентировочно-исследовательской активности крысят контрольной и опытной групп в тесте «Открытое поле» (Р30) представлен на рисунках 1-2.



	ЛП	ПК	ВС
самцы 1	13,6	45,4	12,3
самки 1	14,3	43,7	12,8
самцы 2	22,3	63,2	8,8
самки 2	21,4	68,1	7,1

Рис. 1. Дифференциация времени латентного периода (ЛП, с), числа пересеченных квадратов (ПК, кол-во раз) и вертикальных стоек (ВС, кол-во раз) у крыс контрольной и опытной групп



	Умывания	Грумминг	Замирания	Дефекация	Заглядывания
самцы 1	3,6	3,1	3,7	3,3	3,5
самки 1	3,8	2,9	3,5	3,5	3,4
самцы 2	6,2	5,3	3,1	2,9	5,7
самки 2	7,8	6,1	2,4	2,5	6,5

Рис. 2. Дифференциация времени умывания (с), груминга (с) и замирания (с), числа дефекаций (кол-во раз) и заглядываний в норки (кол-во раз) у крыс контрольной и опытной групп

Анализ пространственного поведения в тесте «Открытое поле» продемонстрировал выраженное угнетение исследовательской инициативы у животных, перенесших гипоксическое воздействие. Латентный период первого выхода в центральную зону арены у крыс обоих полов 2-й группы характеризовался значительным пролонгированием по сравнению с интактными животными: у самцов данный показатель увеличился на 64,0%, а у самок – на 49,7%.

С физиологической точки зрения увеличение времени задержки перед выходом на открытое, потенциально опасное пространство центральной зоны является классическим маркером высокого уровня тревожности, дефицита адаптационных механизмов и выраженного состояния страха (неофобии). Замедление локомоторной экспрессии в данном тесте отражает дисфункцию лимбико-ретикулярного комплекса. В частности, это указывает на повреждение нейрональных сетей гиппокампа, ответственного за пространственную ориентацию и когнитивную оценку новизны среды, а также на гиперактивацию миндалевидного тела (амигдалы) и гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы, запускающих пассивно-оборонительную поведенческую стратегию в ответ на стресс-фактор.

Многофакторный анализ верифицировал системный характер данных нарушений. Применение двухфакторного дисперсионного анализа выявило высокозначимый изолированный эффект фактора перенесенной острой нормобарической гипоксии на продолжительность латентного периода ($F_{1,328}=17,4$; $p=0,024$). В то же время изолированное влияние фактора пола животных ($F_{1,328}=1,59$; $p=0,127$), а также интерференция факторов пола и гипоксического воздействия ($F_{1,328}=6,21$; ($p=0,374$) не достигли уровня статистической значимости. Отсутствие значимого межфакторного взаимодействия свидетельствует о том, что индуцированный ОНГ дефицит исследовательской активности на этапе Р30 формируется по унифицированному типу и в равной степени манифестирует у особей обоих полов, указывая на универсальность повреждающего действия ранней гипоксии на развивающийся мозг грызунов.

В отличие от латентного периода, динамика локомоторных показателей на периферии арены продемонстрировала инвертированный характер изменений. Общее число пересеченных квадратов (горизонтальная двигательная активность) у животных обоих полов 2-й группы было существенно выше по сравнению с интактным контролем: у самцов данный параметр возрос на 39,2%, а у самок – на 55,8%.

С точки зрения функциональной нейрофизиологии феномен сочетанного

увеличения латентного периода выхода в центр и одновременного роста горизонтальной локомоции на периферии («возле стенок») не указывает на истинное усиление исследовательского интереса. Напротив, подобный поведенческий паттерн отражает фенотип хаотической гиперактивности, паники и нецеленаправленного двигательного возбуждения в ответ на стрессогенный стимул. Данное состояние обусловлено выраженным дефицитом процессов центрального торможения и нарушением регуляторного контроля со стороны стриатума и префронтальной коры, которые в норме тормозят избыточную локомоцию и оптимизируют адаптивное поведение. Повреждение гиппокампа и стриатума, вызванное острой нормобарической гипоксией в критический период синаптогенеза (P2), приводит к нарушению интеграции сенсомоторных систем. В результате животные вместо целенаправленного обследования пространства реализуют стереотипную реакцию избегания (бегства), двигаясь вдоль физических барьеров арены (выраженный феномен тигмотаксиса).

Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил детерминированность обнаруженных сдвигов перенесенной патологией. Зафиксирован статистически значимый изолированный эффект фактора воздействия ОНГ на интенсивность локомоции животных ($F_{1,328}=7,58$; $p=0,001$). При этом изолированное влияние фактора пола крыс ($F_{1,328}=0,36$; $p=0,227$), равно как и межфакторная интерференция пола и гипоксии ($F_{1,328}=2,48$; $p=0,074$), не имели статистической значимости. Это указывает на гомогенный характер формирования постгипоксической хаотичной гиперактивности у неполовозрелых особей независимо от их половой принадлежности.

Вектор изменений вертикальной составляющей двигательной активности носил характер, противоположный периферической локомоции. Суммарное число вертикальных стоек у животных обоих полов 2-й группы продемонстрировало выраженное угнетение по сравнению с показателями интактного контроля: у самцов данный параметр снизился на 28,5%, а у самок – на 44,5%. При этом был зафиксирован интергрупповой половой диморфизм внутри опытной когорты – у самок, перенесших ОНГ, количество стоек оказалось на 19,3% меньше, чем у самцов.

С позиций интегративной физиологии ЦНС вертикальные стойки (в отличие от автоматизированного горизонтального бега вдоль стен) отражают когнитивный компонент ориентировочно-исследовательского поведения, направленный на оценку трехмерного пространства и сканирование верхнего яруса новой среды. Подавление этой формы активности служит прямым индикатором выраженного психоэмоционального угнетения, дефицита внимания и снижения исследовательского потенциала.

Нейробиологическим субстратом такого дефицита является глубокое повреждение глутаматергических и дофаминергических проекций гиппокампа и теменной коры, критически уязвимых к острой кислородной депривации в раннем постнатальном онтогенезе (P2). Развивающийся в этих структурах метаболический дистресс и апоптоз нейронов приводят к преобладанию пассивно-оборонительного торможения над ориентировочным рефлексом.

Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил сложную патогенетическую структуру выявленных изменений. Был верифицирован статистически значимый изолированный эффект фактора воздействия ОНГ ($F_{1,328}=22,58$; $p=0,002$) при отсутствии прямого изолированного влияния фактора пола ($F_{1,328}=2,67$; $p=0,281$). Также был обнаружен значимый эффект сочетания факторов пола и ОНГ ($F_{1,328}=4,69$; $p=0,0,029$). Это указывает на то, что глубина постгипоксического повреждения когнитивной сферы зависит от пола животного и свидетельствует о большей уязвимости созревающих систем головного мозга самок к деструктивному действию ОНГ.

Установлено, что число умываний у крыс обоих полов 2-й группы было значимо больше по сравнению с интактными животными: у самцов на 72,2%, а у самок – на 105,3%. При этом количество умываний у самок 2-й группы превышало аналогичный показатель у самцов на 25,8%.

С позиций этологии умывания в незнакомой обстановке представляют собой классическую форму компульсивного

поведения, и триггером гиперактивации этого паттерна служит резкое нарастание уровня психоэмоционального напряжения, страха и тревожности. Наблюдаемое поведение отражает состояние дезадаптации и избыточного вегетативного сопровождения стресса, обусловленное дисфункцией лимбической системы и гиперактивацией гипоталамо-гипофизарно-адреналовой оси (ГГАО) в ответ на сенсорную перегрузку. Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил сложную многофакторную природу зафиксированных сдвигов. Был верифицирован высокозначимый изолированный эффект фактора воздействия ОНГ ($F1,328=12,81$; $p=0,003$) при отсутствии прямого изолированного влияния фактора пола ($F1,328=0,44$; $p=0,439$). В то же время математический анализ выявил мощный синергетический эффект межфакторной интерференции пола и гипоксического воздействия ($F1,328=19,57$; $p=0,021$). Наличие высокозначимого взаимодействия факторов указывает на то, что постгипоксические нарушения эмоционально-волевой сферы и механизмов совладания со стрессом (копинг-стратегий) имеют гендерно-зависимый характер. Церебральные системы самок на этапе Р2 обладают более высокой ранимостью к кислородному голоданию, что в долгосрочной перспективе (Р30) приводит к критической дестабилизации ГГАО и проявляется максимальным ростом тревожно-компульсивных проявлений по сравнению с самцами.

В полном соответствии с увеличением частоты актов умывания временные параметры груминга также претерпели существенную деформацию. Длительность груминга у животных обоих полов 2-й группы лавинообразно увеличилась по сравнению с показателями интактных животных: у самцов данный временной интервал возрос на 89,3%, а у самок – на 110,3%. Патологический сдвиг внутри опытной когорты носил полоспецифический характер – суммарная продолжительность груминга у самок, подвергнутых ранней кислородной депривации, превышала аналогичный показатель у самцов на 15,1%. С позиций системной физиологии и этологии, изолированное увеличение времени груминга свидетельствует не просто о кратковременной реакции на стресс, а о глубокой перестройке так называемого «бюджета времени» животного в новых условиях. Пролонгирование этого паттерна указывает на незавершенность и затяжной характер реакций совладания (копинга) с психоэмоциональной нагрузкой. Животные 2 группы оказываются заблокированными в состоянии компульсивного стереотипного поведения, не способные эффективно переключиться на альтернативные формы активности – локомоцию или полноценное исследование среды.

Нейробиологическим триггером стойкого затягивания актов груминга выступает хронический дисбаланс между моноаминергическими системами мозга. Перинатальный гипоксический стресс на этапе Р2 нарушает траекторию развития дофаминергических и серотонинергических проекций из ядер шва и вентральной области покрышки в стриатум и миндалевидное тело. Развивающийся дефицит серотонинергического торможения на фоне дисфункции базальных ганглиев формирует устойчивое обсессивно-подобное состояние, проявлением которого и служит избыточное время груминга.

Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил высокую статистическую строгость обнаруженных закономерностей. Выявлен значимый изолированный эффект фактора перенесенной ОНГ на временные параметры груминга ($F1,328=8,96$; $p=0,001$) при отсутствии прямого изолированного влияния фактора пола ($F1,328=0,93$; $p=0,440$). Межфакторная интерференция пола и гипоксического воздействия продемонстрировала высочайший уровень значимости ($F1,328=13,59$; $p=0,025$). Наличие столь выраженного межфакторного взаимодействия математически доказывает, что временная архитектура поведенческого ответа на стресс после ОНГ детерминирована половым диморфизмом. Менее дифференцированный к моменту повреждения (Р2) мозг самок демонстрирует максимальную уязвимость метаболических систем, что на 30-е сутки жизни манифестирует в виде наиболее жесткой фиксации на пассивно-оборонительных и тревожно-компульсивных поведенческих программах.

Наряду с трансформацией локомоторных и компульсивных паттернов существенные изменения претерпели и характеристики защитного торможения. Суммарное время замирания (фризинга) у животных обоих полов 2-й группы было достоверно меньше по сравнению с интактным контролем: у самцов данный временной интервал сократился на 16,2%, а у самок – на 31,4%. Внутри экспериментальной когорты также прослеживался отчетливый половой диморфизм – продолжительность замирания у самок 2-й группы оказалась на 22,6% меньше, чем у аналогичных самцов.

С точки зрения функциональной нейробиологии, классическая реакция фризинга в незнакомой среде служит проявлением адаптивного пассивного страха, контролируемого центральным ядром миндалевидного тела и вентральным гиппокампом. Наблюдаемое в эксперименте парадоксальное снижение времени замирания у гипоксических животных не свидетельствует об отсутствии у них страха. Напротив, в сочетании с ранее зафиксированным ростом периферического бега (тигмотаксиса) и компульсивного груминга редукция фризинга отражает срыв механизмов упорядоченного оборонительного торможения.

Характерные сдвиги под влиянием перенесенного гипоксического дистресса были обнаружены и при анализе вегетативного сопровождения поведения. Суммарное число дефекаций у животных обоих полов 2-й группы было достоверно ниже по сравнению с показателями интактного контроля: у самцов данный маркер снизился на 17,1%, а у самок – на 28,6%. При этом внутри экспериментальной когорты прослеживался отчетливый половой диморфизм – выраженность вегетативных проявлений у самок 2-й группы была на 13,8% меньше, чем у самцов.

С позиций классической психофизиологии частота дефекаций в тесте «Открытое поле» традиционно рассматривается как прямой индикатор уровня эмоциональности и страха, регулируемый преимущественно за счет активации парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС). Однако зафиксированное в эксперименте парадоксальное снижение числа болюсов у гипоксических крыс на фоне резкого нарастания других признаков тревожности (пролонгирование латентного периода, рост компульсивного груминга и хаотичной локомоции) указывает не на отсутствие эмоционального напряжения, а на качественную перестройку вегетативного баланса. Данный феномен обусловлен критическим преобладанием тонуса симпатического отдела ВНС и гиперактивацией симпато-адреналовой системы в ответ на сенсорный триггер новизны. Экстремальный выброс катехоламинов (адреналина и норадреналина) мозговым веществом надпочечников приводит к выраженному торможению моторики желудочно-кишечного тракта и спазму сфинктеров, что клинически манифестирует задержкой дефекации во время тестирования. Выявлен значимый изолированный эффект фактора перенесенной ОНГ на количество дефекаций ($F_{1,328}=15,64$; $p=0,023$) при отсутствии прямого изолированного влияния фактора пола ($F_{1,328}=1,62$; $p=0,241$). Межфакторная интерференция пола и гипоксического воздействия продемонстрировала статистически значимый эффект ($F_{1,328}=21,78$; $p=0,032$).

В отличие от дефекации, другой показатель вегетативного статуса – частота актов уринации – продемонстрировал стабильность. Число уринаций у животных обоих полов 2-й группы согласно их гендерной принадлежности не имело статистически значимых различий с показателями крыс 1-й группы, что указывает на избирательный характер модуляции висцеральных функций симпато-адреналовой системой при данном типе патологии.

Напротив, выраженная деформация этологической структуры была зафиксирована при анализе целенаправленного обследования локальных объектов среды. Число заглядываний в норки у животных обоих полов 2-й группы лавинообразно возросло по сравнению с интактными животными: у самцов данный показатель увеличился на 62,9%, а у самок – на 91,2%. При этом внутри экспериментальной когорты выявлялся умеренный, но достоверный половой диморфизм – интенсивность ориентировочных актов у самок 2-й группы превышала аналогичный параметр у самцов на 14,1%.

С позиций поведенческой физиологии заглядывание в отверстия (норки) является базовым элементом тактильного и визуального исследовательского поведения грызунов. Однако в контексте ранее обнаруженной картины (хаотическая гиперактивность на периферии, падение числа вертикальных стоек и высокий уровень тревожности) резкий рост числа заглядываний не может интерпретироваться как репрезентация истинной познавательной мотивации. Подобный феномен отражает формирование дезадаптивной поведенческой стереотипии и навязчивого повторения действий. Нейробиологическим субстратом этой дисфункции выступает повреждение стриатума и созревающих глутаматергических проекций гиппокампа, индуцированное ОНГ на этапе Р2. Нарушение интегративной функции гиппокампа приводит к неспособности животных сформировать адекватную когнитивную карту пространства и зафиксировать факт безопасности среды. В результате крысы циклически возвращаются к одним и тем же отверстиям, реализуя автоматизированный фрагментарный паттерн «заглядывания» без последующей аналитической обработки информации.

Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил сложную многофакторную детерминацию когнитивно-поведенческого сдвига. Был верифицирован статистически значимый изолированный эффект фактора воздействия ОНГ ($F_{1,328}=12,73$; $p=0,001$) при отсутствии прямого изолированного влияния фактора пола ($F_{1,328}=1,39$; $p=0,137$). Установлен значимый эффект межфакторного взаимодействия пола животных и гипоксического повреждения ($F_{1,328}=27,55$; $p=0,031$).

Экспериментальный анализ отставленных эффектов ОНГ на этапе Р30 продемонстрировал, что перенесенный в раннем неонатальном онтогенезе (Р2) гипоксический дистресс индуцирует стойкую деформацию паттернов адаптивного ответа на стресс-фактор новизны. Согласно современным представлениям, отдаленные последствия неонатальной гипоксии у грызунов носят стадийный, двухфазный характер: транзиторная психомоторная гиперактивность в препубертатном и ювенильном периодах сменяется прогрессирующей гипоактивностью и выраженным когнитивно-мнестическим дефицитом у половозрелых и стареющих животных [14, 15].

Настоящее исследование, выполненное на 30-е сутки жизни крысят, подтверждает первую – гипердинамическую – фазу данного патологического каскада. Использование бесстрессорной модификации теста «Открытое поле» позволило дифференцировать баланс между пассивно-оборонительными реакциями и экспрессией ориентировочно-исследовательской мотивации. Этологический портрет животных, подвергнутых ОНГ, характеризуется следующими ключевыми фенотипами: сочетание пролонгированного латентного периода инициации движения с последующим резким нарастанием горизонтальной активности отражает феномен локомоторного растормаживания и панического бегства на фоне выраженной неофобии; угнетение когнитивного компонента и вегетативный сдвиг за счет падения числа вертикальных стоек и времени защитного замирания; редукция фризинга, как свидетельство срыва механизмов упорядоченного центрального торможения и падение числа дефекаций на фоне явного психоэмоционального дистресса как феномен экстремального симпатического овердрайва и этот симптомокомплекс жестко модулируется половым диморфизмом с максимальным угнетением показателей у женских особей; формирование тревожно-компульсивного статуса за счет роста частоты и длительности актов груминга, а также числа заглядываний в норки с селективно более критическим проявлением у самок.

Таким образом, регистрируемое в тесте «Открытое поле» нарастание горизонтальной двигательной активности у животных обоих полов, перенесших гипоксию, служит эквивалентом дезадаптивной хаотичной гиперактивности в новых условиях среды.

Формирование сочетанного дефицита центрального торможения и когнитивного контроля вовлекает комплекс сложноорганизованных макросистем головного мозга. В норме программирование и интеграция двигательного акта осуществляются при реципрокном взаимодействии префронтальной коры, дорсального

стриатума, гиппокампа и вентрального стриатума [16].

Перенесенный на этапе Р2 эпизод ОНГ приходится на критическое окно синаптогенеза и созревания интернейронов. Возникающий метаболический ишемический дистресс нарушает траекторию формирования ГАМК-ергических и моноаминергических (дофаминовых и серотониновых) проекций между данными структурами. Развивающийся в долгосрочной перспективе дисбаланс между активирующими (глутаматергическими) и ингибирующими (ГАМК-ергическими) влияниями в корково-стриато-паллидарных петлях лежит в основе растормаживания моторных программ и неспособности животных оптимизировать свое поведение в стрессогенной обстановке.

Обнаруженный в настоящей работе феномен постгипоксического локомоторного растормаживания демонстрирует высокую степень консистентности с результатами независимых исследований. В частности, зафиксированная нами хаотичная гиперактивность в тесте «Открытое поле» согласуется с данными авторов, индуцировавших неонатальную гипоксию у мышей [17], неонатальную аноксию у крыс [18], а также моделировавших гипоксически-ишемическое поражение головного мозга у грызунов [19]. В указанных работах также верифицировано долгосрочное нарастание горизонтальной локомоции, манифестирующее независимо от половой принадлежности животных.

Напротив, в ряде других экспериментальных дизайнов прослеживается вариативность этологического ответа. Так, при использовании односторонней фокальной модели (перевязка левой сонной артерии с последующей гипоксической экспозицией) рост горизонтальной двигательной активности регистрировался исключительно у самцов [16].

Более того, полученные нами результаты вступают в очевидное противоречие с моделью глобальной асфиксии при кесаревом сечении, авторы которой задокументировали тотальное угнетение как локомоторной, так и ориентировочно-исследовательской активности потомства [20].

Подобная гетерогенность поведенческих фенотипов в литературе имеет четкое патофизиологическое обоснование. Направленность и выраженность отставленных эффектов жестко детерминированы типом гипоксического воздействия (острая нормобарическая гипоксия, ишемия-гипоксия или глобальная асфиксия), его длительностью, а также степенью зрелости церебральных структур на момент повреждения. В отличие от тяжелой гипоксии-ишемии или тотальной асфиксии, индуцирующих массивный некроз нейронов коры со стойким угнетением функций ЦНС, изолированная острая нормобарическая гипоксия на этапе Р2 действует более селективно. Она запускает преимущественно синаптическую перестройку и апоптоз регуляторных ГАМК-ергических интернейронов, что фенотипически проявляется не параличом локомоции, а срывом тормозных процессов и развитием гипердинамического синдрома.

Важнейшим достоинством используемой нами модели является ее высокая трансляционная значимость. Выявленные паттерны поведения грызунов обнаруживают прямые патогенетические параллели с данными клинических исследований. В педиатрической практике доказано, что перенесенные интра- и неонатальные ишемические-гипоксические состояния (прежде всего, асфиксия новорожденных), респираторный дистресс-синдром и преэклампсия матери служат ведущими факторами риска формирования синдрома дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ) у детей в возрасте от 5 до 11 лет [21].

Обнаруженная нами ювенильная гиперактивность, сопряженная с дефицитом внимания (падением числа вертикальных стоек) и стереотипиями (ростом заглядываний в норки), выступает эквивалентом клинического фенотипа СДВГ, формирующегося в детском возрасте вследствие перинатального дефицита кислорода.

Тесная корреляция между манифестацией кратковременных нейрофункциональных дефектов в раннем онтогенезе грызунов и развитием у них долгосрочных когнитивно-поведенческих расстройств подчеркивает валидность фундаментальных экспериментов. Детальный мониторинг этологического аспекта животных после

гипоксического стресса позволяет верифицировать скрытые молекулярно-клеточные механизмы патогенеза, экстраполяция которых способна пролить свет на природу аналогичных расстройств у человека. Продолжение изысканий в данном направлении критически важно для идентификации новых терапевтических мишеней, разработки прогностических маркеров ранней диагностики и создания персонализированных реабилитационных стратегий для детей, перенесших перинатальную гипоксию.

Заключение. Перенесенная на этапе раннего неонатального онтогенеза (P2) острая нормобарическая гипоксия выступает центральным триггером стойкой деформации поведенческих паттернов у крыс адолесцентного возраста (P30). В тесте «Открытое поле» у животных зафиксировано нарастание горизонтальной локомоции у животных обоих полов, что отражает не истинную исследовательскую мотивацию, а формирование ювенильного гипердинамического синдрома и развитие этой дезадаптивной реакции обусловлено ишемическим дистрессом в критическое окно синаптогенеза, что приводит к селективному апоптозу ГАМК-ергических интернейронов и нарушению нисходящего тормозного контроля со стороны префронтальной коры, дорсального стриатума и гиппокампа.

Индуцированный гипоксией дисбаланс между активирующими глутаматергическими и ингибирующими влияниями в корково-стриарных петлях приводит к сочетанному срыву защитного торможения (редукции фризинга), падению когнитивного поиска (снижению числа вертикальных стоек) и фиксации животных на тревожно-компульсивных программах (росту персеверативных заглядываний в норки и смещенного груминга). Параллельно зафиксированное падение числа дефекаций на фоне общей поведенческой паники верифицирует феномен экстремального симпатического овердрайва и катехоламинового блока перистальтики желудочно-кишечного тракта из-за дисфункции вегетативных центров гипоталамуса. При этом глубина психоэмоционального и когнитивного дефицита жестко модулируется фактором полового диморфизма: по данным двухфакторного дисперсионного анализа, созревающие регуляторные системы самок обладают селективно более низкой резистентностью к ОНГ, что проявляется максимальной манифестацией поведенческих девиаций по сравнению с самцами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование влияния перинатальной гипоксии на физическое и сенсомоторное развитие крысят / Н.Н. Федотова, О.Н. Павлова, О.Н. Гуленко [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 1(31). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_18.
2. Нарушения вследствие перинатальной гипоксии поведенческой и гормональной стресс-реакций крыс адолесцентного возраста и их коррекция новым производным ГАМК / Н.Э. Ордян, В.К. Акулова, С.Г. Пивина [и др.] // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 2019. – Т. 55. – № 1. – С. 59-64. DOI: 10.1134/S0044452919010091.
3. Piesova, M. Impact of perinatal hypoxia on the developing brain / M. Piesova, M. Mach // Physiological Research. – 2020. – Vol. 69(2). – P. 199-213. DOI: 10.33549/physiolres.934198.
4. Maternal separation prior to neonatal hypoxia-ischemia: Impact on emotional aspects of behavior and markers of synaptic plasticity in hippocampus / I. Markostamou, A. Ioannidis, E. Dandi [et al.] // International Journal of Developmental Neuroscience. – 2016. – Vol. 52. – P. 1-12. DOI: 10.1016/j.ijdevneu.2016.04.002.
5. Rocha-Ferreira, E. Plasticity in the Neonatal Brain following Hypoxic-Ischaemic Injury / E. Rocha-Ferreira, M. Hristova // Neural Plasticity. – 2016. – No. 2016. – P. 4901014. DOI: 10.1155/2016/4901014.
6. Факторы риска развития постнатальной гипотрофии у маловесных новорожденных, подверженных перинатальной гипоксии / Н.Ф.К. Панахова, А.И.К. Адилова, Х.У.К. Дунямалыева, П.А.К. Оруджева // Forcipe. – 2022. – Т. 5. – № S2. – С. 392.
7. Абдулаева, Л.М. Влияние хронической гипоксии на формирование перинатальных поражений ЦНС у детей различного гестационного возраста / Л.М. Абдулаева // Актуальные проблемы педиатрии и детской хирургии : материалы V научно-практической конференции с международным участием, 07-08 июня 2019 г. – Махачкала, 2019. – С. 73-74.
8. Неврологические синдромы при нарушениях развития детей, перенесших перинатальную гипоксию / О.Н. Краснорукая, Д.Ю. Бугримов, Ю.А.

Котова, Н.В. Страхова // Российский педиатрический журнал. – 2020. – Т. 23. – № 5. – С. 299-303.
9. Субанова, А.И. Влияние гипоксии на перинатальный и постнатальный период (литературный обзор) / А.И. Субанова // Вестник Ошского государственного университета. – 2022. – № 4. – С. 29-39. DOI: 10.52754/16947452_2022_4_29.
10. Хохлов, Н.А. Влияние перинатальной гипоксии на нейрокогнитивное развитие детей и подростков / Н.А. Хохлов // Cognitive Neuroscience – 2021: материалы международного форума, 2-3 декабря 2021 г. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2022. – С. 32-35.
11. Timetables of neurogenesis in the human brain based on experimentally determined patterns in the rat / S.A. Bayer, J. Altman, R.J. Russo, X. Zhang // Neurotoxicology. – 1993. – Vol. 14(1). – P. 83-144.
12. Graaf-Peters, V.B. de Ontogeny of the human central nervous system: What is happening when? / V.B. de Graaf-Peters, M. Hadders-Algra // Early Human Development. – 2006. – Vol. 82. – P. 257-266. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2005.10.013.
13. Development of a postnatal 3-day-old rat model of mild hypoxic-ischemic brain injury / A. Stadlin, A. James, R. Fiscus [et al.] // Brain Research. – 2003. – Vol. 993(1-2). – P. 101-110. DOI: 10.1016/j.brainres.2003.08.058.
14. Perinatal asphyxia, hyperthermia and hyperferremia as factors inducing behavioural disturbances in adulthood: a rat model / M. Caputa, J. Rogalska, K. Wentowska, A. Nowakowska // Behavioural Brain Research. – 2005. – Vol. 163(2). – P. 246-256. DOI: 10.1016/j.bbr.2005.05.015.
15. Stress-induced behaviour in juvenile rats: effects of neonatal asphyxia, body temperature and chelation of iron / J. Rogalska, M. Caputa, K. Wentowska, A. Nowakowska // Behavioural Brain Research. – 2004. – Vol. 154(2). – P. 321-329. DOI: 10.1016/j.bbr.2004.02.020.
16. Lateralized and sex-dependent behavioral and morphological effects of unilateral neonatal cerebral hypoxia-ischemia in the rat / N.S. Arteni, L.O. Pereira, A.L. Rodrigues [et al.] // Behavioural Brain Research. – 2010. – Vol. 210(1). – P. 92-98. DOI: 10.1016/j.bbr.2010.02.015.
17. Changes of inflammatory cytokines and neurotrophins emphasized their roles in hypoxic-ischemic brain damage / Y. Wang, M. Cao, A. Liu [et al.] // International Journal of Neuroscience. – 2013. – Vol. 123(3). – P. 191-195. DOI: 10.3109/00207454.2012.744755.
18. Neonatal anoxia induces transitory hyperactivity, permanent spatial memory deficits and CA1 cell density reduction in developing rats / M.E. Dell'Anna, S. Calzolari, M. Molinari [et al.] // Behavioural Brain Research. – 1991. – Vol. 45(2). – P. 125-134. DOI: 10.1016/s0166-4328(05)80078-6.
19. Neurological reflexes and early motor behavior in rats subjected to neonatal hypoxic-ischemic injury / A. Lubics, D. Reglodi, A. Tamás [et al.] // Behavioural Brain Research. – 2005. – Vol. 157(1). – P. 157-165. DOI: 10.1016/j.bbr.2004.06.019.
20. Long-lasting effects of perinatal asphyxia on exploration, memory and incentive downshift / P. Galeano, E. Blanco Calvo, D. Madureira de Oliveira [et al.] // International Journal of Neuroscience. – 2011. – Vol. 29(6). – P. 609-619. DOI: 10.1016/j.ijdevneu.2011.05.002.
21. In utero exposure to ischemic-hypoxic conditions and attention-deficit/hyperactivity disorder / D. Getahun, G.G. Rhoads, K. Demissie [et al.] // Pediatrics. – 2013. – Vol. 131(1). – P. e53-e61. DOI: 10.1542/peds.2012-1298.

REFERENCES

1. Fedotova N.N., Pavlova O.N., Gulenko O.N. et al. Effect of perinatal hypoxia on physical and sensorimotor development of rats. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 1(31). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_18. (in Russ.)
2. Ordyan N.E., Akulova V.K., Pivina S.G. et al. Perinatal hypoxia-induced impairments of behavioral and hormonal stress responses in rats and their correction by a novel GABA derivative. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 64-70. (in Russ.)
3. Piesova M., Mach M. Impact of perinatal hypoxia on the developing brain. *Physiol. Res*., 2020, vol. 69(2), pp. 199-213. DOI: 10.33549/physiolres.934198.
4. Markostamou I., Ioannidis A., Dandi E. et al. Maternal separation prior to neonatal hypoxia-ischemia: Impact on emotional aspects of behavior and markers of synaptic plasticity in hippocampus. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 2016, vol. 52, pp. 1-12. DOI: 10.1016/j.ijdevneu.2016.04.002.
5. Rocha-Ferreira E., Hristova M. Plasticity in the Neonatal Brain following Hypoxic-Ischaemic Injury. *Neural Plasticity*, 2016, no. 2016, p. 4901014. DOI: 10.1155/2016/4901014.
6. Panakhova N.F.K., Adilova A.I.K., Dunyamalyeva H.U.K., Orujeva P.A.K. Risk factors for postnatal hypotrophy in low-weight newborns exposed to perinatal hypoxia. *Forcipe*, 2022, vol. 5, no. S2, p. 392. (in Russ.)
7. Abdulayeva L.M. The effect of chronic hypoxia on the formation of perinatal CNS lesions in children of different gestational age. Current problems of pediatrics and pediatric surgery. Materials of the V scientific and practical conference with international participation. Makhachkala, 2019. pp. 73-74. (in Russ.)
8. Krasnorutskaya O.N., Bugrimov D.Yu., Kotova Yu.A., Strakhova N.V. Neurological syndromes in developmental disorders of children who have suffered from perinatal hypoxia. *Russian Pediatric Journal*, 2020, vol. 23, no. 5, pp. 299-303. (in Russ.)
9. Subanova A.I. Influence of hypoxia on the perinatal and post-natal period (literature review). *Bulletin of Osh State University*, 2022, no. 4, pp. 29-39. DOI: 10.52754/16947452_2022_4_29. (in Russ.)

10. Khokhlov N.A. The influence of perinatal hypoxia on the neurocognitive development of children and adolescents. Cognitive Neuroscience – 2021. Materials of the international forum. Ekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 2022. pp. 32-35. (in Russ.)
11. Bayer S.A., Altman J., Russo R.J., Zhang X. Timetables of neurogenesis in the human brain based on experimentally determined patterns in the rat. *Neurotoxicology*, 1993, vol. 14(1), pp. 83-144.
12. Graaf-Peters V.B., de Hadders-Algra M. Ontogeny of the human central nervous system: What is happening when? *Early Hum. Dev*, 2006, vol. 82(4), pp. 257-266. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2005.10.013.
13. Stadlin A., James A., Fiscus R. et al. Development of a postnatal 3-day-old rat model of mild hypoxic-ischemic brain injury. *Brain Res*, 2003, vol. 993(1-2), pp. 101-110. DOI: 10.1016/j.brainres.2003.08.058.
14. Caputa M., Rogalska J., Wentowska K., Nowakowska A. Perinatal asphyxia, hyperthermia and hyperferremia as factors inducing behavioural disturbances in adulthood: A rat model. *Behav. Brain Res*, 2005, vol. 163(2), pp. 246-256. DOI: 10.1016/j.bbr.2005.05.015.
15. Rogalska J., Caputa M., Wentowska K., Nowakowska A. Stress-induced behaviour in juvenile rats: Effects of neonatal asphyxia, body temperature and chelation of iron. *Behav. Brain Res*, 2004, vol. 154(2), pp. 321-329. DOI: 10.1016/j.bbr.2004.02.020.
16. Arteni N.S., Pereira L.O., Rodrigues A.L. et al. Lateralized and sex-dependent behavioral and morphological effects of unilateral neonatal cerebral hypoxia-ischemia in the rat. *Behav. Brain Res*, 2010, vol. 210(1), pp. 92-98. DOI: 10.1016/j.bbr.2010.02.015.
17. Wang Y., Cao M., Liu A. et al. Changes of inflammatory cytokines and neurotrophins emphasized their roles in hypoxic-ischemic brain damage. *Int. J. Neurosci*, 2013, vol. 123(3), pp. 191-195. DOI: 10.3109/00207454.2012.744755.
18. Dell'Anna M.E., Calzolari S., Molinari M., Iuvone L., Calimici R. Neonatal anoxia induces transitory hyperactivity, permanent spatial memory deficits and CA1 cell density reduction in developing rats. *Behav. Brain Res*, 1991, vol. 45(2), pp. 125-134. DOI: 10.1016/s0166-4328(05)80078-6.
19. Lubics A., Reglodi D., Tamás A. et al. Neurological reflexes and early motor behavior in rats subjected to neonatal hypoxic-ischemic injury. *Behav. Brain Res*, 2005, vol. 157(1), pp. 157-165. DOI: 10.1016/j.bbr.2004.06.019.
20. Galeano P., Blanco Calvo E., Madureira de Oliveira D. Long-lasting effects of perinatal asphyxia on exploration, memory and incentive downshift. *Int. J. Dev. Neurosci*, 2011, vol. 29(6), pp. 609-619. DOI: 10.1016/j.ijdevneu.2011.05.002.
21. Getahun D., Rhoads G.G., Demissie K. et al. In utero exposure to ischemic-hypoxic conditions and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Pediatrics*, 2013, vol. 131(1), pp. e53-61. DOI: 10.1542/peds.2012-1298.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Екатерина Валерьевна Макарова-Горбачева – преподаватель кафедры медико-биологических дисциплин Медицинского университета «Реавиз», Самара, ORCID: 0009-0009-8107-1188.
Ольга Николаевна Павлова – доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой физиологии, Самарский государственный медицинский университет, Самара, e-mail: casiopeya13@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8055-1958.
Виктор Валериевич Леонов – кандидат медицинских наук, доцент кафедры физиологии, Самарский государственный медицинский университет, Самара, e-mail: v.v.leonov@samsmu.ru, ORCID: 0000-0003-0813-9552.
Ольга Николаевна Гуленко – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физиологии, Самарский государственный медицинский университет, Самара, e-mail: gulenko_ol@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6338-7095.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Ekaterina V. Makarova-Gorbacheva – Lecturer of the Department of Medical and Biological Disciplines, Reaviz Medical University, Samara, ORCID: 0009-0009-8107-1188.
Olga N. Pavlova – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physiology, Samara State Medical University, Samara, e-mail: casiopeya13@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8055-1958.
Viktor V. Leonov – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology, Samara State Medical University, Samara, e-mail: v.v.leonov@samsmu.ru, ORCID: 0000-0003-0813-9552.
Olga N. Gulenko – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology, Samara State Medical University, Samara, e-mail: gulenko_ol@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6338-7095.

Для цитирования: Оценка отсроченных поведенческих реакций крысят, подвергнутых острой нормобарической гипоксии, в тесте «Открытое поле» / Е.В. Макарова-Горбачева, В.В. Леонов, О.Н. Павлова, О.Н. Гуленко // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_10

For citation: Makarova-Gorbacheva E.V., Leonov V.V., Pavlova O.N., Gulenko O.N. Assessment of delayed behavioral responses in rat pups subjected to acute normobaric hypoxia in the open field test. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_10

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_11
УДК 612.39 + 159.91

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_11
UDC 612.39 + 159.91

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДИКТОРЫ ЖИРОВОЙ МАССЫ ТЕЛА У СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ИНСТИТУТА СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ

В.П. Мальцев, А.А. Говорухина
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Взаимосвязь пищевого поведения и пищевых привычек с развитием ожирения подтверждена многими исследователями. Цель – изучение психологических предикторов жировой массы тела у студентов медицинского института в возрасте 19-20 лет с учетом половых различий. ***Методы.*** Применяли биоимпедансный метод для оценки жирового компонента массы тела, а также опросники для оценки особенностей пищевого поведения и принятия собственного тела у 74 студентов медицинского института. Статистический анализ выполнен методом множественной линейной регрессии. ***Результаты.*** Установлено, что психологические факторы объясняют 65% дисперсии жировой массы. Выявлены выраженные половые различия. Значимые показатели у юношей – «Оценка веса» (B=6,38) и «Ориентация на внешность» (B=3,47), у девушек – «Оценка веса» (B=9,34) и «Принятие тела» (B=2,90). ***Заключение.*** Программы профилактики ожирения на Севере должны учитывать половую специфику психологических факторов, детерминирующих жировой компонент массы тела.
Ключевые слова: жировая масса тела, психологические предикторы, студенты-медики, пищевое поведение, принятие тела, Северный регион.

PSYCHOLOGICAL PREDICTORS OF BODY FAT MASS IN THE MIDDLE OB MEDICAL INSTITUTE STUDENTS

V.P. Maltsev, A.A. Govorukhina
Surgut State University, Surgut, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The relationship between eating behavior and eating habits with the development of obesity has been confirmed by many researchers. Objective – to study the psychological predictors of body fat mass in medical institute students aged 19-20, taking into account gender differences. ***Methods.*** We used bioimpedance analysis to assess the fat component of body mass, as well as questionnaires to evaluate eating behavior and body acceptance in 74 medical institute students. We also carried out statistical analysis using multiple linear regression. ***Results.*** Psychological factors explain 65% of the fat mass variance. We have also revealed pronounced gender differences. Significant indicators for the male students were “weight assessment” (B=6.38) and “appearance-oriented” (B=3.47), while for the female students – “weight assessment” (B=9.34) and “body acceptance” (B=2.90). ***Conclusion.*** Obesity prevention programs in the North should take into account the gender specificity of psychological factors determining the fat component of body mass.
Keywords: body fat mass, psychological predictors, medical students, eating behavior, body acceptance, the Northern region.

Введение. Распространенность ожирения неуклонно растет во всем мире, в том числе и в Российской Федерации [1]. Ожирение рассматривается не только как самостоятельное заболевание, но и как значимый фактор «метаболического синдрома», определяющий повышенный риск сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета 2 типа и других хронических неинфекционных болезней [2].

Физиологический механизм регуляции массы тела обусловлен взаимодействием центральных структур (гипоталамус) и периферических гуморальных стимулов (лептина, грелина, инсулина, холецистокинина и др.) [3]. Нарушение баланса между стимулами голода и насыщения приводит к хроническому положительному энергетическому балансу и накоплению жировой массы. Согласно теории поведенческой предрасположенности к ожирению, генетически детерминированные различия в аппетитных чертах (пищевой реактивности и чувствительности к насыщению) определяют индивидуальную уязвимость к «обесогенной» среде. В работе [4] показано,

что у детей высокая пищевая реактивность и низкая чувствительность к насыщению ассоциированы с повышенной жировой массой. Для количественного измерения «аппетитных черт» у взрослых разработан опросник AEBQ (Adult Eating Behavior Questionnaire – Опросник пищевого поведения) [5], русскоязычная версия которого прошла валидацию и продемонстрировала хорошую внутреннюю согласованность [6]. При этом, как отмечено в исследовании [7], значимую роль в регуляции пищевого поведения занимает самовосприятие собственного тела (в частности, оценка собственного веса и степень принятия тела).

Студенческий возраст характеризуется переходом к самостоятельному образу жизни и сопровождается изменением режима питания. Несмотря на то, что студенты медицинских вузов зачастую осведомлены о факторах риска нарушения питания, они также демонстрируют сопоставимую с общей популяцией частоту избыточной массы тела, что указывает на необходимость выявления ранних предикторов накопления жировой ткани. При этом студенческая молодежь, особенно будущие врачи, представляет собой группу повышенного внимания в связи с высокими психоэмоциональными нагрузками, нерациональным питанием и снижением физической активности [8]. Особого внимания заслуживают студенты, проживающие в гипокомфортных климатогеографических условиях Среднего Приобья, где холодовой стресс и специфический световой режим могут дополнительно модулировать пищевое поведение и энергетический обмен [9].

Цель исследования – изучение психологических предикторов жировой массы тела у студентов медицинского института в возрасте 19-20 лет с учетом половых различий.

Методы и организация исследования. В исследовании приняли участие 74 студента медицинского института Сургутского государственного университета (25 юношей и 49 девушек), средний возраст – 19,4±0,7 лет. Все обследуемые подписывали информированное согласие на участие в исследовании в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.

Оценку содержания жировой массы тела (ЖМ, %) провели с помощью медицинского прибора весов-анализаторов состава тела Tanita BC-601 в модификации для скринингового применения (Япония, Сертификат соответствия № РОСС JP.ME77.B08130). Для оценки пищевого поведения и отношения к телу применялись три стандартизированных опросника: AEBQ (8 субшкал), предназначенного для измерения широкого спектра особенностей аппетита у взрослых; укороченную версию MBSRQ (Multidimensional Body-Self Relations Questionnaire – мультимодальный опросник отношения к собственному телу, 5 шкал); BAS-2 (Body Appreciation Scale-2 – шкала принятия тела). Все психологические переменные были введены в регрессионные модели как непрерывные предикторы.

Статистический анализ выполнен в Statistica 6.0 методом множественной линейной регрессии. Сначала построили общую модель на всех 74 участниках с включением 14 психологических предикторов, зависимой переменной во всех моделях служил процент жировой массы. Далее построены отдельные модели для юношей и девушек с четырьмя ключевыми переменными. Оценивались стандартизованные (Beta) и нестандартизованные (B) коэффициенты регрессии, уровень значимости p и коэффициент детерминации R^2. Критический порог значимости считали при $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ регрессионной модели общей выборки (n=74) выявил, что психологические переменные объясняют 65% дисперсии жировой массы ($R^2=0,65$; при $p<0,001$). Из 14 предикторов статистически значимыми оказались четыре: «Оценка собственного веса» (B=9,26; Beta=0,72; $p<0,001$), «Ориентация на внешность» (B=5,54; Beta=0,36; $p<0,001$), «Принятие тела» (B=4,32; Beta=0,39; $p=0,021$) и «Чувство насыщения» (B=3,09; Beta=0,23; $p=0,032$). Остальные десять переменных не достигли порога статистической значимости.

Для оценки межполовых различий были построены регрессионные модели для юношей и девушек с использованием вышеобозначенных статистически значимых психологических предикторов. У юношей (n=25)

модель объяснила 51,4% дисперсии жировой массы (при p=0,005), причем значимыми оказались только два показателя – «Оценка собственного веса» (B=6,38; Beta=0,73; p<0,001) и «Ориентация на внешность» (B=3,47; Beta=0,35; p=0,049). «Принятие тела» и «Чувство насыщения» у них значимости не достигли (p=0,186 и p=0,188 соответственно), хотя и были направлены в ту же сторону. У девушек (n=49) модель объяснила 55,2% дисперсии (p<0,001) при значимых предикторах «Оценка собственного веса» (B=9,34; Beta=0,81; p<0,001) и «Принятие тела» (B=2,90; Beta=0,282; p=0,017). При этом показатели «Ориентация на внешность» и «Чувство насыщения» оказались статистически незначимыми (p=0,133 и p=0,575).

Полученные данные свидетельствуют о том, что психологические характеристики объясняют более половины дисперсии жировой массы у студентов-медиков 19-20 лет. При этом значимыми оказались не столько типы пищевых нарушений, сколько когнитивно-оценочные конструкты – оценка собственного веса, ориентация на внешность, принятие тела. Это может указывать на то, что у относительно здоровых студентов без клинически выраженного ожирения ведущую роль играют субъективные представления о теле, а не сформировавшиеся расстройства пищевого поведения. В крупном исследовании на 935 студентах-медиках были выявлены корреляции между жировой массой и частотой употребления кондитерских изделий, а также зависимость индекса массы тела (ИМТ) от типа пищевого поведения [10]. Авторы работы подчеркивают необходимость комплексной профилактики нутритивных нарушений. Наши данные дополняют эти выводы, указывая на конкретные психологические компоненты – коррекцию завышенной самооценки веса и снижение навязчивой ориентации на внешность, прежде всего у юношей.

Следует также обратить внимание на расхождение с результатами валидационного исследования русскоязычной версии AEBQ, в котором субшкалы «Эмоциональное переедание» и «Удовольствие от еды» демонстрировали значимые связи с ИМТ [6]. В нашей выборке ни одна из этих субшкал значимости не достигла. Это расхождение объясняется рядом методологических различий: в качестве зависимой переменной мы использовали процент жировой массы, а не ИМТ; выборка отличалась меньшим объемом, более узким возрастным диапазоном и специфическими климатическими условиями. Кроме того, в цитируемой работе [6] корреляции оценивались на уровне тенденции (p<0,10), что само по себе указывает на низкую стабильность этих связей.

Отдельного рассмотрения заслуживает парадоксальный результат по субшкале «Чувство насыщения» (высокий балл по ней предполагает хорошее распознавание сигналов сытости и, согласно логике инструмента, должен быть ассоциирован с меньшей массой тела). Однако в общей модели нами получен положительный коэффициент (B=3,09; p=0,032), а в раздельных моделях по полу этот предиктор не достиг значимости. Наиболее вероятным объяснением является систематическая ошибка восприятия вопросов: некоторые утверждения шкалы могли интерпретироваться студентами двусмысленно, как признак «хорошего аппетита», а не быстрого насыщения. Поскольку адаптация AEBQ для русскоязычной популяции завершена лишь в 2025 году, дополнительная валидация инструмента в данной возрастной и климатогеографической группе представляется необходимой.

Высокая предсказательная сила субъективной оценки собственного веса (Beta до 0,81) укладывается в нейроэндокринную концепцию ожирения как результата дисбаланса лептиновой и грелиновой сигнализации. Вероятно, этот конструкт является интегральным психологическим коррелятом физиологического дисбаланса, отражающим не только социокультурное давление, но и реальные интероцептивные сигналы [11]. Различия между полами вполне объяснимы: ориентация на внешность у юношей, вероятно, связана с переживаниями по поводу несоответствия мускульному идеалу, тогда как положительная связь принятия тела с жировой массой у девушек отражает то, что женщины, принимающие свое тело, реже прибегают к жестким ограничительным

диетам, что позволяет массе оставаться в естественном, физиологически более высоком диапазоне. Это согласуется с концепцией позитивного образа тела (BAS-2) и подчеркивает, что принятие тела не является прямым путем к снижению веса, однако способствует психологическому благополучию.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило, что психологические факторы, прежде всего субъективная оценка собственного веса, являются значимыми предикторами жировой массы у студентов-медиков, проживающих в климатических условиях Севера. Структура этих взаимосвязей имеет выраженные половые различия: у юношей ключевую роль играет ориентация на внешность, у девушек – принятие тела. Парадоксальный результат по шкале «Чувство насыщения» указывает на возможные трудности в понимании вопросов и необходимость дополнительной валидации AEBQ в данной группе. Практически это означает, что программы коррекции массы тела у молодежи на Севере должны разрабатываться с учетом гендерной специфики: для юношей – работа с реалистичной самооценкой веса и снижением перфекционизма в отношении внешности, для девушек – укрепление принятия тела и смещение акцента с жестких диет на физическую активность и сбалансированное питание.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сытая, Ю.С. Эпидемиологические особенности ожирения и сахарного диабета 2 типа в Российской Федерации / Ю.С. Сытая, А.Я. Миндлина // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. – 2024. – Т. 23. – № 4. – С. 71-86. DOI: 10.31631/2073-3046-2024-23-4-71-86.

2. Вербовой, А.Ф. Ожирение – основа метаболического синдрома / А.Ф. Вербовой, Н.И. Вербовая, Ю.А. Долгих // Ожирение и метаболизм. – 2021. – Т. 18. – № 2. – С. 142-149. DOI: 10.14341/omet12707.

3. Максим, О.В. От нарушений пищевого поведения к ожирению: вопросы диагностики и нейроэндокринной регуляции / О.В. Максим, В.В. Салухов // Consilium Medicum. – 2022. – Т. 24. – № 4. – С. 234-241.

4. Carnell, S. Appetite and adiposity in children: evidence for a behavioral susceptibility theory of obesity / S. Carnell, J. Wardle // American Journal of Clinical Nutrition. – 2008. – Vol. 88. – No. 1. – P. 22-29. DOI: 10.1093/ajcn/88.1.22.

5. Warkentin, S. Validity of the Adult Eating Behavior Questionnaire and Its Relationship with Parent-Reported Eating Behaviors among Adolescents in Portugal / S. Warkentin, A. Costa, A. Oliveira // Nutrients. – 2022. – Vol. 14. – No. 6. – P. 1301. DOI: 10.3390/nu14061301.

6. Кочетова, О.В. Изучение согласованности и валидности русскоязычной версии опросника по оценке пищевого поведения взрослого населения (Adult Eating Behaviour Questionnaire) / О.В. Кочетова, Т.М. Кочетова, Г.Ф. Корытина // Профилактическая медицина. – 2025. – Т. 28. – № 8. – С. 89-95. DOI: 10.17116/profmed20252808189.

7. Tylka, T.L. The Body Appreciation Scale-2: Item refinement and psychometric evaluation / T.L. Tylka, N.L. Wood-Barcalow // Body Image. – 2015. – Vol. 12. – P. 53-67. DOI: 10.1016/j.bodyim.2014.09.006.

8. Елисеева, Ю.В. Медико-социальные и поведенческие факторы риска нарушений массы тела у студентов медицинского вуза / Ю.В. Елисеева, Н.Н. Пичугина, Ю.Ю. Елисеев // Профилактическая медицина. – 2019. – Т. 22. – № 6. – С. 67-71. DOI: 10.17116/profmed20192206267.

9. Characteristic features of dietary patterns and physical activity among medical students / V.A. Ohniev, T.V. Peresypkina, V.H. Nesterenko [et al.] // The Open Public Health Journal. – 2024. – Vol. 17. – No. 1. DOI: 10.2174/0118749445294175240326034837.

10. Комплексная оценка пищевого статуса студенческой молодежи / О.В. Сазонова, Р.В. Хамцова, М.Ю. Гаврюшин [и др.] // Экология человека. – 2024. – Т. 31. – № 8. – С. 598-607. DOI: 10.17816/humeco643562.

11. Елиашевич, С.О. Пищевое поведение: нарушения и способы их оценки / С.О. Елиашевич, Д.Д. Нуньес Араухо, О.М. Драпкина // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2023. – Т. 22. – № 8. – С. 3663. DOI: 10.15829/1728-8800-2023-3663.

REFERENCES

1. Sytaya Yu.S., Mindlina A.Ya. Epidemiological features of obesity and type 2 diabetes mellitus in the Russian Federation. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*, 2024, vol. 23, no. 4, pp. 71-86. DOI: 10.31631/2073-3046-2024-23-4-71-86. (in Russ.)

2. Verbovoy A.F., Verbovaya N.I., Dolgikh Yu.A. Obesity as the basis of metabolic syndrome. *Obesity and metabolism*, 2021, vol. 18, no. 2, pp. 142-149. DOI: 10.14341/omet12707. (in Russ.)
3. Maksim O.V., Salukhov V.V. From eating disorders to obesity: issues of diagnosis and neuroendocrine regulation. *Consilium Medicum*, 2022, vol. 24, no. 4, pp. 234-241. (in Russ.)
4. Carnell S., Wardle J. Appetite and adiposity in children: evidence for a behavioral susceptibility theory of obesity. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2008, vol. 88, no. 1, pp. 22-29. DOI: 10.1093/ajcn/88.1.22.
5. Warkentin S., Costa A., Oliveira A. Validity of the Adult Eating Behavior Questionnaire and Its Relationship with Parent-Reported Eating Behaviors among Adolescents in Portugal. *Nutrients*, 2022, vol. 14, no. 6, p. 1301. DOI: 10.3390/nu14061301.
6. Kochetova O.V., Kochetova T.M., Korytina G.F. Study of the consistency and validity of the Russian version Adult Eating Behaviour Questionnaire. *Russian Journal of Preventive Medicine*, 2025, vol. 28, no. 8, pp. 89-95. DOI: 10.17116/profmed20252808189. (in Russ.)
7. Tylka T.L., Wood-Barcalow N.L. The Body Appreciation Scale-2: Item refinement and psychometric evaluation. *Body Image*, 2015, vol. 12, pp. 53-61. DOI: 10.1016/j.bodyim.2014.09.006.
8. Eliseeva Yu.V., Pichugina N.N., Eliseev Yu.Yu. Sociomedical and behavioral risk factors for body weight disorders in medical students. *Russian Journal of Preventive Medicine*, 2019, vol. 22, no. 6-2, pp. 67-71. DOI: 10.17116/profmed20192206267. (in Russ.)
9. Ohniev V.A., Peresypkina T.V., Nesterenko V.H. et al. Characteristic features of dietary patterns and physical activity among medical students. *Open Public Health Journal*, 2024, vol. 17, no. 1. DOI: 10.2174/0118749445294175240326034837.
10. Sazonova O.V., Khamtsova R.V., Gavryushin M.Yu. et al. Comprehensive assessment of nutriational status in university students. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*, 2024, vol. 31, no. 8, pp. 598-607. DOI: 10.17816/humeco643562. (in Russ.)
11. Eliashevich S.O., Nunez Araujo D.D., Drapkina O.M. Eating behavior: disorders and how to assess them. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 2023, vol. 22, no. 8, p. 3663. DOI: 10.15829/1728-8800-2023-3663. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Виктор Петрович Мальцев – кандидат биологических наук, доцент кафедры морфологии и физиологии, Сургутский государственный университет, Сургут, e-mail: mal585@mail.ru.
Алена Анатольевна Говорухина – доктор биологических наук, профессор кафедры морфологии и физиологии, Сургутский государственный университет, Сургут, e-mail: govalena@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR:
Viktor P. Maltsev – Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor of the Department of Morphology and Physiology, Surgut State University, Surgut, e-mail: mal585@mail.ru.
Alena A. Govorukhina – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Morphology and Physiology, Surgut State University, Surgut, e-mail: govalena@mail.ru.

Для цитирования: Мальцев, В.П. Психологические предикторы жировой массы тела у студентов медицинского института Среднего Приобья / В.П. Мальцев, А.А. Говорухина // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_11

For citation: Maltsev V.P., Govorukhina A.A. Psychological predictors of body fat mass in the Middle Ob medical institute students. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_11

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_12
УДК 615.849.1

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_12
UDC 615.849.1

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СТАБИЛОГРАФИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТАТОКИНЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СПОРТСМЕНОВ В ОТВЕТ НА РАЗЛИЧНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ

А.С. Назаренко[1], Ф.А. Мавлиев[1], Р.А. Юсупов[2]
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Казань, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Эффективность поддержания равновесия определяется не столько состоянием отдельных сенсорных систем (зрительной, проприоцептивной, вестибулярной), сколько их взаимодействием, позволяющим компенсировать дефицит информации одной модальности за счет других. В связи с этим предлагается использовать усредненные стабилографические показатели, регистрируемые после нескольких различных функциональных проб, как интегральную характеристику адаптации статокинетической системы к реальной спортивной деятельности. Цель работы – оценить изменения усредненных стабилографических показателей статокинетической устойчивости у спортсменов под воздействием различных функциональных нагрузок. ***Методы.*** Были обследованы спортсмены и не спортсмены в возрасте от 18 до 22 лет (297 человек), у которых производилась оценка стабилографических показателей до и после различных функциональных проб. ***Результаты.*** В статье представлены результаты сравнительного анализа статокинетической устойчивости у спортсменов ситуационных, циклических и прицельных видов спорта, а также у не спортсменов. ***Заключение.*** Установлено, что сенсорные системы функционируют интегративно, а систематические тренировки повышают порог чувствительности к раздражителям, что свидетельствует о высокой пластичности нервной системы.
Ключевые слова: статокинетическая система, функция равновесия, стабилографические показатели, функциональные пробы, спортсмены.

INTEGRAL STABILOGRAPHIC INDICATORS OF STATOKINETIC STABILITY OF ATHLETES IN RESPONSE TO VARIOUS FUNCTIONAL LOADS

A.S. Nazarenko[1], F.A. Mavliev[1], R.A. Yusupov[2]
[1]Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, Russia
[2]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russia

Abstract. Introduction. The effectiveness of maintaining balance is determined not so much by the state of individual sensory systems (visual, proprioceptive, vestibular) as by their interaction, which makes it possible to compensate for the data deficit of one modality at the expense of others. In this regard, it is proposed to use averaged stabilographic indicators recorded after several different functional tests as an integral characteristic of the adaptation of the statokinetic system to real sports activities. The objective of the work is to assess changes in the average stabilographic indicators of statokinetic stability in athletes under the influence of various functional loads. ***Methods.*** We examined athletes and non-athletes aged 18 to 22 years (297 people in total), who had their stabilographic parameters assessed before and after various functional tests. ***Results.*** The article presents the results of a comparative analysis of statokinetic stability in athletes of situational, cyclic and targeted sports, as well as in non-athletes. ***Conclusion.*** We have found that sensory systems function integratively, and systematic training increases the threshold of sensitivity to stimuli, which indicates a high plasticity of the nervous system.
Keywords: statokinetic system, balance function, stabilographic indicators, functional tests, athletes.

Введение. Уровень спортивных результатов в различных видах спорта определяется сформированностью двигательных программ, которые совершенствуются в процессе тренировок и соревнований, что обеспечивает долговременную адаптацию спортсмена к физическим нагрузкам при снижении энергетических затрат. Наибольшая долговременная адаптация и экономизация отмечаются в тех системах и органах, которые вносят максимальный вклад в достижение конечного приспособительного результата.

С позиции теории функциональных систем важную роль в управлении движениями играют сенсорные системы. Сигналы, поступающие от различных сенсорных систем, возникают на основе аналитико-синтетической деятельности коры больших полушарий как единого «комплексного анализатора» [1]. Степень участия каждой сенсорной системы в управлении движениями изменяется в зависимости от решаемых двигательных задач и условий поддержания равновесия. Человек воспринимает информацию одновременно от нескольких сенсорных систем. Однако если суммарный объем информации превышает возможности ее восприятия [1], организм саморегулирует поступление информации, временно «снижая активность» некоторых сенсорных систем. Это, в свою очередь, активизирует главную в данной ситуации сенсорную систему, делая ее доминирующей. Механизм отключения избыточной информации описан в работах [2], где показано, что выключение зрительной информации активирует двигательную и вестибулярную сенсорные системы, обеспечивая выполнение точных движений. Следовательно, эффективность статокинетической устойчивости при перемещении тела в пространстве определяется не только функциональным состоянием отдельных сенсорных систем, центральной нервной системы и мышечного аппарата, но и их взаимодействием, способным компенсировать слабость или неустойчивость друг друга.

В ранее выполненных научных работах была раскрыта роль отдельных сенсорных систем в регуляции статокинетической устойчивости, а также влияние вестибулярной, скоростно-силовой и циклической нагрузки на нее [3-6]. Физические нагрузки оказывают значительное влияние на изменение показателей статокинетической устойчивости спортсменов за счет влияния накопленного утомления и различных физиологических реакций. Научные исследования показывают, что как аэробные, так и анаэробные физические нагрузки ухудшают показатели статокинетической устойчивости, что проявляется в увеличении площади, а также скорости колебаний центра давления [4, 5]. У спортсменов скорость колебаний центра давления увеличивается на 10-47% в зависимости от типа утомления [4]. Однако в большинстве исследований оценивается воздействие лишь одной функциональной нагрузки на статокинетическую систему спортсменов, тогда как в реальной спортивной деятельности на атлета действуют различные виды раздражителей, суммарно воздействующих на статокинетическую систему и организм в целом. Поэтому изменение усредненных стабилографических показателей статокинетической устойчивости спортсменов, полученных под влиянием различных функциональных нагрузок (вестибулярная, скоростно-силовая и циклическая), вероятно, будет отражать уровень адаптации статокинетической системы.

Цель работы – оценить изменения усредненных стабилографических показателей статокинетической устойчивости у спортсменов под воздействием различных функциональных нагрузок.

Методы и организация исследования. Исследования проводились на базе научно-исследовательского центра Поволжского государственного университета физической культуры, спорта и туризма (г. Казань). Были исследованы 227 человек мужского пола, занимающихся спортом и имеющих спортивный стаж не менее 10 лет, спортивная квалификация – от первого разряда до мастера спорта. И были разделены на три группы согласно видам спорта: циклические (бег на средние и длинные дистанции, лыжные гонки, плавание и академическая гребля), прицельные (стендовая стрельба) и ситуационные (баскетбол, бадминтон,

волейбол, футбол, теннис, хоккей и борьба). Контрольная группа в количестве 70 человек состояла из не спортсменов.

Оценка статокинетической устойчивости проведена с помощью стабилоанализатора с биологической обратной связью «Стабилан-01» (ЗАО «ОКБ «Ритм», Россия) в состоянии относительного покоя (проба Ромберга, 42 с) и после скоростно-силовой, циклической и вестибулярной нагрузок. Для представленной научной работы исследовались следующие стабилографические показатели: качество функции равновесия (КФР, %), доверительная площадь эллипса (ELLS, мм^2), линейная скорость перемещения центра давления (ЛСС, мм/с), скорость изменения площади статокинезиограммы (V_S, мм^2/с).

В качестве функциональной нагрузки использовалась скоростно-силовая (сгибание и разгибание рук в упоре лежа 30 раз, утомление мышц плечевого пояса и верхних конечностей) и циклическая ступенчато-возрастающая нагрузка на велоэргометре (на первой ступени длительность составляла 3 минуты, величина нагрузки – 50 Вт, затем мощность увеличивали на 30 Вт на каждой последующей ступени (длительность – 2 мин) до частоты сердечных сокращений 170 уд/мин и утомления мышц нижних конечностей). Кроме этого использовалась вестибулярная нагрузка в виде пробы Воячека, которая предъявлялась с использованием кресла Барани и заключалась в 5 вращениях за 10 с. Стабилографические показатели, зарегистрированные после функциональных нагрузок, были просуммированы и усреднены по укрупненным группам видов спорта. Это позволило оценить влияние обобщенного (интегрального) показателя на статокинетическую устойчивость спортсменов.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием пакета IBM SPSS Statistics (версия 27). Для оценки статистической значимости различий между четырьмя независимыми группами применялся критерий Краскела-Уоллиса. При выявлении статистически значимых различий выполнялись апостериорные парные сравнения с использованием критерия Манна-Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение. В большинстве научных исследований статокинетическую устойчивость оценивают с помощью стабилографического теста с открытыми и закрытыми глазами, что позволяет сделать вывод о вкладе зрительного и проприоцептивного анализаторов в поддержании равновесия тела [3]. Дополнительно может применяться мягкая или нестабильная опора, а также физическая нагрузка для снижения вертикальной устойчивости [5, 6]. Однако при таком неспецифическом подходе не удается выявить значимые различия в уровне статокинетической устойчивости не только между спортсменами разных специализаций, но и между спортсменами и не спортсменами [4, 6].

В состоянии относительного покоя выбранные стабилографические показатели статокинетической устойчивости у всех спортсменов и не спортсменов находились в пределах возрастной нормы (рис. 1 и 2). При этом спортсмены ситуационных и прицельных видов спорта имели значимо более низкие показатели колебаний центра давления ($p<0,05$-$0,001$), что отражалось в значениях всех показателей. Это свидетельствует, с одной стороны, о более высоком уровне поддержания равновесия тела, с другой – о более совершенных механизмах регуляции статокинетической системы и экономизации энергоресурсов при сохранении вертикальной позы. В свою очередь, у не спортсменов стабилографические показатели колебаний центра давления были значимо больше ($p<0,05$-$0,001$), что указывает на более низкий уровень статокинетической устойчивости и эффективности поддержания вертикального положения тела. Возможное объяснение выявленных различий кроется в высокой спортивной квалификации обследованных лиц: у спортсменов отмечаются повышение точности сенсорного анализа и программирования двигательных актов, ускорение коррекции ошибок движений и активации нервно-мышечного аппарата, увеличение стабильности и экономичности регуляторных процессов, усиление интеграции и одновременно автономности сенсомоторных функций. При этом у всех спортсменов

наблюдается голеностопная стратегия поддержания вертикального положения тела за счет преобладания колебаний в сагиттальной плоскости, что характерно для обычной стойки на твердой опоре и в состоянии относительного покоя.

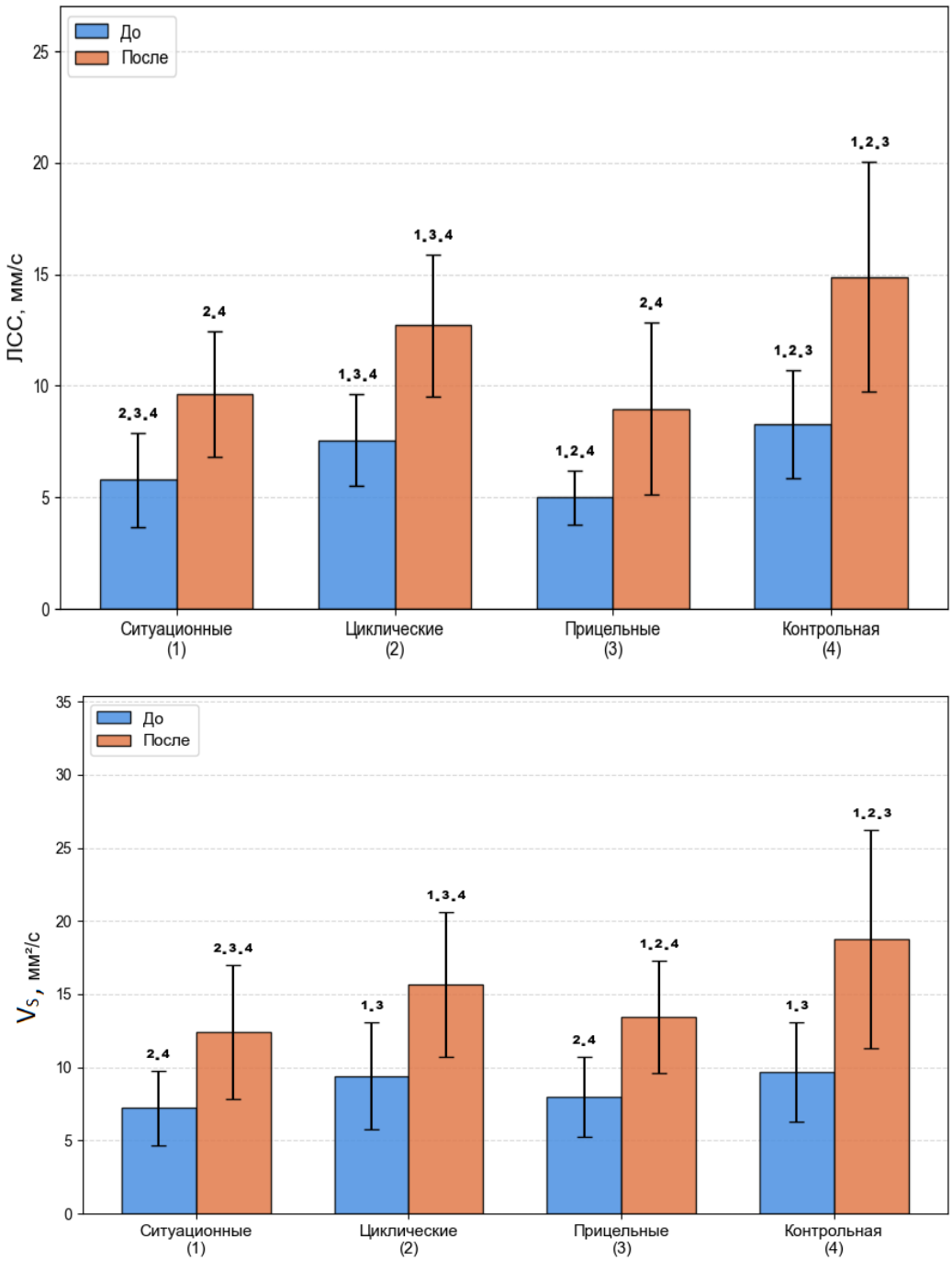


Рис. 1. Стабилографические показатели линейной скорости перемещения центра давления (ЛСС) и скорости изменения площади статокинезиограммы (V_S) у спортсменов до и после функциональных проб

Примечание: 1 – ситуационные виды спорта; 2 – циклические виды спорта; 3 – прицельные виды спорта; 4 – контрольная группа (не спортсмены).

При формировании двигательных навыков ведущую роль поочередно играют зрительная и двигательная сенсорные системы под контролем вестибулярного аппарата. Все движения в спорте происходят на фоне вестибулярных раздражений, воздействующих на сенсорные, мышечные и вегетативные системы, обеспечивающие

двигательную активность [1]. Под влиянием спортивной деятельности чувствительность афферентных систем повышается, что связано со спецификой вида спорта. Все сенсорные системы, входящие в статокинетическую систему, одинаково важны: ни один анализатор или физиологический механизм не является исключительным для поддержания равновесия и координации движений [1, 3, 4].

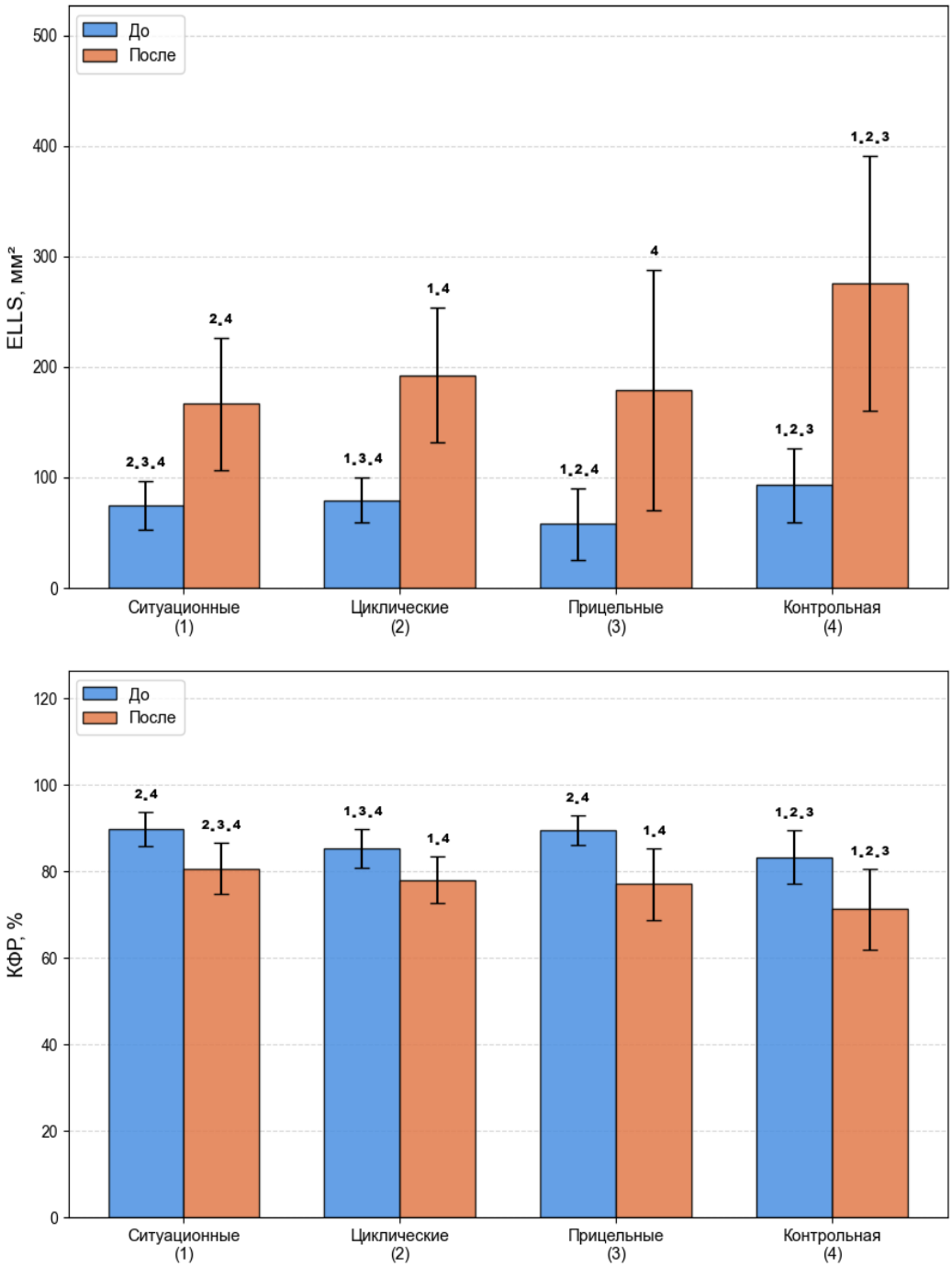


Рис. 2. Стабилографические показатели площади эллипса (ELLS) и качества функции равновесия (КФР) у спортсменов до и после функциональных проб

Примечание: 1 – ситуационные виды спорта; 2 – циклические виды спорта; 3 – прицельные виды спорта; 4 – контрольная группа (не спортсмены).

Применение различных функциональных проб (вестибулярной, скоростно-силовой и циклической нагрузок) и их усреднение позволяют получить более значимые и специфические изменения стабилографических показателей

статокинетической устойчивости у спортсменов, а также оценить уровень адаптации отдельных сенсорных систем.

Уровень статокинетической устойчивости спортсменов ситуационных видов спорта значимо выше ($p<0,05$-$0,001$) по большинству показателей по сравнению с представителями циклических и прицельных видов спорта, что проявляется в существенно меньших изменениях после функциональных нагрузок (рис. 1 и 2). Меньший прирост ЛСС и V_S у спортсменов ситуационных видов спорта свидетельствует о более высокой устойчивости вертикальной позы при меньшей рабочей площади опоры, а более высокий уровень КФР характеризует эффективную и долговременную адаптацию статокинетической функциональной системы. В то же время усредненные показатели ЛСС и V_S у представителей циклических видов спорта были значимо выше ($p<0,05$), чем у спортсменов прицельных видов спорта.

Следовательно, если в циклических и прицельных видах спорта статокинетическая система получает в основном стандартные, заранее предсказуемые нагрузки, то в ситуационных видах спорта эти нагрузки неравномерны и трудно прогнозируемы. Это обусловлено кумуляцией постоянно чередующихся, разнообразных по характеру, интенсивности и продолжительности раздражителей вестибулярного аппарата, воздействующих на отолитовый аппарат спортсмена. В большинстве случаев суммарные статокинетические нагрузки у представителей ситуационных видов спорта за одно и то же время значительно превышают таковые у спортсменов циклических и прицельных видов.

В то же время циклические виды спорта, особенно плавание, лыжные гонки и академическая гребля, превосходят прицельные виды по объему мышечных и вестибулярных нагрузок в ходе тренировок и соревнований. Однако наше исследование не выявило значимых различий по большинству стабилографических показателей статокинетической устойчивости между спортсменами данных видов спорта.

У нетренированных лиц суммарные стабилографические показатели статокинетической устойчивости были значительно выше, чем у спортсменов, что привело к значимым различиям по всем анализируемым параметрам поддержания равновесия тела ($p<0,05$-$0,001$). Это отражает более низкий уровень долговременной адаптации статокинетической системы у лиц, не занимающихся спортом.

Систематические занятия спортом способствуют более быстрому формированию новых двигательных паттернов, которые в результате многократных повторений приводят к совершенствованию внутренней модели сигналов. Проприорецептивная импульсация, постоянно возникающая во время тренировок, изменяет функциональные свойства нейронов и обеспечивает снижение восприимчивости к стимулам различной сенсорной модальности. В итоге это приводит к уменьшению выраженности вестибуловегетативных, вестибулодвигательных и вестибулосенсорных реакций [7].

Таким образом, в процессе систематических тренировок между показателями устойчивости и порогом чувствительности разных сенсорных систем формируется обратная зависимость: при повышении устойчивости к различным раздражителям порог возбуждения этих систем повышается. Это свидетельствует о высокой пластичности центральной нервной системы, которая обеспечивает адекватную реакцию спортсменов на разнообразные раздражители, действующие во время тренировок и соревнований [1, 8]. Как показывает наше исследование, такое соотношение между устойчивостью и чувствительностью сенсорных систем характерно только для спортсменов.

Заключение. Настоящее исследование показало, что в состоянии относительного покоя различия между группами незначительны, тогда как применение комплекса функциональных проб (вестибулярная, скоростно-силовая, циклическая нагрузки) и усреднение полученных показателей позволяют выявить специфические адаптационные особенности. При этом статокинетическая устойчивость спортсмена развивается и при занятиях теми видами спорта, в которых вращательные действия и угловые ускорения представлены в относительно небольших объемах. В то же время

специфика спортивной деятельности определяет динамику изменений статокинетической устойчивости после различных функциональных проб: ситуационные виды спорта формируют наиболее адаптивную систему поддержания равновесия в ответ на различные нагрузки, что проявляется в минимальных изменениях стабилографических показателей. В связи с этим предлагается использовать усредненные стабилографические показатели, регистрируемые после нескольких различных функциональных проб, как интегральную характеристику адаптации статокинетической системы к реальной спортивной деятельности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ. Соглашение на предоставление гранта от 22.12.2025 г. № 14/2025-ПД-ПГУФКСиТ.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The research was carried out using the funds of a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education organizations, scientific and other organizations to support the human resources development road maps in terms of stimulating their scientific and teaching staff to defend doctoral dissertations and perform research. Grant Agreement dated 22.12.2025 No 14/2025-PD-PGUFKSiT.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ровный, А.С. Роль сенсорных систем в управлении сложно-координированными движениями спортсменов / А.С. Ровный, О.А. Ровная, В.А. Галимский // Слобожанский научно-спортивный вестник. – 2014. – № 3(41). – С. 78-85. DOI: 10.15391/snsv.2014-3.016.
2. Ровная, О.А. Межсенсорные отношения как система сенсорного контроля двигательной деятельности спортсменок синхронного плавания / О.А. Ровная, А.С. Ровный, В.Н. Ильин // Педагогика, психология, и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2010. – № 10. – С. 65-69.
3. Мельников, А.А. Сравнение постуральной устойчивости у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса / А.А. Мельников // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2019. – № 2(28). – С. 60-71.
4. Поддержание равновесия тела на фоне физического утомления после субмаксимальной аэробной нагрузки у спортсменов разных специализаций / А.С. Назаренко, Ф.А. Мавлиев, Н.В. Рылова, А.С. Чинкин // Практическая медицина. – 2015. – Т. 1. – № 3(88). – С. 65-68.
5. Особенности постуральной устойчивости у борцов начальной спортивной подготовки разных стилей / Р.Ю. Николаев, А.А. Мельников, С.Ю. Матавкин, Ю.А. Маслова // Вестник САФУ. Медико-биологические науки. – 2016. – № 3. – С. 37-44. DOI: 10.17238/issn2308-3174.2016.3.37.
6. Тришин, А.С. Особенности постуральной устойчивости у баскетболистов в течение годичного макроцикла тренировочного процесса / А.С. Тришин, Е.М. Бердичевская, Е.С. Тришин // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 4(30). DOI: 10.24412/2588-05002024_08_04_15.
7. Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control / P. Perrin, D. Deviterne, F. Hugel, C. Perrot // Gait Posture. – 2002. – Vol. 15. – No. 2. – P. 187-194. DOI: 10.1016/S0966-6362(01)00149-7.
8. Attenuation of the evoked responses with repeated exposure to proprioceptive disturbances is muscle specific / S. Caudron, L. Langlois, V. Nougier, M. Guerraz // Gait Posture. – 2010. – Vol. 32. – No. 2. – P. 161-168.

REFERENCES

1. Rovny A.S., Rovnaya O.A., Galimsky V.A. The role of sensory systems in the management of difficult-coordinated movements of athletes. *Slobozhanskyi Herald of Science and Sport*, 2014, vol. 3, pp. 78-85. DOI: 10.15391/snsv.2014-3.016. (in Russ.)
2. Rovnaya O.A., Rovny A.S., Ilyin V.N. Intersensory attitudes as system of the sensor control of impellent activity of sportswomen of

synchronous swimming. *Russian Journal of Physical Education and Sport*, 2010, vol. 10, pp. 65-69. (in Russ.)
3. Melnikov A.A. Comparison of postural stability of athletes with different direction of the training process. *Physical Education and Sports Training*, 2019, vol. 2(28), pp. 60-71. (in Russ.)
4. Nazarenko A.S., Mavliev F.A., Rylova N.V., Chinkin A.S. Maintaining body balance against the background of physical fatigue after submaximal aerobic exercise in athletes of different sports. *Practical Medicine*, 2015, vol. 3(88), pp. 65-69. (in Russ.)
5. Nikolaev R.Yu., Melnikov A.A., Matavkin S.Yu, Maslova Yu.A. Peculiarities of postural stability in basic level wrestlers of different styles. *Journal of Medical and Biological Research*, 2016, vol. 3, pp. 37-44. DOI: 10.17238/issn2308-3174.2016.3.37. (in Russ.)
6. Trishin A.S., Berdichevskaya E.M., Trishin E.S. Features of postural stability in basketball players during the annual macrocycle of the training process. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 4(30). DOI: 10.24412/2588-05002024_08_04_15. (in Russ.)
7. Perrin P., Deviterne D., Hugel F., Perrot C. Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control. *Gait Posture*, 2002, vol. 15, pp. 187-194. DOI: 10.1016/S0966-6362(01)00149-7.
8. Caudron S., Langlois L., Nougier V., Guerraz M. Attenuation of the evoked responses with repeated exposure to proprioceptive disturbances is muscle specific. *Gait Posture*, 2010, vol. 2, pp. 161-168.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Андрей Сергеевич Назаренко – кандидат биологических наук, доцент, проректор по научной работе и международной деятельности, Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань, e-mail: hard@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-3067-8395.
Фанис Азгатович Мавлиев – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник НИИ физической культуры и спорта, доцент кафедры медико-биологических дисциплин, Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань, e-mail: fanis16rus@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8981-7583.
Ринат Андарзянович Юсупов – доктор биологических наук, профессор кафедры физической культуры и спорта, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, e-mail: rinatbox@rambler.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Andrey S. Nazarenko – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Research and International Activities, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, e-mail: hard@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-3067-8395.
Fanis A. Mavliev – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Research Institute of Physical Culture and Sports, Associate Professor, Department of Medical and Biological Disciplines, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, e-mail: fanis16rus@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8981-7583.
Rinat A. Yusupov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Physical Education and Sports, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, e-mail: rinatbox@rambler.ru.

Для цитирования: Назаренко, А.С. Интегральные стабилографические показатели статокинетической устойчивости спортсменов в ответ на различные функциональные нагрузки / А.С. Назаренко, Ф.А. Мавлиев, Р.А. Юсупов // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_12

For citation: Nazarenko A.S., Mavliev F.A., Yusupov R.A. Integral stabilographic indicators of statokinetic stability of athletes in response to various functional loads. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_12

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_13
УДК 612.821

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_13
UDC 612.821

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОДРОСТКОВ КОРЕННЫХ МАЛОЧИСЛЕННЫХ НАРОДОВ СЕВЕРА ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРНАТА

А.Н. Ослина, В.В. Колпаков, А.А. Ткачук, А.И. Березенцева
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Тюмень, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Изучение психофизиологических особенностей и стрессоустойчивости подростков коренных малочисленных народов Севера в условиях обучения в интернатах важно для оценки эффективности здоровьесберегающих технологий (центильное повышение двигательной активности), поскольку позволяет выявить факторы риска и адаптационные резервы в учебной деятельности. ***Методы.*** Проведен сравнительный анализ данных начала и конца учебного года у 122 здоровых подростков 13-15 лет. Группа 1 (n=39) – оседлые; группа 2 (n=83) – кочевники, подгруппы: 2А (обычный режим) и 2Б (внедрен комплекс здоровьесберегающих технологий). Использованы шагометрия, кардиоинтервалография, тест Спилбергера-Ханина. ***Результаты.*** У подростков 2А к концу года отмечаются снижение двигательной активности, повышение индекса напряжения, тревожности и снижение стрессоустойчивости по сравнению с 2Б. Наименее выраженные изменения в группе 1. ***Заключение.*** Психофизиологическое сопровождение подростков коренных малочисленных народов Севера в интернатах может помочь в оценке эффективности технологий и оптимизации учебного процесса.
Ключевые слова: коренные народы Севера, учеба в интернате, кардиоинтервалография, стрессоустойчивость, здоровьесберегающие технологии.

PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND STRESS RESISTANCE IN NORTHERN INDIGENOUS ADOLESCENTS UNDER HEALTH-PRESERVING TECHNOLOGIES IN BOARDING SCHOOLS

A.N. Oslina, V.V. Kolpakov, A.A. Tkachuk, A.I. Berezentseva
Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The study of psychophysiological characteristics and stress resistance of adolescents from the indigenous people of the North in the context of education in boarding schools is important for assessing the effectiveness of health-preserving technologies (centile increase in physical activity), since it allows identifying risk factors and adaptive reserves in educational activity. ***Methods.*** We conducted a comparative analysis of data collected from 122 healthy adolescents aged 13-15 years from the beginning and the end of the school year. Group 1 (n=39) – sedentary, group 2 (n=83) – nomads, subgroups: 2A (normal regime), 2B (a set of health-preserving technologies was introduced). We used pedometer, cardiointervalography, and the State-Trait Anxiety Inventory as the main methods of the study. ***Results.*** By the end of the year, adolescents in the subgroup 2A have demonstrated less physical activity, increased levels of stress and anxiety, and lower levels of stress resistance compared to those in the subgroup 2B. The least pronounced changes were observed in the group 1. ***Conclusion.*** Psychophysiological support for adolescents from indigenous minorities in boarding schools can help to evaluate the effectiveness of technologies and optimize the educational process.
Keywords: indigenous people of the North, boarding school education, cardiointervalography, stress resistance, health-preserving technologies.

Введение. В реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации большое внимание уделяется коренным народам Севера (КМНС) [1, 2]. При этом высокие темпы социально-экономических преобразований в данном регионе тесно взаимосвязаны с необходимостью сохранения их национальных

традиций и культуры. Положительное решение поставленной цели во многом зависит от эффективно построенного психолого-педагогического сопровождения учебного процесса в отдаленных образовательных организациях – интернатах, основной форме обучения КМНС [3-7].

Так, в настоящее время ведутся целенаправленные дискуссии о приоритетных формах образования детей кочующих аборигенов. С учетом Ямальского опыта, где их сегодня более всего в стране, продолжают обсуждаться более десяти моделей образования для детей коренных народов Севера [8]. Вместе с тем не вызывает сомнения, что эффективное решение вышеуказанных проблем тесно взаимосвязано с укреплением и охраной здоровья молодого поколения, поскольку ускоренные темпы урбанизации и изменение традиционного уклада жизнедеятельности северных народов приводят к увеличению стрессогенных ситуаций, снижению адаптационных возможностей организма и повышению заболеваемости, прежде всего среди детей и подростков [9-12].

Теоретической основой предлагаемого подхода к здоровьесбережению является концепция центильного нормирования функциональных показателей, разработанная в рамках системного анализа индивидуально-типологических особенностей организма [13, 14]. Данная концепция базируется на представлении о гетерохронности физического развития в подростковом возрасте и вариабельности адаптационных реакций. Использование центильных коридоров позволяет дифференцированно подходить к коррекции двигательного режима с учетом исходного уровня привычной двигательной активности, что соответствует принципам персонализированной медицины. Кроме того, теоретическим фундаментом служат положения о системных механизмах доминирующих мотиваций К.В. Судакова [15, 16], согласно которым целенаправленное повышение двигательной активности способствует перестройке иерархии функциональных систем и повышает резистентность организма к стрессогенным факторам среды. Таким образом, центильное повышение суточного количества локомоций рассматривается как физиологически обоснованный, дозируемый и контролируемый метод немедикаментозной коррекции функционального состояния.

Известно, что направленность и степень изменения физиологических функций при адаптации к различным факторам окружающей среды во многом зависят от исходного состояния организма. В связи с этим особое место занимает оценка вегетативного тонуса, степени напряжения регуляторных механизмов и уровня стрессоустойчивости [17-19]. Так, результаты исследований, проведенных в различных регионах Крайнего Севера, выявили, что значения соответствующих функциональных показателей могут занимать не только нижние, но и достаточно высокие центильные коридоры. Последнее во многом может быть связано как с местом проживания и влияния суровости природно-климатических характеристик, так непосредственно и с индивидуальными особенностями коренного населения Арктического региона, педагогическим сопровождением подростков [5].

В связи с этим психофизиологическое сопровождение КМНС в отдаленных от традиционного уклада жизнедеятельности образовательных организациях (интернатах) с внедрением здоровьесберегающих технологий может стать основой для выделения значимых критериев эффективности их адаптации к учебной деятельности в урбанизированных условиях проживания. Также установление взаимосвязи психофизиологических особенностей КМНС с общим состоянием здоровья может способствовать не только более глубокому пониманию механизмов формирования общей резистентности организма к факторам окружающей среды, но и осуществлению научно обоснованных рекомендаций по прогнозу возникновения и более эффективной профилактике неблагоприятных отклонений [13, 17, 19].

Цель исследования: установить психофизиологические особенности и уровень стрессоустойчивости подростков КМНС в процессе учебной деятельности в интернате с оценкой эффективности здоровьесберегающих технологий (центильного повышения двигательной активности).

Методы и организация исследования. Проведен сравнительный анализ исходных данных (начало учебного года) с данными в конце учебного года у 122 подростков здоровой популяции в возрасте 13-15 лет (средний возраст – 14,2±1,2 лет).

Критериями включения в исследование являлись: отсутствие хронических заболеваний в стадии декомпенсации, отсутствие острых инфекционных заболеваний на момент обследования, информированное добровольное согласие родителей (законных представителей) и самого подростка.

Критерии исключения: наличие верифицированных психических расстройств; отказ от участия на любом этапе исследования; неполное прохождение программы обследования.

Участники эксперимента были разделены на две группы: 1 группа – 39 человек, обучающиеся в интернате и проживающие в поселке круглогодично с родителями, которые ведут оседлый образ жизни; 2 группа – 83 человека, обучающиеся и проживающие в условиях интерната только в течение учебного года, а в остальное время с родителями, которые сохраняют традиционный кочевой образ жизни. В свою очередь, в условиях свободной выборки 2 группа была разделена на 2 подгруппы: 2А – школьники в условиях обычного режима обучения в интернате; 2Б – школьники с внедрением комплекса здоровьесберегающих технологий (центильного повышения двигательной активности).

Коррекция двигательного режима у подростков КМНС проводилась на основе центильных таблиц и авторского алгоритма последовательного повышения суточного количества локомоций (СКЛ) на один центиль в течение каждых двух недель на протяжении всего периода оздоровления – до 6 месяцев. Итоговый максимальный уровень последовательного повышения двигательной активности не должен был превышать уровня 75-90 центилей СКЛ. При более раннем достижении двигательной активности последняя поддерживается на достигнутом уровне до окончания сроков оздоровительной ходьбы. Границы центильных групп и номера центильных интервалов (зоны) позволяют сформулировать оценочное суждение по каждой величине уровня привычной двигательной активности: зона 1 (до 3-го центиля) – очень низкий уровень; зона 2 (от 3-го до 10-го центиля) – низкий уровень; зона 3 (от 10-го до 25-го центиля) – уровень ниже среднего; зона 4 (от 25-го до 75-го центиля) – средний уровень; зона 5 (от 75-го до 90-го центиля) – уровень выше среднего; зона 6 (от 90-го до 97-го центиля) – высокий уровень; зона 7 (от 97-го центиля) – очень высокий уровень [20]. Дополнительно был проведен сравнительный анализ отклонений всех изучаемых показателей у подростков в конце учебного года по отношению к его началу. Для унификации общей оценки их отклонений были выделены 5 уровней: низкое отклонение (0-10%), ниже среднего (11-20%), среднее отклонение (21-35%), выше среднего (36-50%) и высокое отклонение (>50%). Состав показателей определялся на основе экспертной оценки логической информативности тестов. Для определения индивидуального объема привычной двигательной активности была применена шагометрия (мобильные приложения на платформах Android и Apple) [13, 14]. В состоянии покоя у всех обследуемых определяли частоту сердечных сокращений и артериальное давление, регистрировалась электрокардиограмма.

Для оценки вариабельности сердечного ритма (ВСР) была проведена компьютерная кардиоинтервалография (Инкарт, Россия). Анализ кардиоинтервалографии проводили по следующим параметрам: Mo (c) – мода (наиболее часто встречающееся значение кардиоинтервалов, характеризующее доминирующий уровень функционирования синусового узла); AMo (c) – амплитуда моды (число кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, отражает активацию симпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС)); ΔX – вариационный диапазон (разница между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов, характеризует активность парасимпатического отдела ВНС); индекс напряжения – ИН, индекс вегетативного равновесия – ИВР, вегетативный показатель ритма – ВПР, показатель адекватности процессов регуляции – ПАПР.

Дополнительно учитывали частотные показатели спектрограммы: ультранизкие – ULF (мс^2, %), очень низкие – VLF (мс^2, %), низкие – LF (мс^2, %), высокие – HF (мс^2, %), TP (мс^2) – общая мощность спектра, а также индексы вегетативного баланса – LF/HF (усл.ед) и VLF/HF (усл.ед) [17, 18].

Психофизиологические исследования включали определение личностной и ситуативной тревожности по тесту Спилбергера-Ханина [21]. Адаптированная на русский язык шкала самооценки представлена двумя частями, раздельно оценивающими ситуативную (высказывания № 1-20) и личностную (высказывания № 21-40) тревожность. При интерпретации показателей учитывался их следующий уровень: до 30 баллов – низкая; 31-44 балла – умеренная; 45 и более – высокая.

Используемый метод диагностики состояния стресса позволяет выявить особенности переживания (регуляции) стресса: степень самоконтроля и эмоциональной лабильности в стрессовых условиях [22]. Подсчитывается количество положительных ответов по девяти вопросам текста опросника (ответ «да» – 1 балл, «нет» – 0 баллов). Высокий уровень регуляции в стрессовых ситуациях – 0-4 балла, умеренный уровень – 5-7 баллов, слабый уровень – 8-9 баллов.

Проверка распределения количественных показателей на нормальность осуществлялась с использованием критерия Шапиро-Уилка. С учетом объема выборок в подгруппах (n от 19 до 44) для оценки типа распределения дополнительно применялся критерий Колмогорова-Смирнова с поправкой Лиллиефорса. В связи с тем, что распределение большинства показателей не противоречило закону нормального распределения ($p>0,05$), для сравнения связанных выборок (динамика «начало – конец учебного года» внутри каждой группы) использовался парный t-критерий Стьюдента. Для межгруппового сравнения независимых выборок применялся t-критерий Стьюдента для несвязанных выборок. Статистически значимыми считались различия при $p<0,05$. Обработка данных проведена с использованием пакета IBM SPSS Statistics (версия 26). Применялись общепринятые показатели описательной статистики: среднее арифметическое (M) и стандартная ошибка среднего (m).

Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации и одобрено Этическим комитетом Тюменского государственного медицинского университета (протокол № 89 от 09.04.2026 г.).

Результаты исследования и их обсуждение. На первом этапе были проанализированы результаты исследования в конце учебного года подростков, постоянно проживающих в поселке с родителями. По сравнению с исходными данными (начало учебного года) была выявлена тенденция, характеризующая повышение ИН ($p<0,05$) и ВПР ($p<0,05$), а также ИВР, что в целом указывает на сдвиг активности в сторону симпатического отдела ВНС. Кроме того, была проведена дополнительная оценка спектральных параметров ВСР, при оценке которых также прослеживается установленная закономерность. Так, у подростков 1 группы в конце учебного года наблюдались уменьшение TP и более значимый вклад HF, что также указывает на смещение в сторону симпатического влияния ВНС. Аналогичная закономерность была установлена у девочек подросткового возраста КМНС (табл. 1). Представленные данные сочетались со статистически значимым уменьшением общего объема привычной двигательной активности (соответственно у мальчиков – 7534±232 и 7131±212, у девочек – 7396±244 и 6914±231 суточных локомоций).

Дополнительно был проведен сравнительный анализ отклонений всех изучаемых показателей у подростков в конце учебного года по отношению к его началу. Установлено, что с учетом количественных характеристик отклонений по всем показателям последние входили в градацию «низкие» и находились в границах 0-10%. В связи с этим можно утверждать, что несмотря на выявленную тенденцию динамики функционального статуса подростков 1 группы в целом у них сохранялся достаточный адаптационный потенциал в конце учебного года к особенностям урбанизированного проживания и учебе в интернате.

Таблица 1

Показатели ВСР подростков мужского (м) и женского (ж) пола коренных народов Севера 1 группы в начале и конце учебного года, M±m

Показатели КИГ	Пол	1 группа		Процентное отклонение	P<
		Начало учебного года (м, n=19; ж, n=20)	Конец учебного года (м, n=19; ж, n=20)		
Mo, с	м	0,866±0,019	0,832±0,018	4,0	–
	ж	0,846±0,018	0,813±0,017	3,9	–
Амо, с	м	31,82±0,67	31,93±0,59	0,3	–
	ж	32,59±0,75	32,63±0,61	0,2	–
ΔX	м	0,384±0,003	0,379±0,005	1,3	–
	ж	0,381±0,002	0,372±0,006	2,4	–
ИВР, усл.ед.	м	82,84±2,13	84,23±2,02	1,8	–
	ж	85,47±2,23	87,71±2,04	2,6	–
ПАПР, усл.ед.	м	36,74±0,95	38,38±0,81	4,5	–
	ж	38,55±1,57	40,13±0,92	4,1	–
ВПР, усл.ед.	м	3,01±0,07	3,17±0,004	5,3	0,05
	ж	3,101±0,077	3,31±0,06	6,7	0,05
ИН, усл.ед.	м	47,82±1,191	50,63±1,03	5,9	0,05
	ж	50,55±1,42	53,93±1,05	6,7	0,05
TP, мс^2	м	2217±244	2153±232	2,9	–
	ж	2121±293	2016±271	4,9	–
ULF, %	м	1,49±0,84	1,31±0,68	2,1	–
	ж	1,01±0,551	1,02±0,63	1	–
VLF, %	м	26,44±3,69	27,01±2,14	2,2	–
	ж	26,65±2,4	27,32±2,16	2,5	–
LF, %	м	33,47±1,21	34,05±1,09	1,7	–
	ж	34,57±1,96	35,11±1,12	1,6	–
HF, %	м	38,29±3,51	37,63±2,11	1,7	–
	ж	37,76±3,53	36,55±2,14	3,2	–
LF/HF	м	0,867±0,108	0,905±0,091	4,4	–
	ж	0,915±0,151	0,961±0,103	5,0	–
VLF/HF	м	0,685±0,187	0,718±0,121	4,8	–
	ж	0,706±0,145	0,747±0,123	5,8	–

Примечание (здесь и далее): ВСР – вариабельность сердечного ритма; КИГ – кардиоинтервалография; Mo – мода; АМо – амплитуда моды; ΔX – вариационный диапазон; ИН – индекс напряжения; ИВР – индекс вегетативного равновесия; ВПР – вегетативный показатель ритма; ПАПР – показатель адекватности процессов регуляции; ULF – ультранизкие частотные показатели спектрограммы; VLF – очень низкие частотные показатели спектрограммы; LF – низкие частотные показатели спектрограммы; HF – высокие частотные показатели спектрограммы; TP – общая мощность спектра; LF/HF и VLF/HF – индексы вегетативного баланса.

По сравнению с 1 группой наиболее существенные изменения функционального статуса у подростков были выявлены в конце учебного года в подгруппе 2А. По всем основным показателям, включая ИН, определены статистически значимые различия с исходными данными в начале учебного года (табл. 2). При этом

установлено, что с учетом количественных характеристик отклонений по всем показателям последние входили в градации «ниже среднего» и «среднее», которые находились в пределах более 10%. В связи с этим можно утверждать, что выявленная закономерность динамики функционального статуса указывает на достаточно существенное напряжение адаптационных возможностей в конце учебного года к особенностям урбанизированного проживания и учебе в интернате.

Таблица 2

Показатели ВСР подростков мужского (м) и женского (ж) пола коренных народов Севера подгруппы 2А в начале и конце учебного года, M±m

Показатели КИГ	Пол	2 группа (м, n=39; ж, n=44)	Подгруппа 2А (м, n=20; ж, n=24)	Процентное отклонение	P<
Mo, с	м	0,818±0,016	0,771±0,014	5,8	0,05
	ж	0,805±0,017	0,765±0,015	5,0	0,05
AMo, с	м	31,63±0,62	32,9±0,59	4,0	–
	ж	31,93±0,86	32,95±0,73	3,2	–
ΔX	м	0,369±0,003	0,353±0,005	4,3	0,05
	ж	0,366±0,002	0,351±0,006	4,1	0,05
ИВР, усл.ед.	м	85,71±1,91	93,21±1,72	8,8	0,05
	ж	87,21±2,58	96,72±1,82	10,9	0,05
ПАПР, усл.ед.	м	38,67±1,11	42,67±1,03	10,3	0,05
	ж	39,69±1,29	44,38±1,05	11,8	0,05
ВПР, усл.ед.	м	3,311±0,069	3,69±0,054	11,5	0,05
	ж	3,39±0,075	3,731±0,062	10,1	0,05
ИН, усл.ед.	м	50,31±1,59	60,5±1,31	20,2	0,05
	ж	53,81±1,29	61,35±1,35	14,0	0,05
TP, мс^2	м	2111±280	1932±271	8,5	–
	ж	1907±198	1783±234	6,5	–
ULF, %	м	1,697±0,736	1,421±0,342	16,3	–
	ж	1,128±0,805	1,143±0,514	11,3	–
VLF, %	м	27,54±4,95	28,73±2,17	4,8	–
	ж	27,96±4,96	29,11±2,23	4,1	–
LF, %	м	33,85±1,53	35,03±1,34	3,5	–
	ж	35,21±1,73	36,39±1,42	3,4	–
HF, %	м	36,91±4,24	34,82±2,2	5,7	–
	ж	35,19±4,34	33,36±2,21	5,2	–
LF/HF	м	0,929±0,103	1,006±0,093	8,9	–
	ж	1,001±0,118	1,091±0,973	9,0	–
VLF/HF	м	0,774±0,247	0,825±0,118	6,6	–
	ж	0,794±0,151	0,873±0,12	9,9	–

Вместе с тем, как показал анализ полученных результатов, внедрение дополнительных профилактических мероприятий, в частности увеличение центильного уровня двигательной активности у подростков подгруппы 2Б (в среднем у мальчиков на 35,1%, у девочек на 33,6%) способствовало развитию противоположной закономерности функционального статуса. Так, в конце учебного года по сравнению с исходными данными не было выявлено статистически значимых различий ни по

одному показателю (табл. 3). При этом их общая направленность динамики характеризовалась в целом положительным эффектом, в частности отмечалось повышение физической работоспособности до уровня нижней границы «хорошее».

Таблица 3

Показатели ВСР подростков мужского (м) и женского (ж) пола коренных народов Севера подгруппы 2Б в начале и конце учебного года, M±m

Показатели КИГ	Пол	2 группа (м, n=39; ж, n=44)	Подгруппа 2Б (м, n=19; ж, n=20)	Процентное отклонение	P<
Mo, с	м	0,818±0,016	0,821±0,014	0,4	–
	ж	0,805±0,017	0,809±0,012	0,5	–
AMo, с	м	31,63±0,62	31,69±0,57	0,2	–
	ж	31,93±0,86	32,06±0,63	0,4	–
ΔX	м	0,369±0,003	0,361±0,002	2,2	–
	ж	0,366±0,002	0,359±0,002	2,1	–
ИВР, усл.ед.	м	85,71±1,91	87,78±1,64	2,4	–
	ж	87,21±2,58	89,3±1,78	2,3	–
ПАПР, усл.ед.	м	38,67±1,11	38,6±0,096	0,2	–
	ж	39,69±1,29	39,63±0,98	0,2	–
ВПР, усл.ед.	м	3,311±0,069	3,378±0,054	2,1	–
	ж	3,39±0,075	3,448±0,059	2,0	–
ИН, усл.ед.	м	50,31±1,59	53,46±1,12	6,3	–
	ж	53,81±1,29	55,19±1,03	2,3	–
TP, мс^2	м	2111±280	2033±268	3,7	–
	ж	1907±198	1834±214	3,9	–
ULF, %	м	1,697±0,736	1,511±0,443	9,0	–
	ж	1,128±0,805	1,186±0,516	5,1	–
VLF, %	м	27,54±4,95	28,04±1,99	1,8	–
	ж	27,96±4,96	28,34±2,015	1,4	–
LF, %	м	33,85±1,53	34,02±1,29	0,5	–
	ж	35,21±1,73	35,93±1,34	2,0	–
HF, %	м	36,91±4,24	36,43±2,16	1,3	–
	ж	35,19±4,34	34,55±2,11	1,8	–
LF/HF	м	0,929±0,103	0,934±0,092	0,5	–
	ж	1,001±0,118	1,04±0,096	3,9	–
VLF/HF	м	0,774±0,247	0,771±0,115	0,4	–
	ж	0,794±0,151	0,821±0,188	3,4	–

Полученные результаты исследования на первом этапе определили необходимость использования дополнительных психофизиологических методик, в частности оценки показателей личностной и ситуативной тревожности, которые представлены в таблицах 4-6.

Средние показатели личностной и ситуативной тревожности у подростков 1 группы в конце учебного года находились на границе градаций «умеренная – высокая». При этом по сравнению с исходными данными (начало учебного года) было выявлено статистически значимое различие. Вместе с тем необходимо отметить, что показатели самоконтроля и эмоциональной лабильности в стрессовых ситуациях практически оставались на

прежнем уровне (p>0,05). Существенных гендерных различий по направленной межгрупповой динамике установлено не было (табл. 4).

Таблица 4

Показатели уровня регуляции стресса, личностной и ситуативной тревожности у подростков мужского и женского пола коренных малочисленных народов Севера 1 группы в начале и конце учебного года

Показатели	Пол	1 группа		Процентное отклонение	P<
		Начало учебного года (м, n=19; ж, n=20)	Конец учебного года (м, n=19; ж, n=20)		
Личностная тревожность	м	43,67±0,37	45,03±0,32	3,1	0,05
	ж	45,41±0,53	47,12±0,44	3,8	0,05
Ситуативная тревожность	м	42,67±0,42	44,07±0,38	3,3	0,05
	ж	44,93±0,47	46,23±0,42	2,9	0,05
Уровень регуляции стресса	м	5,15±0,21	5,28±0,19	2,5	–
	ж	5,23±0,21	5,46±0,2	4,4	–

По сравнению с 1 группой наиболее существенные изменения психофизиологических показателей были выявлены в конце учебного года в подгруппе 2А (табл. 5). По всем определяемым параметрам установлено статистически значимое повышение. Как результат, отклонение по отношению к исходным данным составило от 10,2% до 24,3%. При этом необходимо отметить, что в абсолютных цифрах показатель самоконтроля и эмоциональной лабильности в стрессовых ситуациях переходил на уровень «слабый», а ЛТ и СТ – «высокая».

Таблица 5

Показатели уровня регуляции стресса, личностной и ситуативной тревожности у подростков мужского и женского пола коренных малочисленных народов Севера подгруппы 2А в начале и конце учебного года

Показатели	Пол	2 группа (м, n=39; ж, n=44)	Подгруппа 2А (м, n=20; ж, n=24)	Процентное отклонение	P<
Личностная тревожность	м	46,37±0,56	51,24±0,48	10,5	0,05
	ж	47,24±0,53	52,09±0,46	10,3	0,05
Ситуативная тревожность	м	46,22±0,46	51,03±0,31	10,4	0,05
	ж	47,97±0,57	52,89±0,42	10,2	0,05
Уровень регуляции стресса	м	7,38±0,29	9,14±0,19	23,8	0,05
	ж	7,41±0,33	9,21±0,23	24,3	0,05

Таблица 6

Показатели уровня регуляции стресса, личностной и ситуативной тревожности у подростков мужского и женского пола коренных малочисленных народов Севера подгруппы 2Б в начале и конце учебного года

Показатели	Пол	2 группа (м, n=39; ж, n=44)	Подгруппа 2Б (м, n=19; ж, n=20)	Процентное отклонение	P<
Личностная тревожность	м	46,37±0,56	47,14±0,44	1,7	–
	ж	47,24±0,53	48,03±0,42	1,7	–
Ситуативная тревожность	м	46,22±0,46	47,09±0,39	1,9	–
	ж	47,97±0,57	48,93±0,43	2,0	–
Уровень регуляции стресса	м	7,38±0,29	8,07±0,21	9,3	0,05
	ж	7,41±0,33	8,14±0,29	9,8	0,05

Вместе с тем, как показал анализ полученных результатов, внедрение дополнительных профилактических мероприятий, в частности увеличение центильного уровня двигательной активности у подростков подгруппы 2Б (в среднем у мальчиков на 35,1% и девочек на 33,6%), способствовало развитию противоположной закономерности функционального статуса. Так, в конце учебного года по сравнению с исходными данными не было выявлено статистически значимых различий ни по одному показателю (табл. 6).

В результате проведенного анализа установлена межгрупповая вариабельность психофизиологических показателей в каждой из обследуемых групп здоровой популяции подростков коренных малочисленных народов Севера. При этом выявление уровня стрессреактивности во многом является определяющим для комплексной оценки общего состояния здоровья, а также разработки стратегии для улучшения их физического состояния и качества жизни.

Заключение. Проведенное исследование позволило достичь поставленной цели и сформулировать следующие выводы.

Изучение психофизиологических особенностей подростков КМНС в условиях интерната показало, что у подростков 1 группы (оседлый образ жизни) в конце учебного года выявлена тенденция к симпатикотонии, проявившаяся в повышении ИН (на 5,9-6,7%, $p<0,05$) и ВПР (на 5,3-6,7%, $p<0,05$), однако общий адаптационный потенциал сохранялся достаточным (отклонения показателей не превышали 10%). Наиболее выраженные изменения зафиксированы у подростков подгруппы 2А (кочевой образ жизни, обычный режим): ИН возрос на 14,0-20,2% ($p<0,05$), ЛТ – на 10,3-10,5% ($p<0,05$), СТ – на 10,2-10,4% ($p<0,05$), а уровень регуляции стресса снизился, перейдя в градацию «слабый».

Анализ уровня стрессоустойчивости подростков определил наиболее низкую стрессоустойчивость в подгруппе 2А, где показатель регуляции стресса достиг 9,14-9,21 баллов (слабый уровень), а ЛТ и СТ превысили 51 и 52 балла соответственно (высокая тревожность). В группе 1 показатели тревожности находились на границе умеренного и высокого уровня (45,03-47,12 баллов) при сохранении умеренного уровня регуляции стресса (5,28-5,46 баллов).

Внедрение здоровьесберегающей технологии (центильного повышения двигательной активности) в подгруппе 2Б обеспечило достоверно меньший прирост ИН по сравнению с подгруппой 2А: у мальчиков – 6,3% против 20,2%, у девочек – 2,3% против 14,0%. Прирост ЛТ в подгруппе 2Б составил лишь 1,7% (против 10,5% в 2А), СТ – 1,9% (против 10,4% в 2А). Статистически значимых различий по основным показателям ВСР и тревожности между началом и концом учебного года в подгруппе 2Б не выявлено ($p>0,05$), что свидетельствует о профилактической эффективности предложенного подхода.

Таким образом, наиболее уязвимой группой в отношении психофизиологической дезадаптации являются подростки из семей, сохраняющих кочевой образ жизни, обучающиеся в интернате без дополнительной коррекции двигательного режима. Применение центильного повышения двигательной активности может быть рекомендовано в качестве эффективного и физиологически обоснованного метода профилактики стресс-индуцированных состояний и сохранения психофизиологического здоровья подростков КМНС в условиях интерната.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Концепции устойчивого развития коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации на период до 2036 года : распоряжение Правительства РФ от 08 мая 2025 г. № 1161-р (в ред. от 30.04.2026).

2. Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения

национальной безопасности на период до 2035 года» (в ред. от 27.02.2023).
3. Володина, М.О. Социальная адаптация детей малочисленных народов Севера к условиям школы-интерната семейного типа / М.О. Володина // Педагогика и психология в XXI веке: современное состояние и тенденции исследования : сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов, молодых педагогов (Киров, 2018). – Киров, 2018. – С. 21-24.
4. Карастелев, А.Е. Географические аспекты организации школьного образования у кочевых народов Севера России / А.Е. Карастелев // Образовательный туризм в школе и вузе : сборник статей по материалам IV всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Москва : Лика, 2024. – С. 159-165.
5. Нуриева, Л.М. Мониторинг качества образования обучающихся из числа коренных малочисленных народов Севера в школах - интернатах Югры (по результатам социологических исследований) / Л.М. Нуриева, Н.В. Ткачук // Вестник угроведения. – 2023. – Т. 13. – № 3. – С. 589-597.
6. О внесении изменений в Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» : Федеральный закон от 13 июня 2023 г. № 219-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 2023. – № 25. – Ст. 3411.
7. Wilk, P. Residential schools and the effects on Indigenous health and well-being in Canada – a scoping review / P. Wilk, A. Maltby, M. Cooke // Public Health Rev. – 2017. – Vol. 38. – No. 8. DOI: 10.1186/s40985-017-0055-6.
8. Мационг, Е. Чум или интернат: какое образование для детей кочующих аборигенов лучше / Е. Мационг // Российская газета. – 2024. – № 16. – URL: https://rg.ru/2020/08/18/reg-urfo/chum-ili-internat-kakoe-obrazovanie-dlia-detej-kochuiushchih-aborigenov-luchshe.html (дата обращения: 09.07.2026)
9. Состояние здоровья подростков основных этносов Восточной Сибири / Т.А. Астахова, Л.В. Рычков, А.В. Погодина [и др.] // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2018. – Т. 13. – № 1.1. – С. 14-17.
10. Проворова, А.А. Здоровье населения российской Арктики: проблемы, вызовы и пути их решения / А.А. Проворова, Е.В. Смиренникова, А.В. Уханова // Арктика и Север. – 2024. – № 55. – С. 161-181. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2024.55.161.
11. Two-eyed seeing of the integration of oral health in primary health care in Indigenous populations: a scoping review / R. Shrivastava, Y. Couturier, F. Girard [et al.] // International Journal for Equity in Health. – 2020. – Vol. 107. DOI: 10.1186/s12939-020-01195-3.
12. The prevalence of distress, depression, anxiety, and substance use issues among Indigenous postsecondary students in Canada / N.K. Wo Hop, K.K. Anderson, L. Wylie, A. MacDougall // Transcultural Psychiatry. – 2020. – Vol. 57. – No. 2. – P. 263-274.
13. Systemic Analysis: Individual Typological Characteristics of the Human Body / V.V. Kolpakov, T.V. Bespalova, E.A. Tomilova [et al.] // Human Physiology. – 2011. – Vol. 37. – No. 6. – P. 738-749.
14. Физиологические основы последовательной коррекции двигательного режима у лиц молодого возраста с дисплазией соединительной ткани и пародонтитом / М.О. Нагаева, В.В. Колпаков, С.С. Григорьев, Е.А. Томилова // Человек. Спорт. Медицина. – 2023. – Т. 23. – № 1. – С. 140-150. DOI: 10.14529/hsm230119.
15. Судаков, К.В. Избранные труды. Т. 2 : Системные механизмы доминирующих мотиваций / К.В. Судаков. – Москва : ГУ НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН, 2008. – 484 с.
16. Судаков, К.В. Избранные труды. Т. 3 : Эмоции и эмоциональный стресс / К.В. Судаков. – Москва : ГУ НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН, 2012. – 534 с.
17. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов, Л.В. Чирейкин [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65.
18. Баевский, Р.М. Введение в донозологическую диагностику / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – Москва : Фирма «Слово», 2008. – 220 с.
19. Берсенева, А.П. Донозологическая диагностика как методология оценки функциональных состояний организма, пограничных между нормой и патологией, и ее место в космической и земной медицине / А.П. Берсенева, И.И. Фунтова // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2023. – Т. 57. – № 4. – С. 5-12.
20. Судаков, С.К. Физиологические механизмы предвидения будущего результата целенаправленного поведения / С.К. Судаков // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2019. – Т. 105. – № 1. – С. 36-42.
21. Спилбергер, Ч.Д. Концептуальные и методологические проблемы исследования тревоги / Ч.Д. Спилбергер // Стресс и тревога в спорте : сборник. – Москва : Физкультура и спорт, 1983. – С. 12-24.

22. Практикум по психологии состояний / под ред. А.О. Прохорова. – Санкт-Петербург : Речь, 2004. – 480 с.

REFERENCES

1. Concept for the sustainable development of indigenous minorities of the North, Siberia and the Far East until 2036: Decree of the Government of the Russian Federation No. 1161-r dated May 8, 2025. (in Russ.)
2. On the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and ensuring national security until 2035: Decree of the President of the Russian Federation No. 645 dated October 26, 2020. (in Russ.)
3. Volodina M.O. Social adaptation of children from indigenous minorities of the North to the conditions of a family-type boarding school. Pedagogy and Psychology in the 21st Century: Current State and Research Trends: Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Master's Students, Postgraduates, and Young Teachers. Kirov, 2018. pp. 21-24. (in Russ.)
4. Karastelev A.E. Geographical aspects of organizing school education for nomadic people of the Russian North. Educational Tourism in Schools and Universities: Collection of articles based on the materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Moscow: Lika, 2024. pp. 159-165. (in Russ.)
5. Nurieva L.M., Tkachuk N.V. Monitoring of the quality of education of students among the indigenous small-numbered peoples of the North in boarding schools of Yugra (based on the results of sociological research). *Vestnik ugrovedenia = Bulletin of Ugric Studies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 589-597. (in Russ.)
6. On Amendments to the Federal Law "On Education in the Russian Federation": Federal Law No. 219-FZ dated June 13, 2023. (in Russ.)
7. Wilk P., Maltby A., Cooke M. Residential schools and the effects on Indigenous health and well-being in Canada – a scoping review. *Public Health Reviews*, 2017, vol. 38, no. 8. DOI: 10.1186/s40985-017-0055-6.
8. Matsiong E. Chum or boarding school: which education is better for children of nomadic indigenous people. *Rossiyskaya Gazeta*, 2024, no. 16. Available at: https://rg.ru/2020/08/18/reg-urfo/chum-ili-internat-kakoe-obrazovanie-dlia-detej-kochuiushchih-aborigenov-luchshe.html (accessed 09.07.2026) (in Russ.)
9. Astakhova T.A., Rychkov L.V., Pogodina A.V. et al. Status of health of adolescents of main ethnic groups of Eastern Siberia. *Medical News of the North Caucasus*, 2018, vol. 13, no. 1.1, pp. 14-17. (in Russ.)
10. Provorova A.A., Smirennikova E.V., Ukhanova A.V. Population health in the russian arctic: problems, challenges, solutions. *Arktika i Sever [Arctic and North]*, 2024, no. 55, pp. 161-181. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2024.55.161. (in Russ.)
11. Shrivastava R., Couturier Y., Girard F. et al. Two-eyed seeing of the integration of oral health in primary health care in Indigenous populations: a scoping review. *International Journal for Equity in Health*, 2020, vol. 107. DOI: 10.1186/s12939-020-01195-3.
12. Hop Wo N.K., Anderson K.K., Wylie L., MacDougall A. The prevalence of distress, depression, anxiety, and substance use issues among Indigenous postsecondary students in Canada. *Transcultural Psychiatry*, 2020, vol. 57, no. 2, pp. 263-274.
13. Kolpakov V.V., Bespalova T.V., Tomilova E.A. et al. Systemic analysis: individual typological characteristics of the human body. *Human Physiology*, 2011, vol. 37, no. 6, pp. 738-749.
14. Nagaeva M.O., Kolpakov S.V., Grigoriev S.S., Tomilova E.A. Physiological basis for consistent motor regime correction in young people with connective tissue dysplasia and periodontitis. *Human. Sport. Medicine*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 140-150. DOI: 10.14529/hsm230119. (in Russ.)
15. Sudakov K.V. Selected Works. Vol. 2: Systemic mechanisms of dominant motivations. Moscow: State Research Institute of Normal Physiology named after P.K. Anokhin, Russian Academy of Medical Sciences, 2008. 484 p. (in Russ.)
16. Sudakov K.V. Selected Works. Vol. 3: Emotions and emotional stress. Moscow: State Research Institute of Normal Physiology named after P.K. Anokhin, Russian Academy of Medical Sciences, 2012. 534 p. (in Russ.)
17. Baevsky R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V. et al. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (methodological guidelines). *Journal of Arrhythmology*, 2001, no. 24, p. 65. (in Russ.)
18. Baevsky R.M., Berseneva A.P. Introduction to prenosological diagnostics. Moscow: Slovo, 2008. 220 p. (in Russ.)
19. Berseneva A.P., Funtova I.I. Prenosological diagnostics as a methodology of organism physiological condition assessment and its place in space and terrestrial medicine. *Aerospace and Environmental Medicine*, 2023, vol. 57, no. 4, p. 5. (in Russ.)
20. Sudakov S.K. Physiological mechanisms of anticipation of result of future behavior. *Russian*

Journal of Physiology, 2019, vol. 105, no. 1, p. 36. (in Russ.)
21. Spielberger Ch.D. Conceptual and methodological problems of anxiety research. Stress and Anxiety in Sports: collection. Transl. into Russian. Moscow: Fizkultura i Sport, 1983. pp. 12-24. (in Russ.)
22. Practicum on the state psychology. Prokhorov A.O., ed. Saint Petersburg : Rech, 2004. 480 p. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Александра Николаевна Ослина – ассистент кафедры терапевтической стоматологии, Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, e-mail: aleksandra-0777@mail.ru.
Виктор Васильевич Колпаков – доктор медицинских наук, профессор кафедры нормальной физиологии, Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, e-mail: kolpakov661@rambler.ru.
Анна Анатольевна Ткачук – кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной физиологии, Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, e-mail: ponchik117@mail.ru.
Анна Ивановна Березенцева – кандидат педагогических наук, доцент кафедры нормальной физиологии, Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, e-mail: bereza-psy@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Aleksandra N. Oslina – Assistant of the Department of Therapeutic Dentistry, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: aleksandra-0777@mail.ru.
Viktor V. Kolpakov – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Normal Physiology, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: kolpakov661@rambler.ru.
Anna A. Tkachuk – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: ponchik117@mail.ru.
Anna I. Berezentseva – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: bereza-psy@yandex.ru.

Для цитирования: Психофизиологические особенности и стрессоустойчивость подростков коренных малочисленных народов Севера при внедрении здоровьесберегающих технологий в условиях интерната / А.Н. Ослина, В.В. Колпаков, А.А. Ткачук, А.И. Березенцева // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_13

For citation: Oslina A.N., Kolpakov V.V., Tkachuk A.A., Berezentseva A.I. Psychophysiological characteristics and stress resistance in northern indigenous adolescents under health-preserving technologies in boarding schools. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_13

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_14
УДК 612.67:004.8

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_14
UDC 612.67:004.8

ЦИФРОВОЙ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ЧЕЛОВЕКА: КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ИНДЕКСА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗРАСТА

Г.В. Пономарева[1], О.В. Тарасов[1], А.А. Моисеенко[2], Е.С. Кутин[2], А.О. Попова[2]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Рязань, Россия

[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Существующие показатели биологического возраста отражают отдельные уровни организации организма и не обеспечивают одновременную оценку межсистемной неоднородности, функционального резерва и индивидуального темпа изменений. Цель: обосновать концепцию цифрового физиологического профиля человека и сформулировать принципы построения и валидации интегрального индекса физиологического возраста. ***Методы.*** Выполняется аналитический обзор 20 рецензируемых публикаций 2006-2025 гг., отобранных из более чем 50 источников, представленных в PubMed, Google Scholar, eLibrary.ru и КиберЛенинке. ***Результаты.*** Цифровой физиологический профиль определяется как продольное мультимодальное представление состояния функциональных систем, их резерва, динамики и контекста измерения. Предлагаемая архитектура объединяет доменные возрастные эквиваленты, показатели качества данных, неопределенность результата и характеристики восстановления после стандартизованной нагрузки. Формулируются требования к разделению выборок, внешней и продольной валидации, калибровке, оценке систематической ошибки и клинической полезности. ***Заключение.*** До подтверждения прогностической и клинической ценности в независимых проспективных исследованиях индекс следует рассматривать как исследовательский инструмент поддержки интерпретации, а не как самостоятельный диагноз или основание для назначения лечения.

Ключевые слова: физиологический возраст, биологический возраст, цифровой физиологический профиль, цифровые биомаркеры, функциональный резерв, старение.

DIGITAL HUMAN PHYSIOLOGICAL PROFILE: A CONCEPT OF AN INTEGRAL PHYSIOLOGICAL AGE INDEX

G.V. Ponomareva[1], O.V. Tarasov[1], A.A. Moiseenko[2], E.S. Kutin[2], A.O. Popova[2]

[1]Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia

[2]I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Existing biological age measures reflect separate levels of biological organization and do not simultaneously characterize intersystem heterogeneity, functional reserve, and the individual rate of change. Objective: to substantiate the concept of a digital human physiological profile and formulate principles for constructing and validating an integral physiological age index. ***Methods.*** An analytical review is conducted of 20 peer-reviewed publications from 2006-2025 selected from more than 50 sources indexed or available in PubMed, Google Scholar, eLibrary.ru, and CyberLeninka. ***Results.*** A digital physiological profile is defined as a longitudinal multimodal representation of functional system status, reserve, dynamics, and measurement context. The proposed architecture integrates domain-specific age equivalents, data-quality indicators, result uncertainty, and recovery characteristics after a standardized challenge. Requirements are formulated for data splitting, external and longitudinal validation, calibration, bias assessment, and clinical utility. ***Conclusion.*** Until prognostic and clinical value is confirmed in independent prospective studies, the index should be regarded as a research-oriented interpretation-support tool rather than a stand-alone diagnosis or a basis for treatment decisions.

Keywords: physiological age, biological age, digital physiological profile, digital biomarkers, functional reserve, aging.

Введение. Старение представляет собой нелинейный многоуровневый процесс, при котором молекулярные повреждения, нарушения регуляции и снижение функционального резерва формируются одновременно, но с неодинаковой скоростью [1]. Выраженность возрастных изменений различается между органами, функциональными системами и отдельными людьми, что подтверждается данными органоспецифического и продольного профилирования [1-3]. Хронологический возраст характеризует длительность жизни, однако сам по себе не обеспечивает индивидуальную оценку функционального состояния и уязвимости организма [4, 5].

Биологический возраст рассматривается как количественный конструкт, предназначенный для характеристики состояния организма относительно выбранной референтной популяции и заранее определенного сценария применения [4-6]. Его интерпретация зависит от целевой задачи: описания текущего состояния, прогнозирования неблагоприятных исходов, оценки динамики или анализа ответа на профилактическое либо лечебное вмешательство [4, 6]. Биологический возраст не является самостоятельным диагнозом, поскольку его клиническое значение определяется валидностью конкретной модели и доказанной связью с клинически значимыми исходами [4, 6].

Клинико-лабораторные и функциональные модели биологического возраста используют показатели крови, функции органов и систем, а также характеристики гомеостатической регуляции [7-12]. Эпигенетические модели отражают возраст-ассоциированные изменения метилирования дезоксирибонуклеиновой кислоты и могут характеризовать как накопленное состояние, так и темп старения [13-15]. Органоспецифические и продольные исследования дополнительно показывают, что возрастные изменения имеют выраженную межсистемную и индивидуальную неоднородность [2, 3]. Согласованность результатов разных моделей остается ограниченной, поскольку они измеряют различные уровни биологической организации и оптимизируются для разных задач [11]. Следовательно, высокая точность воспроизведения хронологического возраста не подтверждает клиническую валидность модели без оценки прогностической ценности, калибровки и полезности для принятия решений [4, 6].

Цель работы заключается в научном обосновании концепции цифрового физиологического профиля человека и формулировании принципов расчета, представления и валидации интегрального индекса физиологического возраста.

Методы и организация исследования. В работе выполняется аналитический обзор научной литературы, опубликованной в 2006-2025 гг. Поиск проводится в PubMed, Google Scholar, eLibrary.ru и КиберЛенинке с использованием русскоязычных и англоязычных сочетаний терминов «биологический возраст», «физиологический возраст», «цифровые биомаркеры», «функциональный резерв», «носимые устройства», «электрокардиография», «валидация биомаркеров старения» и «клинические прогнозные модели».

В анализ включаются рецензируемые полнотекстовые публикации, в которых описываются методы количественной оценки возраста организма, продольные цифровые показатели, органоспецифические изменения или требования к валидации медицинских моделей. Исключаются дублирующиеся работы, публикации без описания методики и материалы, не относящиеся к оценке старения или функционального состояния. На этапе идентификации рассматривается более 50 источников; после тематического и методологического отбора в аналитический синтез включаются 20 публикаций. Различия в дизайне, составах выборок, наборах признаков и конечных точках не позволяют выполнить количественное объединение результатов, поэтому применяется качественный концептуально-аналитический синтез.

Результаты исследования и их обсуждение. *Понятие цифрового физиологического профиля.* В рамках настоящей концепции физиологический возраст определяется как возрастной эквивалент совокупного функционального состояния организма и способности его систем поддерживать гомеостаз в покое, в условиях повседневной активности и после стандартизованной нагрузки. В отличие от обобщенного биологического возраста,

физиологический возраст ориентирован на непосредственно измеряемую функцию, функциональный резерв и характер восстановления. Функциональный домен понимается как группа взаимосвязанных показателей, описывающих определенную систему или физиологическую функцию; сохранение доменной структуры соответствует данным о неоднородности органного и индивидуального старения [2, 3, 12].

Цифровой физиологический профиль в настоящей работе определяется как продольное мультимодальное представление состояния человека. Продольная организация профиля необходима для различения устойчивой индивидуальной траектории и кратковременных колебаний показателей [2, 16]. Мультимодальная структура объединяет данные разных функциональных систем и тем самым снижает риск подмены многомерного состояния одной частной характеристикой [2, 3, 12, 16, 17]. Профиль включает вектор доменных оценок, их динамику, контекст измерения, качество исходных данных и количественную характеристику неопределенности результата.

Состав функциональных доменов и минимальный набор показателей в таблице 1 представляют авторскую концептуальную систематизацию, основанную на данных об органоспецифическом старении, функциональном резерве, цифровой активности и электрокардиографическом возрастном сигнале [2, 3, 12, 16-18]. Под физиологическим конструктом понимается обобщаемая функциональная характеристика, которую предполагается измерять соответствующим набором показателей. Представленный перечень не является утвержденным клиническим стандартом и подлежит уточнению в исследованиях аналитической и клинической валидности [6].

Таблица 1

Ядро цифрового физиологического профиля

Функциональный домен	Минимальный набор данных	Оцениваемый физиологический конструкт
Сердечно-сосудистый	Артериальное давление, электрокардиография, частота и вариабельность сердечного ритма, восстановление после нагрузки	Гемодинамическая и автономная регуляция, сердечно-сосудистый резерв
Дыхательный	Спирометрия, насыщение крови кислородом, частота дыхания, кардиореспираторная проба, восстановление	Вентиляционный и аэробный резерв
Метаболический	Глюкоза, липиды, креатинин, альбумин, показатели функции печени, общий анализ крови	Гомеостатическая устойчивость и функциональное состояние органов
Нейромышечный	Сила кистевого захвата, скорость ходьбы, вставание со стула, равновесие, координация	Мышечная мощность, мобильность и риск функциональной хрупкости
Поведенческий	Физическая активность, сон, суточные ритмы, продолжительность малоподвижного поведения, контекст нагрузки	Повседневная устойчивость и качество восстановления

Архитектура интегрального индекса. Предлагаемая математическая архитектура имеет иерархическую структуру и рассматривается как проверяемая концептуальная модель, а не как клинически валидированный алгоритм. Для каждого функционального домена d модель f(d) на основании данных X(d) и контекста C оценивает возрастной эквивалент A(d). Функция U(d) определяет величину u(d), выраженную в единицах возраста и интерпретируемую как стандартная неопределенность доменной оценки:

$$A(d) = f(d)[X(d), C],$$
$$u(d) = U(d)[X(d), C].$$

Контекст C включает пол, антропометрические показатели, лекарственную терапию, наличие острого заболевания, тип

устройства и условия измерения, поскольку эти факторы способны изменять распределение физиологических показателей и переносимость модели [6, 16, 17, 19, 20]. Индекс качества q(d) принимает значения от 0 до 1 и отражает полноту, техническую пригодность и соответствие данных заданному протоколу. При базовой агрегации вес домена увеличивается при высоком качестве данных и уменьшается при высокой неопределенности:

$$w(d) = q(d) / (u(d)^2 + \varepsilon),$$

$$Абаз = \Sigma w(d)A(d) / \Sigma w(d),$$

где ε представляет собой малую положительную константу, предотвращающую численную нестабильность. Обратная квадратичная зависимость веса от неопределенности является методологическим допущением предлагаемой архитектуры; ее устойчивость и преимущества по сравнению с альтернативными схемами взвешивания подлежат эмпирической проверке [6, 19, 20]. Динамический показатель резерва R формируется из стандартизованных характеристик реакции и восстановления после ортостатической пробы, дозированной ходьбы или другой воспроизводимой нагрузки. Шкала R задается таким образом, что положительное значение соответствует более медленному восстановлению и, следовательно, увеличивает интегральную оценку возраста:

$$A_{физ} = A_{баз} + \lambda R,$$

$$\Delta A = A_{физ} – A_{хрон},$$

где λ характеризует изменение интегрального возраста на одно стандартное отклонение показателя резерва, $A_{хрон}$ обозначает хронологический возраст, а ΔA представляет возрастной разрыв. Коэффициент λ оценивается только в обучающей выборке и фиксируется до внешней проверки, что ограничивает риск оптимистического смещения [19]. Итоговый результат представляется вместе с 95% интервалом неопределенности, вектором доменных оценок A(d), показателем качества данных и перечнем факторов, вносящих основной вклад в значение индекса [6, 19, 20].

При повторных измерениях темп изменения оценивается с помощью смешанной или байесовской траекторной модели, позволяющей учитывать внутрисубъектную зависимость наблюдений и неодинаковое число визитов [2, 6]. В рамках предлагаемой концепции для индивидуальной оценки предусматривается не менее трех стандартизованных измерений: два наблюдения позволяют рассчитать только разность, тогда как третье измерение дает минимальную возможность оценить устойчивость направления изменений относительно ошибки и кратковременной вариабельности.

Функциональная нагрузка и цифровые показатели. Функциональный резерв проявляется в характере ответа организма на контролируемое отклонение от состояния покоя и в скорости последующего восстановления [5, 18]. Поэтому в профиль включаются показатели реакции на ортостатическую пробу, дозированную ходьбу, подъем по ступеням или иную стандартизованную нагрузку, для которой заранее определены протокол и критерии качества. При интерпретации учитываются сон, стресс, температура окружающей среды, уровень гидратации, лекарственная терапия и недавно перенесенное острое заболевание, поскольку контекст способен существенно изменять цифровые и физиологические показатели [16, 17].

Кардиореспираторная подготовленность рассматривается как значимый компонент профиля, поскольку ее связь с долгосрочной смертностью подтверждается результатами крупных наблюдательных исследований [18]. Данные носимых устройств показывают возможность выделения возраст-ассоциированного сигнала из параметров двигательной активности [16], а алгоритмы анализа стандартной 12-канальной электрокардиограммы позволяют оценивать возраст и пол по электрической активности сердца [17]. Вместе с тем наличие статистически воспроизводимого возрастного сигнала не доказывает причинную связь и не подтверждает клиническую пользу изменения рассчитанного индекса [4, 6].

Обучение и валидация модели. Разработка индекса разделяется на две взаимосвязанные задачи: формирование референтной шкалы и проверку прогностической ценности [6-8, 12]. В референтной выборке лиц без декомпенсированных заболеваний формируются возрастные нормативы, оценивается форма связи признаков с

возрастом и корректируется систематическая регрессия к среднему [7, 8, 12]. В независимой клинической когорте проверяется, повышает ли индекс точность прогноза смертности, мультиморбидности, госпитализации или функционального снижения по сравнению с хронологическим возрастом и стандартными факторами риска [6].

Единицей разделения данных является отдельный участник исследования, поэтому повторные визиты одного человека не распределяются одновременно между обучающей и тестовой выборками [19]. В многоцентровом исследовании переносимость модели дополнительно проверяется путем разделения данных по медицинским организациям, регионам, устройствам или временным периодам [19, 20]. Импутация пропусков, нормализация, отбор признаков и настройка гиперпараметров выполняются только внутри обучающей части каждого цикла проверки, поскольку использование тестовых данных на этих этапах приводит к утечке информации и завышенной оценке характеристик модели [19].

Валидация проводится на аналитическом, модельном, внешнем, продольном и клиническом уровнях [6]. Оцениваются воспроизводимость измерений, калибровка, переносимость на другие популяции и устройства, устойчивость при неполных данных, систематические ошибки в клинически значимых подгруппах и изменение характеристик модели во времени [6, 19, 20]. Отчетность формируется в соответствии с принципами TRIPOD+AI [19], а требования к надежности, справедливости, прослеживаемости и объяснимости соотносятся с рекомендациями FUTURE-AI [20].

Критерии, представленные в таблице 2, систематизируют минимальные направления проверки предлагаемого индекса в соответствии с современными подходами к валидации биомаркеров старения, отчетности прогнозных моделей и ответственному применению искусственного интеллекта в здравоохранении. Конкретные пороговые значения показателей определяются заранее для каждого сценария применения и не переносятся автоматически между популяциями и устройствами [6, 19, 20].

Таблица 2

Минимальная программа валидации интегрального индекса

Уровень проверки	Основной вопрос	Критерии оценки
Аналитический	Воспроизводится ли измерение при повторе и смене устройства?	Внутриклассовая корреляция, пределы согласия, ошибка измерения
Модельный	Ограничено ли переобучение и корректно ли определена неопределенность?	Вложенная перекрестная проверка, бутстреп, покрытие интервалов неопределенности
Внешний	Сохраняются ли свойства модели в другой популяции и медицинской организации?	Калибровочный наклон, средняя абсолютная ошибка, индекс согласия или площадь под характеристической кривой
Добавочная ценность	Предоставляет ли индекс информацию сверх стандартных факторов риска?	Изменение дискриминации и калибровки, анализ клинической полезности
Продольный	Отражает ли изменение индекса устойчивую динамику состояния?	Минимально обнаруживаемое изменение, индивидуальный темп, устойчивость траектории
Справедливость	Сопоставима ли ошибка в клинически значимых подгруппах?	Стратифицированные показатели, анализ смещения, частота отказа модели

Представление результата и ограничения. Клинически интерпретируемый отчет включает три взаимодополняющих уровня: интегральный физиологический возраст с интервалом неопределенности, доменный профиль с указанием наиболее выраженных отклонений и технический паспорт качества данных [6, 19, 20]. Расчет временно блокируется при остром заболевании, недостаточной длительности записи, критическом объеме пропусков или выходе наблюдения за представленный в обучающей выборке диапазон значений; такое ограничение снижает риск некорректной экстраполяции модели [6, 20].

Порог ускоренного старения определяется только для заранее сформулированного сценария применения, например, для отбора лиц на углубленное обследование или мониторинга реабилитации, поскольку диагностические и прогностические пороги зависят от предполагаемых последствий решения [6, 19, 20]. Изменение индекса после вмешательства не является доказательством снижения клинического риска до подтверждения его валидности в качестве суррогатной конечной точки [4, 6].

Референтная шкала привязывается к конкретной популяции, оборудованию и условиям измерения, поскольку изменение распределения признаков способно нарушать калибровку и переносимость модели [6, 19, 20]. При переносе индекса в другой регион или на новую технологическую платформу сначала оценивается калибровка; при необходимости корректируются свободный член и масштаб модели [19, 20]. Полное переобучение выполняется только при наличии данных о существенном изменении распределения признаков или связи предикторов с исходом [19, 20].

Концепция имеет ряд ограничений. Физиологические показатели зависят от хронических заболеваний, лекарственной терапии, образа жизни и временных изменений состояния, поэтому вклад естественного старения не всегда отделяется от патологического процесса [1-5, 12]. Функциональные нарушения могут отражать более поздний уровень проявления по сравнению с отдельными молекулярными изменениями [1, 4]. По этой причине цифровой физиологический профиль не заменяет генетические, эпигенетические, протеомные и другие биологические показатели и применяется только в рамках заранее определенной клинической или исследовательской задачи [3, 4, 6, 13-15].

Заключение. Цифровой физиологический профиль представляет старение как многомерную продольную траекторию, включающую текущее состояние функциональных систем, функциональный резерв и темп изменений; такой подход соответствует данным о межсистемной и индивидуальной неоднородности старения [2, 3, 12]. Предлагаемый интегральный индекс объединяет доменные возрастные эквиваленты с показателями качества данных, неопределенности и восстановления после стандартизованной нагрузки, сохраняя возможность органоспецифической интерпретации.

Научная состоятельность индекса определяется не точностью воспроизведения хронологического возраста, а добавочной прогностической ценностью, калибровкой, устойчивостью, справедливостью и клинической полезностью [4, 6, 19, 20]. До проведения независимой проспективной валидации интегральный физиологический возраст рассматривается как исследовательский и вспомогательный инструмент. Он не используется как самостоятельный диагноз, основание для назначения лечения или доказательство омоложения организма [4, 6].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The hallmarks of aging / C. López-Otín, M.A. Blasco, L. Partridge [et al.] // Cell. – 2013. – Vol. 153. – No. 6. – P. 1194-1217. DOI: 10.1016/j.cell.2013.05.039.

2. Personal aging markers and ageotypes revealed by deep longitudinal profiling / S. Ahadi, W. Zhou, S.M. Schüssler-Fiorenza Rose [et al.] // Nature Medicine. – 2020. – Vol. 26. – No. 1. – P. 83-90. DOI: 10.1038/s41591-019-0719-5.

3. Organ aging signatures in the plasma proteome track health and disease / H.S. Oh, J. Rutledge, D. Nachun [et al.] // Nature. – 2023. – Vol. 624. – No. 7990. – P. 164-172. DOI: 10.1038/s41586-023-06802-1.
4. Biomarkers of aging for the identification and evaluation of longevity interventions / M. Moqri, C. Herzog, J.R. Poganik [et al.] // Cell. – 2023. – Vol. 186. – No. 18. – P. 3758-3775. DOI: 10.1016/j.cell.2023.08.003.
5. Time and the metrics of aging / L. Ferrucci, M.E. Levine, P.L. Kuo, E.M. Simonsick // Circulation Research. – 2018. – Vol. 123. – No. 7. – P. 740-744. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.118.312816.
6. Validation of biomarkers of aging / M. Moqri, C. Herzog, J.R. Poganik [et al.] // Nature Medicine. – 2024. – Vol. 30. – No. 2. – P. 360-372. DOI: 10.1038/s41591-023-02784-9.
7. Klemera, P. A new approach to the concept and computation of biological age / P. Klemera, S. Doubal // Mechanisms of Ageing and Development. – 2006. – Vol. 127. – No. 3. – P. 240-248. DOI: 10.1016/j.mad.2005.10.004.
8. Levine, M.E. Modeling the rate of senescence: can estimated biological age predict mortality more accurately than chronological age? / M.E. Levine // Journal of Gerontology: Biological Sciences and Medical Sciences. – 2013. – Vol. 68. – No. 6. – P. 667-674. DOI: 10.1093/gerona/gls233.
9. A new aging measure captures morbidity and mortality risk across diverse subpopulations from NHANES IV: a cohort study / Z. Liu, P.L. Kuo, S. Horvath [et al.] // PLoS Medicine. – 2018. – Vol. 15. – No. 12. – P. e1002718. DOI: 10.1371/journal.pmed.1002718.
10. Homeostatic dysregulation proceeds in parallel in multiple physiological systems / Q. Li, S. Wang, E. Milot [et al.] // Aging Cell. – 2015. – Vol. 14. – No. 6. – P. 1103-1112. DOI: 10.1111/acel.12402.
11. Тумороиды и органоиды: перспективы использования трехмерных моделей в персонализированной онкологии / Е.А. Юнкер, А.А. Моисеенко, Е.С. Кутин [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № S1(35). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_S1_20 [In English] Yunker E.A., Moiseenko A.A., Kutin E.S., Popova A.O., Nazarova K.M. Tumoroids and organoids: prospects of using three-dimensional models in personalized oncology. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. S1(35).DOI:10.24412/2588-0500-2025_09_S1_20.
12. Kwon, D. A toolkit for quantification of biological age from blood chemistry and organ function test data: BioAge / D. Kwon, D.W. Belsky // GeroScience. – 2021. – Vol. 43. – No. 6. – P. 2795-2808. DOI: 10.1007/s11357-021-00480-5.
13. Horvath, S. DNA methylation age of human tissues and cell types / S. Horvath // Genome Biology. – 2013. – Vol. 14. – No. 10. – P. R115. DOI: 10.1186/gb-2013-14-10-r115.
14. An epigenetic biomarker of aging for lifespan and healthspan / M.E. Levine, A.T. Lu, A. Quach [et al.] // Aging (Albany NY). – 2018. – Vol. 10. – No. 4. – P. 573-591. DOI: 10.18632/aging.101414.
15. DunedinPACE, a DNA methylation biomarker of the pace of aging / D.W. Belsky, A. Caspi, D.L. Corcoran [et al.] // eLife. – 2022. – Vol. 11. – P. e73420. DOI: 10.7554/eLife.73420.
16. Biological age prediction from wearable device movement data identifies nutritional and pharmacological interventions for healthy aging / R.L. McIntyre, M. Rahman, S.A. Vanapalli [et al.] // Frontiers in Aging. – 2021. – Vol. 2. – P. 708680. DOI: 10.3389/fragi.2021.708680.
17. Age and sex estimation using artificial intelligence from standard 12-lead electrocardiograms / Z.I. Attia, P.A. Friedman, P.A. Noseworthy [et al.] // Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology. – 2019. – Vol. 12. – No. 9. – P. e007284. DOI: 10.1161/CIRCEP.119.007284.
18. Association of cardiorespiratory fitness with long-term mortality among adults undergoing exercise treadmill testing / K. Mandsager, S. Harb, P. Cremer [et al.] // JAMA Network Open. – 2018. – Vol. 1. – No. 6. – P. e183605. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2018.3605.
19. TRIPOD+AI statement: updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods / G.S. Collins, K.G.M. Moons, P. Dhiman [et al.] // BMJ. – 2024. – Vol. 385. – P. e078378. DOI: 10.1136/bmj-2023-078378.
20. FUTURE-AI: international consensus guideline for trustworthy and deployable artificial intelligence in healthcare / K. Lekadir, A.F. Frangi, A.R. Porras [et al.] // BMJ. – 2025. – Vol. 388. – P. e081554. DOI: 10.1136/bmj-2024-081554.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Галина Владимировна Пономарева – кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой физического воспитания и здоровья, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, e-mail: g.ponomareva@rzgmu.ru.
Олег Владимирович Тарасов – преподаватель, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, e-mail: oleg.tarasov.1990@list.ru.

Александр Александрович Моисеенко – студент индивидуальной образовательной траектории Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, e-mail: bratishko3@gmail.com.
Евгений Сергеевич Кутин – студент лечебного факультета Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, e-mail: i@ekutin.ru.
Амелия Олеговна Попова – студентка лечебного факультета Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, e-mail: AmeliPopovaa@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Galina V. Ponomareva – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Education and Health, Ryazan State Medical University, Ryazan, e-mail: g.ponomareva@rzgmu.ru.
Oleg V. Tarasov – Lecturer, Ryazan State Medical University, Ryazan, e-mail: oleg.tarasov.1990@list.ru.
Aleksandr A. Moiseenko – Student of an individual educational trajectory, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Sechenov University, Moscow, e-mail: bratishko3@gmail.com.
Evgeny S. Kutin – Medical Faculty Student, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Sechenov University, Moscow, e-mail: i@ekutin.ru.
Amelia O. Popova – Medical Faculty Student, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Sechenov University, Moscow, e-mail: AmeliPopovaa@yandex.ru.

Для цитирования: Цифровой физиологический профиль человека: концепция интегрального индекса физиологического возраста / Г.В. Пономарева, О.В. Тарасов, А.А. Моисеенко [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_14

For citation: Ponomareva G.V., Tarasov O.V., Moiseenko A.A., Kutin E.S., Popova A.O. Digital human physiological profile: a concept of an integral physiological age index. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_14

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_15
УДК 612.17 + 612.821 + 159.9:378.18

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_15
UDC 612.17 + 612.821 + 159.9:378.18

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ДЕЗАДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ СЕВЕРНОГО ВУЗА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПСИХОСОЦИАЛЬНОГО СТРЕССА

М.А. Попова, А.Э. Щербакова, А.С. Лакомкина
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный педагогический университет», г. Сургут, Россия

Аннотация. ***Введение.*** В статье представлен анализ физиологических и психологических детерминант дезадаптации студентов северного вуза при сочетанном воздействии климатогеографических факторов и психосоциального стресса. ***Методы.*** Проспективное наблюдение 158 студентов (84 юноши, 74 девушки) в возрасте 17-22 лет в 2019-2023 гг. Оценивали вариабельность сердечного ритма, гемодинамику, функциональное состояние центральной нервной системы, тревожность, депрессию, личностный адаптационный потенциал, нервно-психическую устойчивость, качество жизни. ***Результаты.*** Выявлены ключевые маркеры стресс-индуцированных дисфункций: дисбаланс вегетативной нервной системы с преобладанием симпатикотонии, снижение общей мощности спектра вариабельности сердечного ритма, повышение уровня тревожности и депрессии. Гендерные особенности: у юношей доминируют гемодинамические изменения (повышение артериального давления, симпатикотония), у девушек – психологическая реактивность (тревожность). ***Заключение.*** Интегральным предиктором стрессоустойчивости является низкий личностный адаптационный потенциал.

Ключевые слова: адаптация, студенты, Север, психосоциальный стресс, вариабельность сердечного ритма, личностный адаптационный потенциал, тревожность, депрессия, вегетативная регуляция, дезадаптация.

PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL DETERMINANTS OF MALADAPTATION IN NORTHERN UNIVERSITY STUDENTS EXPOSED TO PSYCHOSOCIAL STRESS

M.A. Popova, A.E. Shcherbakova, A.S. Lakomkina
Surgut State Pedagogical University, Surgut, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The article presents an analysis of physiological and psychological determinants of maladaptation in northern university students under the combined impact of climatic-geographical factors and psychosocial stress. ***Methods.*** We conducted a prospective observation of 158 students (84 males, 74 females) aged 17-22 years in 2019-2023. Heart rate variability, hemodynamics, functional state of the central nervous system, anxiety, depression, personal adaptive potential, neuropsychic stability, and quality of life were assessed. ***Results.*** Key markers of stress-induced dysfunctions were identified: autonomic nervous system imbalance with sympathicotonia predominance, decreased total spectral power of heart rate variability, increased levels of anxiety and depression. Gender-specific features: hemodynamic changes (elevated blood pressure, sympathicotonia) dominate in males, while psychological reactivity (anxiety) prevails in females. ***Conclusion.*** Low personal adaptive potential is an integral predictor of stress tolerance.

Keywords: adaptation, students, North, psychosocial stress, heart rate variability, personal adaptive potential, anxiety, depression, autonomic regulation, maladaptation.

Введение. Сохранение здоровья учащейся молодежи как основы трудового потенциала стратегических северных территорий является одной из приоритетных задач государства. К таким экономически значимым регионам относится Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, который характеризуется комплексом факторов, предъявляющих повышенные требования к функциональным системам организма: резкая фотопериодичность, критические перепады атмосферного давления, низкие температуры, выраженный УФ-дефицит [1]. На этом неблагоприятном фоне процесс обучения в высшей школе, сопряженный с высокими психоэмоциональными

нагрузками, экзаменационным стрессом и, в последние годы, с дополнительным стресс-фактором пандемии COVID-19, создает высокий риск развития стресс-индуцированных дисфункций и дезадаптации [2, 3]. Адаптация к комплексу этих воздействий требует значительного напряжения регуляторных механизмов, в первую очередь вегетативной (ВНС) и центральной (ЦНС) нервных систем. Неспособность организма поддерживать гомеостаз в изменяющихся условиях приводит к срыву адаптации, который клинически может проявляться психосоматическими расстройствами, нарушениями сердечного ритма, повышением артериального давления, тревожно-депрессивными состояниями [4].

Современные исследования адаптации студентов базируются на комплексном подходе, объединяющем физиологические, психологические и психофизиологические методы диагностики. Ключевым инструментом оценки вегетативной регуляции выступает анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР), который рассматривается как интегральный маркер состояния механизмов гомеостаза [5]. В исследовании C. Gupta с соавт. (2026) показано, что показатели ВСР, зарегистрированные за неделю до экзаменационной сессии, позволяют прогнозировать академическую успеваемость студентов-медиков, что подтверждает высокую диагностическую ценность данного метода [2].

Важным направлением является разработка стандартизированных подходов к оценке адаптационной готовности личности. Р.М. Шамионов и А.А. Шаров (2025) на выборке из 385 студентов московских, волгоградских и саратовских вузов показали, что психологический и социально-психологический компоненты адаптационной готовности выступают прямыми предикторами академической адаптации, а также медиаторами связи между отношением к образовательной среде и успешностью адаптации [5]. Полученные результаты обосновывают необходимость разработки программ академической адаптации с учетом индивидуальных особенностей адаптационной готовности.

ВНС является первичным звеном в реализации стресс-реакции. Исследования последних лет подтверждают, что воздействие психоэмоционального стресса приводит к характерным изменениям спектральных и временных показателей ВСР. Ключевыми механизмами, определяющими переход от физиологической стресс-реакции к патологической дезадаптации, являются истощение парасимпатических механизмов регуляции, симпатикотония, повышение артериального давления [1]. В работе M. Fedkiv с соавт. (2025) установлено, что у студентов с более высоким уровнем физической подготовки наблюдаются исходно повышенная парасимпатическая активность в покое и более эффективная симпатическая реакция на когнитивную нагрузку, что свидетельствует о лучшей адаптивности вегетативной регуляции [6].

Психофизиологические исследования указывают на взаимосвязь между показателями функционального состояния ЦНС и уровнем стресса. S.I. Kalashchenko (2021) на примере студентов медицинских вузов показала, что в условиях дефицита времени наблюдается снижение функциональной подвижности нервных процессов, что отражается на показателях кратковременной памяти [7]. Установлена корреляционная связь между скоростью реакции на стимул и объемом информации, сохраняемой в кратковременной памяти, что подчеркивает важность оценки психофизиологических функций для прогнозирования успешности профессиональной деятельности.

Важнейшим психологическим ресурсом, определяющим успешность адаптации к стрессу, выступает осознанная саморегуляция. В масштабном исследовании В.И. Моросановой с соавт. (2025), охватившем 1 436 студентов в возрасте 16-23 лет, установлено, что осознанная саморегуляция является метаресурсом, интегрирующим усилия по преодолению стресса [3]. Студенты с низким уровнем воспринимаемого стресса демонстрируют более развитую осознанную саморегуляцию и более высокую карьерную адаптивность по сравнению со студентами со средними и высокими значениями стресса. В связи с этим, выявление физиологических и психологических детерминант, определяющих риск дезадаптации у студентов северного вуза, является актуальной научной и практической задачей.

Цель исследования – на основе комплексного анализа выявить ключевые физиологические и психологические предикторы дезадаптации организма студентов северного вуза к воздействию психосоциального стресса.

Методы и организация исследования. В основе эмпирической части работы лежат результаты 5-летнего мониторинга (2019-2023 гг.) состояния здоровья студентов Сургутского государственного педагогического университета (СурГПУ). Исследование проводилось в несколько этапов, включая межсессионные периоды обучения, экзаменационные сессии, а также периоды, связанные с дистанционным обучением и самоизоляцией во время пандемии COVID-19. В проспективном когортном исследовании приняли участие 158 студентов в возрасте от 17 до 22 лет, из них 74 девушки и 84 юноши. Критерии включения: здоровые студенты без хронических заболеваний в стадию обострения. Исследование одобрено Этическим комитетом СурГПУ (протокол № 2 от 16.01.2019 г.). Информированное согласие всех участников исследования получено в соответствии с регламентом Хельсинкской декларации и национального стандарта Российской Федерации о надлежащей клинической практике.

Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы оценивали по ВСР в покое и при активной ортостатической пробе (АОП) на аппарате «Поли-Спектр» (Нейрософт, Россия), анализировали временные (SDNN – стандартное отклонение интервалов NN, RMSSD – показатель активности парасимпатического звена вегетативной нервной системы, pNN50 – процент последовательных нормальных интервалов NN, которые различаются более чем на 50 мс) и спектральные показатели (TP – общая мощность спектра, HF – вклад высокочастотных колебаний, LF – вклад низкочастотных колебаний, VLF – вклад крайне низкочастотных колебаний, LF/HF – индекс симпато-вагального баланса) в соответствии с международными стандартами [5, 8]. Измеряли систолическое и диастолическое артериальное давление (САД, ДАД) и центральное аортальное систолическое давление (цСАД) портативным аппаратом A-PULSE-CASPal (Сингапур). Оценка уровней артериального давления проводилась по классификации Европейского кардиологического общества (2018) [9].

Функциональное состояние ЦНС оценивали на аппаратно-программном комплексе «НС-ПсихоТест» (Нейрософт, Россия). Определяли время простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) и интегральные критерии по Т.Д. Лоскутовой: функциональный уровень системы (ФУС) и уровень функциональных возможностей (УФВ) [10]. Психодиагностическое обследование: шкала депрессии Бека (BDI): количественная и качественная оценка депрессии; тест Спилбергера-Ханина: оценка личностной (ЛТ) и реактивной (РТ) тревожности; многоуровневый личностный опросник «Адаптивность»: определение личностного адаптационного потенциала (ЛАП); опросник «Прогноз-1»: оценка нервно-психической устойчивости (НПУ); опросник ТФАР (тревожность, фрустрированность, агрессивность, ригидность); опросник качества жизни SF-36: оценка физического (РН) и психического компонентов (МН) здоровья.

Статистический анализ проводили с использованием программы Statistica 13.3 (США). Применяли U-критерий Манна-Уитни для сравнения количественных данных юношей и девушек, критерий Вилкоксона для оценки динамики показателей, корреляционный анализ по Спирмену (r). Критерий значимости различий – $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. В межсессионный период обучения осенью 2019 года показатели студентов обоих полов были в пределах нормы. После периода дистанционного обучения в межсессионный и экзаменационный периоды 2021 года отмечено ухудшение показателей ВСР, гемодинамики, ЦНС, рост тревожности и депрессии (табл.).

Через год в феврале-марте 2022 в межсессионный период отмечено частичное восстановление функциональных показателей ВНС и ЦНС, близкое к уровню 2019 года, в экзаменационный период отмечено напряжение вегетативной регуляции. Значимых различий изучаемых показателей в межсессионные и экзаменационные периоды 2022-2023 у студентов не выявлено.

Таблица

Ключевые физиологические и психологические показатели у студентов в разные периоды обучения: гендерные различия, Me [Q1; Q3]

Показатель	Межсессионный период, осень 2019		Межсессионный период после пандемии, 2021		Экзаменационный период, 2021	
	Юноши n=84	Девушки n=74	Юноши n=84	Девушки n=74	Юноши n=84	Девушки n=74
TP, мс²	2100 [1850; 2350]	1800 [1600; 2050]	1600 [1350; 1820]	1400* [1150; 1620]	1300* [1050; 1520]	1100* [920; 1320]
LF/HF, усл.ед.	1,2 [1,0; 1,5]	1,0 [0,8; 1,3]	1,6* [1,3; 2,0]	1,3* [1,1; 1,6]	2,0** [1,6; 2,4]	1,7** [1,3; 2,1]
Реактивная тревожность, баллы	35 [30; 42]	38 [32; 46]	48** [42; 56]	54** [48; 62]	36 [30; 44]	56** [48; 64]
Депрессия, баллы	5 [2; 8]	6 [3; 9]	12** [9; 16]	15** [11; 19]	11** [8; 15]	14** [10; 18]
ЛАП низкий, %	14,2 [12; 18]	18,1 [15; 22]	41,3** [36; 47]	48,7** [42; 55]	38,2* [32; 45]	44,6** [39; 51]

Примечание: TP – общая мощность спектра вариабельности сердечного ритма; LF/HF – индекс симпато-вагального баланса; ЛАП – личностный адаптационный потенциал; * – $p<0,05$; ** – $p<0,01$ – сравнение с показателями 2019 года (межсессионный период) внутри каждой половой группы (критерий Вилкоксона).

Детерминанты, обусловленные климатогеографическими факторами. В наших предыдущих [1] и настоящем исследовании у студентов северного вуза выявлены особенности вегетативной регуляции, проявляющиеся в исходном напряжении симпатического отдела ВНС. В структуре спектральной мощности ВСР у юношей в покое отмечалось более высокое значение LF/HF по сравнению с девушками, что указывает на смещение вегетативного баланса в сторону симпатикотонии ($p=0,002$). У каждого четвертого юноши и каждой десятой девушки была выявлена предгипертония с повышением цСАД выше половозрастных референсных значений [1].

Детерминанты, обусловленные психосоциальным стрессом. В период экзаменов у студентов наблюдались выраженные сдвиги как физиологических, так и психологических показателей. Установлено достоверное снижение TP по сравнению с межсессионным периодом обучения. Одновременно отмечалось увеличение LF спектра ВСР, что отражает активацию симпатического звена регуляции. Психологическая реакция на экзаменационный стресс проявлялась достоверным повышением уровня депрессии и тревожности, как личностной, так и реактивной. Сумма баллов по шкале депрессии у девушек и юношей в экзаменационный период увеличивалась до уровня легкой степени депрессии. Особенно показательным было увеличение числа студентов с высокой личностной тревожностью: у юношей этот показатель вырос в 7 раз в период экзаменов.

В период вынужденной самоизоляции весной 2020 года по результатам онлайн-опроса у студентов с низким ЛАП (45,1% выборки) были зафиксированы наиболее неблагоприятные изменения. У них отмечались достоверно более высокие показатели НПУ, тревожности, фрустрированности и ригидности, а также более низкие показатели общего состояния здоровья (GH), жизнеспособности (VT) и психического здоровья (MH) по опроснику SF-36. После завершения острого периода пандемии и возврата к очному обучению (осенью 2021 года) отмечалась положительная динамика: уменьшилось число студентов с низкой адаптацией, улучшились показатели НПУ и качества жизни. Однако у студентов, особенно юношей, сохранялись признаки вегетативной дисрегуляции. У 22,7% юношей и 32,4% девушек была выявлена пограничная реакция на АОП по коэффициенту К30:15, а у 18,2% юношей и 10,8% девушек – патологическая, что свидетельствует о сниженной парасимпатической реактивности.

Результаты корреляционного анализа по Спирмену выявили статистически значимые связи между ЛАП и показателями функционального состояния ЦНС (ЛАП и время ПЗМР: R=-0,62, p<0,01). Отрицательная связь свидетельствует о том, что чем выше адаптационный потенциал студента, тем меньше время простоя зрительно-моторной реакции (то есть быстрее сенсомоторный ответ). Это согласуется с представлением о том, что высокий ЛАП способствует более эффективной мобилизации нервных процессов в условиях тестирования. Положительная связь высокой силы между ЛАП и ФУС – комплексным показателем, отражающим баланс нервных процессов и работоспособности (r=0,67, p<0,01), свидетельствует о том, что студенты с высоким ЛАП имеют значительно более высокий функциональный уровень ЦНС. Это подтверждает валидность ЛАП как интегральной характеристики нейродинамического обеспечения мозговой деятельности. Аналогично, более высокий ЛАП сопряжен с большим уровнем функциональных возможностей ЦНС (ЛАП и УФВ: r=0,64, p<0,01), то есть студенты способны дольше поддерживать оптимальную работоспособность без значимого утомления.

Полученные ранговые корреляции показывают, что ЛАП является сильным предиктором нейродинамической эффективности. Это делает ЛАП ценным скрининговым инструментом для прогнозирования успешности учебной деятельности и устойчивости к стрессу у студентов северного региона.

Реактивная тревожность показала умеренные, но статистически значимые отрицательные корреляции с функциональным состоянием ЦНС. Положительная связь РТ и ПЗМР (r=0,51, p<0,05), показывает, что чем выше уровень реактивной тревоги, тем длиннее (хуже) время реакции. Это типичный эффект стрессовой активации, которая ухудшает концентрацию внимания и увеличивает латентные периоды сенсомоторного ответа. Отрицательная связь умеренной силы между РТ и ФУС (r=-0,48, p<0,05) подтверждает, что высокий уровень тревоги ассоциирован со снижением функционального уровня ЦНС. Тревожные студенты быстрее истощают нервные ресурсы, что отражается в более низких значениях ФУС. Аналогичная закономерность выявлена между РТ и УФВ (r=-0,45, p<0,05): тревога снижает уровень функциональных возможностей ЦНС, хотя связь несколько слабее, чем для ФУС. Реактивная тревожность, хотя и оказывает отрицательное влияние на показатели ЦНС, имеет несколько меньшую силу связи по сравнению с ЛАП (r от -0,45 до +0,51 против r от -0,62 до +0,67 у ЛАП). Это ожидаемо, поскольку ЛАП является более стабильной личностной характеристикой, интегрирующей не только эмоциональный, но и поведенческий, коммуникативный и регуляторный компоненты. Тем не менее, в периоды острого стресса (экзамен, период пандемии) вклад реактивной тревожности в дезорганизацию функций ЦНС возрастает.

В экзаменационный период зафиксировано достоверное снижение ТР у юношей (на 38%) и девушек (на 39%, p<0,05), а также повышение LF/HF (юноши – на 67%, p<0,01; девушки – на 70%, p<0,01), что отражает истощение адаптационных резервов и сдвиг вегетативного баланса в сторону симпатикотонии.

Максимальные значения тревожности и депрессии зафиксированы после периода дистанционного обучения (2021), особенно у девушек. В экзаменационный период (2022) уровень депрессии у девушек остается повышенным по сравнению с допандемийным (p<0,01), тогда как у большинства юношей отмечена нормализация психического состояния.

Гендерные особенности детерминант дезадаптации. Анализ выявил значимые гендерные различия в характере адаптивных реакций. Для юношей характерен гемодинамический тип реакции (более высокая симпатикотония, повышение периферического и центрального артериального давления), тогда как у девушек доминирует психологический тип (более высокая тревожность и депрессия) при относительно более высокой нервно-психической устойчивости (рис. 2).

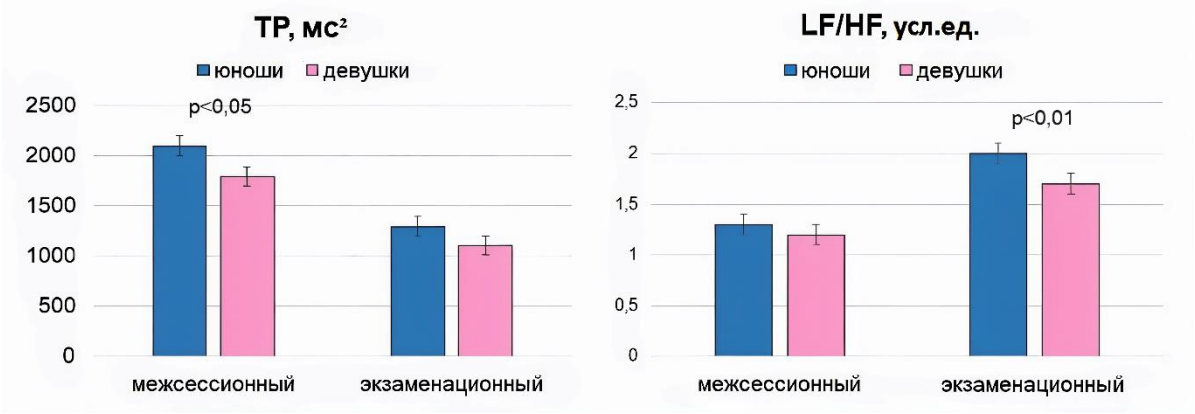


Рис. 1. Изменение общей мощности спектра ВСР (TP, левая ось) и индекса симпато-вагального баланса (LF/HF, правая ось) у студентов в межсессионный и экзаменационный периоды. Данные представлены как усредненные M±m за 2022-2023

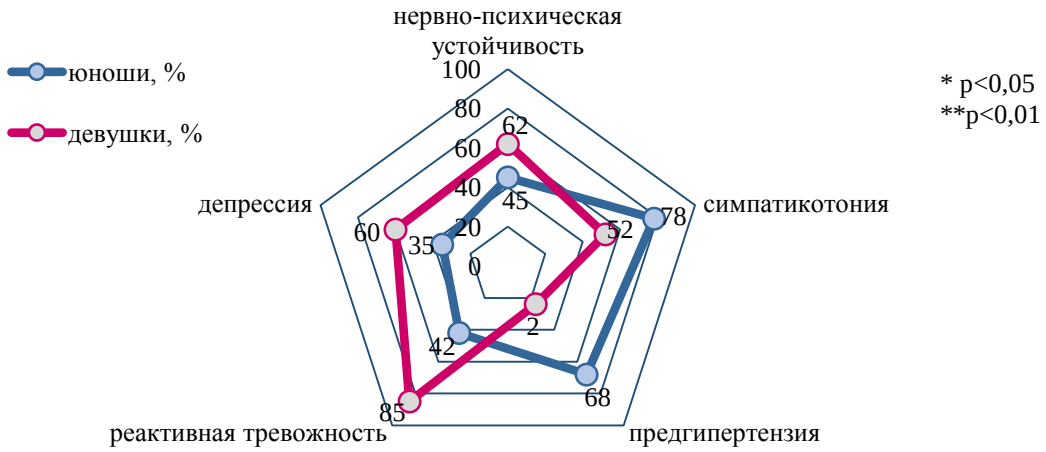


Рис. 2. Радарная диаграмма гендерных различий психических и гемодинамических адаптивных реакций на психосоциальный стресс (данные экзаменационного периода нормированы в процентах от максимального значения в выборке: юноши (n=84); девушки, (n=74))

Механизмы нарушения адаптации и межсистемные взаимодействия. Эколого-климатические условия Севера вносят существенный вклад в формирование адаптивных реакций организма. Результаты 20-летнего мониторинга состояния здоровья студентов СурГПУ, проведенного нами до пандемии коронавирусной инфекции показали, что сочетанное воздействие экстремальных факторов и психосоциального стресса приводит к формированию специфического фенотипа дезадаптации, характеризующегося: исходным напряжением симпатического отдела ВНС, особенно выраженным у юношей; недостаточностью парасимпатической реактивности, замедляющей процессы восстановления; повышенной психологической уязвимостью на фоне сниженного адаптационного потенциала [1].

Универсальной физиологической основой адаптации к стрессу является реакция активации симпато-адреналовой системы. В нашем исследовании эта реакция проявилась у студентов в экзаменационный период увеличением LF в общий спектр ВСР и снижением TP. Однако ключевым моментом, определяющим переход от физиологической стресс-реакции к патологической дезадаптации, является истощение механизмов парасимпатической регуляции. Это наглядно продемонстрировано при выполнении АОП у студентов. Снижение показателя К30:15 (<1,2) отражает недостаточность вагусного торможения сердечного ритма. Выявлено наличие тесных корреляционных связей между психологическими характеристиками и физиологическими параметрами. У студентов с низким ЛАП,

которые демонстрировали высокие показатели тревожности и фрустрированности, одновременно регистрировались и наиболее неблагоприятные гемодинамические сдвиги: повышение САД и цСАД. Особую значимость приобретают исследования сезонных флуктуаций функциональных показателей. В холодные периоды года у студентов регистрируется повышение систолического артериального давления, пульсового давления и минутного объема крови, что указывает на дополнительную нагрузку на сердечно-сосудистую систему [1].

Схема межсистемных взаимодействий при психосоциальном стрессе у студентов северного вуза представлена на рисунке 3.

Внешние факторы (стрессоры)	
Климатогеографические	Психосоциальные
• Резкая фотопериодичность • Перепады атмосферного давления • Низкие температуры • УФ-дефицит	• Экзаменационный стресс • Пандемия COVID-19 • Дистанционное обучение • Социальная изоляция
⇩	
Центральные механизмы	
Вегетативная дисрегуляция ⇔ Психосоциальная уязвимость	
• Симпатикотония • Снижение парасимпатической реактивности (К30:15) • Снижение TP • Увеличение LF/HF	• Высокая тревожность • Депрессивные проявления • Низкий личностный адаптационный потенциал • Низкая нервно-психическая устойчивость
⇩	
Функциональные исходы	
Гемодинамические нарушения	Психологические нарушения
• Увеличение САД, ДАД, цСАД • Увеличение жесткости артериальной стенки • Предгипертензия, АГ	• Снижение качества жизни • Ригидность • Фрустрированность
⇩	
Риск развития психосоматической патологии (АГ, вегетососудистая дистония, функциональные нарушения ЖКТ и др.)	

Рис. 3. Схема межсистемных взаимодействий при дезадаптации студентов в периоды экзаменационного и психосоциального стресса

Примечание: TP – общая мощность спектра; LF/HF – индекс симпато-вагального баланса; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; цСАД – центральное аортальное систолическое давление; АГ – артериальная гипертензия; ЖКТ – желудочно-кишечный тракт.

Алгоритм диагностики и коррекции:

1. Скрининг: тест Спилбергера-Ханина (ЛТ + РТ), шкала депрессии Бека.

2. Выделение группы риска: когнитивные и/или соматические проявления депрессии, высокий и/или низкий уровень тревожности.

3. Инструментальная диагностика: кардиоритмография (ВСР: TP, LF/HF, К30:15 при АОП), гемодинамика (САД, ДАД, цСАД).

4. Коррекция: при легкой/умеренной депрессии – консультация психолога; при выраженной/тяжелой депрессии – консультация психотерапевта (± медикаментозная коррекция); при сочетании нарушений сердечно-сосудистой системы и тревожно-депрессивных расстройств – консультация кардиолога.

Для коррекции сниженных нейродинамических показателей (замедление реакции, низкие ФУС/УФВ) у студентов, очевидно эффективнее работать над повышением адаптационного потенциала (тренинги социально-психологической адаптации, формирование стресс-совладающего поведения), чем только над снижением уровня моментальной тревоги. Однако в экстремальных ситуациях (экзамен) быстрая редукция реактивной тревоги

(дыхательные техники, переключение внимания) также может дать краткосрочный положительный эффект на ПЗМР и ФУС.

Заключение:

1. Физиологическими детерминантами дезадаптации студентов северного вуза являются: исходное напряжение симпатического отдела ВНС, снижение ТР в ответ на стресс, повышение периферического и центрального артериального давления, а также снижение парасимпатической реактивности, оцениваемой по АОП.

2. Психологическими детерминантами выступают: высокий уровень ЛТ и РТ, проявление депрессивной симптоматики, низкая НПУ и сниженный ЛАП.

3. Интегральным предиктором успешности адаптации является ЛАП. Студенты с низким ЛАП составляют основную группу риска развития стресс-индуцированных психических и сердечно-сосудистых дисфункций.

4. Выявленные гендерные особенности (более выраженная симпатикотония и гемодинамические реакции у юношей, более высокая психологическая реактивность и тревожность у девушек) требуют дифференцированного подхода в разработке профилактических мероприятий.

5. Предложенный алгоритм диагностики позволяет своевременно выявлять студентов с высоким риском дезадаптации и проводить адекватную психологическую и, при необходимости, фармакологическую коррекцию, что является основой для сохранения здоровья студенческой молодежи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попова, М.А. Адаптация студентов к стрессу на севере России: функциональные и психологические аспекты : монография / М.А. Попова, А.Э. Щербакова. – Сургут : РИО СурГПУ, 2023. – 82 с.
2. Assessment of Stress in First Year Medical Students by Measuring Heart Rate Variability and its Correlation with Academic Achievement: A Cross-sectional Study / C. Gupta, N. Kaur, D. Dwivedi [et al.] // Journal of Clinical and Diagnostic Research. – 2026. – Vol. 20. – No. 1. – P. CC06-CC09. DOI: 10.7860/JCDR/2026/76903.22322.
3. Влияние стресса и осознанной саморегуляции на карьерную адаптивность студентов / В.И. Моросанова, Н.Г. Кондратюк, А.М. Потанина, А.В. Коршунов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Психология и педагогика. – 2025. – Т. 22. – № 2. – С. 316-336. DOI: 10.22363/2313-1683-2025-22-2-316-336.
4. Шамионов, Р.М. Роль адаптационной готовности и субъективной оценки ситуации в образовательной среде вуза в академической адаптации студентов / Р.М. Шамионов, А.А. Шаров // Психологическая наука и образование. – 2025. – Т. 30. – № 1. – С. 118-129. DOI: 10.17759/pse.2025300109.
5. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use / Task Force of the European Society of Cardiology, The North American Society of Pacing and Electrophysiology // Circulation. – 1996. – Vol. 93. – No. 5. – P. 1043-1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.
6. Fedkiv, M. Heart Rate Variability for Evaluating Cognitive Stress in Healthy Students: The Influence of Physical Fitness Level / M. Fedkiv, L. Vovkanych, B. Kindzer // Studia Biologica. – 2025. – Vol. 19. – No. 4. DOI: 10.30970/sbi.1904.853.
7. Kalashchenko, S.I. Peculiarities of changes of psychophysiological functions, state of human adaptive capacity and stress resistance of students of higher medical institutions / S.I. Kalashchenko // Medical perspectives. – 2021. – Vol. 26. – No. 4. – P. 98-103. DOI: 10.26641/2307-0404.2021.4.248240.
8. Михайлов, В.М. Вариабельность ритма сердца : новый взгляд на старую парадигму / В.М. Михайлов. – Иваново : Нейрософт, 2017. – 516 с.
9. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension / B. Williams, G. Mancia, W. Spiering [et al.] // European Heart Journal. – 2018. – Vol. 39. – No. 33. – P. 3021-3104. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy339.
10. Лоскутова, Т.Д. Время реакции как психофизиологический метод оценки функционального состояния ЦНС / Т.Д. Лоскутова // Нейрофизиологические исследования в экспертизе трудоспособности. – Ленинград : Медицина, 1978. – С. 165-194.

REFERENCES

1. Popova M.A., Shcherbakova A.E. Adaptation of students to stress in the north of Russia: functional and psychological aspects: a monograph. Surgut: RIO SurGPU, 2023. 82 p. (in Russ.)
2. Gupta C., Kaur N., Dwivedi D., Verma K., Sehan. Assessment of Stress in First Year Medical

Students by Measuring Heart Rate Variability and its Correlation with Academic Achievement: A Cross-sectional Study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 2026, vol. 20, no. 1, pp. CC06-CC09. DOI: 10.7860/JCDR/2026/76903.22322.
3. Morosanova V.I., Kondratyuk N.G., Potanina A.M., Korshunov A.V. The effects of stress and conscious self-regulation on students' career adaptability. *RUDN Journal of Psychology and Pedagogics*, 2025, vol. 22, no. 2, pp. 316-336. DOI: 10.22363/2313-1683-2025-22-2-316-336. (in Russ.)
4. Shamionov R.M., Sharov A.A. The Role of Adaptive Readiness and Subjective Assessment of the Situation in the Academic Adaptation of University Students. *Psychological Science and Education*, 2025, vol. 30, no. 1, pp. 118-129. DOI: 10.17759/pse.2025300109. (in Russ.)
5. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use. *Circulation*, 1996, vol. 93, no. 5, pp. 1043-1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.
6. Fedkiv M., Vovkanych L., Kindzer B. Heart Rate Variability for Evaluating Cognitive Stress in Healthy Students: The Influence of Physical Fitness Level. *Studia Biologica*, 2025, vol. 19, no. 4. DOI: 10.30970/sbi.1904.853.
7. Kalashchenko S.I. Peculiarities of changes of psychophysiological functions, state of human adaptive capacity and stress resistance of students of higher medical institutions. *Medical perspectives*, 2021, no. 4, pp. 98-103. DOI: 10.26641/2307-0404.2021.4.248240.
8. Mikhailov V.M. Heart rate variability: a new look at the old paradigm. Ivanovo: Neurosoft, 2017. 516 p. (in Russ.)
9. Williams B., Mancia G., Spiering W. et al. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. *European Heart Journal*, 2018, vol. 39, no. 33, pp. 3021-3104. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy339.
10. Loskutova T.D. Reaction time as a psychophysiological method for assessing the functional state of the central nervous system. Neurophysiological studies in disability examination. Leningrad: Meditsina, 1978. pp. 165-194. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Марина Алексеевна Попова – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности, Сургутский государственный педагогический университет, Сургут, e-mail: m_a_popova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0193-7973.
Александра Эдуардовна Щербакова – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности, Сургутский государственный педагогический университет, Сургут, e-mail: a.e.shcherbakova@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-0863-8127.
Анастасия Сергеевна Лакомкина – аспирант кафедры медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности, Сургутский государственный педагогический университет, Сургут, e-mail: lakomkina-97@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2805-2318.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Marina A. Popova – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Biomedical Disciplines and Life Safety, Surgut State Pedagogical University, Surgut, e-mail: m_a_popova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0193-7973.
Aleksandra E. Shcherbakova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Medical and Biological Disciplines and Life Safety, Surgut State Pedagogical University, Surgut, e-mail: a.e.shcherbakova@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-0863-8127.
Anastasia S. Lakomkina – Postgraduate Student of the Department of Biomedical Disciplines and Life Safety, Surgut State Pedagogical University, Surgut, e-mail: lakomkina-97@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2805-2318.

Для цитирования: Попова, М.А. Физиологические и психологические детерминанты дезадаптации студентов северного вуза к воздействию психосоциального стресса / М.А. Попова, А.Э. Щербакова, А.С. Лакомкина // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_15

For citation: Popova M.A., Shcherbakova A.E., Lakomkina A.S. Physiological and psychological determinants of maladaptation in northern university students exposed to psychosocial stress. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_15

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_16
УДК 796

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_16
UDC 796

АДАПТИВНЫЕ МОДИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЬНОЙ И ВЕГЕТАТИВНЫХ ФУНКЦИЙ У КИКБОКСЕРОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Ю.Н. Романов[1], А.А. Захарец[1], А.В. Шевцов[2], Л.А. Романова[1]
[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Целью исследования являлось определение адаптивных модификаций параметров двигательной и вегетативных функций у квалифицированных кикбоксеров. ***Методы.*** В исследовании участвовали кикбоксеры высокой квалификации (n=16). Анализировали динамику частоты сердечных сокращений, показателей потребления кислорода, выделения углекислого газа и статокинетической устойчивости до и после цикла подготовки. ***Результаты.*** После цикла подготовки у кикбоксеров в тестирующей нагрузке зафиксированы вегетативные сдвиги с достоверными изменениями по частоте сердечных сокращений, потреблению кислорода, выделению углекислого газа и повышению вестибулярной устойчивости. ***Заключение.*** Совокупность сочетания интенсивных интервальных, анаэробных и стрессогенных нагрузок, использованных во время учебно-тренировочных мероприятий, формирует уникальный адаптивный профиль кикбоксера, выражающийся в специфических сопряжениях между двигательными и вегетативными функциями.
Ключевые слова: адаптивные модификации, потребление кислорода, производство углекислого газа, вестибулярная устойчивость, кикбоксеры.

ADAPTIVE MODIFICATIONS OF MOTOR AND AUTONOMIC FUNCTIONS IN ELITE KICKBOXERS

Yu.N. Romanov[1], A.A. Zakharets[1], A.V. Shevtsov[2], L.A. Romanova[1]
[1]South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
[2]Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Objective – to identify adaptive modifications of motor and autonomic functions in elite kickboxers. ***Methods.*** The study involved elite kickboxers (n=16). The dynamics of heart rate, oxygen consumption, carbon dioxide release and statokinetic stability before and after the training cycle were analyzed. ***Results.*** After the training cycle, kickboxers in the testing load have shown autonomic shifts in the testing load with significant changes in heart rate, oxygen consumption, carbon dioxide release and increased vestibular stability. ***Conclusion.*** The combination of intense interval, anaerobic and stress inducing loads used in training activity forms a unique adaptive kickboxer profile, expressed in specific connections between motor and autonomic functions.
Keywords: adaptive modifications, oxygen consumption, carbon dioxide release, vestibular stability, kickboxers.

Введение. Степень влияния спортивной деятельности на состояние ее вегетативного обеспечения определяется взаимосвязью моторно-висцеральных рефлексов [1]. Напряженность тренировочного и соревновательного процессов с ростом спортивной квалификации обусловливает модификации в системах обеспечения специфической деятельности спортсменов [2, 3]. Адаптивные перестройки к нагрузкам в системах обеспечения деятельности определяются мобилизацией функциональных резервов организма, которые представляют собой сложную систему с комплексом прямых и обратных связей [4, 5]. В экстремальных видах деятельности, к которым относят единоборства, оценка функционального состояния организма и адекватная коррекция выявленных нарушений по принципу «Здесь и сейчас» осуществляются на основе новых технологий, реализованных в программно-аппаратных диагностических комплексах и

дистанционных регистраторах [6]. Условием достижения высокого уровня профессиональной готовности является комплексная диагностика и динамическая оценка состояния организма спортсменов [7].

Теоретический анализ научных публикаций отечественных и зарубежных авторов за последние десять лет в области спортивной физиологии и медицины по критериям оценки функционального состояния спортсменов-кикбоксеров представлен в работах [8, 9]. Результаты теоретического анализа предлагаемых параметров оценки функциональных состояний организма кикбоксеров можно кратко интерпретировать в следующих положениях: с увеличением спортивного стажа повышается проецирование на боевую стойку единоборцев двигательной асимметрии; рост концентрации лактата в работающих мышцах и его отрицательное влияние на выработку макроэргических субстратов в митохондриях требуют включения анаэробных нагрузок в тренировочный процесс при подготовке кикбоксеров к стартам.

В связи с этим встал вопрос об адаптивных модификациях взаимосвязи параметров двигательной и вегетативных функций у кикбоксеров, так как актуальным остается вопрос о количественно-качественных особенностях вегетативного обеспечения деятельности двигательного аппарата с формированием вариативного вегетативного профиля у кикбоксеров как реакции на совокупность упражнений специального спектра двигательных действий.

Целью исследования являлось определение адаптивных модификаций параметров двигательной и вегетативных функций у квалифицированных кикбоксеров.

Методы и организация исследования. Повышенный интерес к диагностике функциональных состояний был вызван тем, что в рамках учебно-тренировочных мероприятий (УТМ) длительностью в 3 недели, проводимых на базе Института спорта, туризма и сервиса Южно-Уральского государственного университета, была поставлена задача сформировать у кикбоксеров механизмы долговременной адаптации средствами искусственной гипоксии и локальной мышечной выносливости к концу предсоревновательного этапа. Тренировки строились на реализации практических составляющих разносторонней и специальной подготовки в системе интегральной, объединяющей все виды воздействий с учетом индивидуализации, специализации и восстановления. Для определения модификации адаптивных процессов у кикбоксеров высокой квалификации были определены частота сердечных сокращений (ЧСС), показатели потребления кислорода, выделения углекислого газа и статокинетической устойчивости до и после УТМ. Показатели дыхательной системы регистрировали на аппарате Oxycon Pro (Mobile) (Германия), позволяющем в режиме реального времени оценить потребление кислорода и выделение углекислого газа при выполнении спортсменами боя с тенью (БСТ) продолжительностью три раунда по 2 минуты с минутными перерывами до и после УТМ. Исследования статокинетической устойчивости проводились на компьютерном стабилографе «Стабило-МБН». Анализировали уровень мощности спектра колебаний в сагиттальной плоскости с функциональными пробами.

Статистические методы. Обработка спирометрических и стабилометрических показателей проводили с использованием пакета программного обеспечения SPSSv23. Данные были подвергнуты проверке на нормальность распределения с использованием критерия Шапиро-Уилка. Сравнение показателей до и после УТМ проводили с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни; различия считали статистически значимыми при $p \leq 0{,}05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Модификации адаптивных процессов у кикбоксеров заключались в изменении характера сопряжения между параметрами двигательной и дыхательной систем, формировании особого, качественно отличного от исходного, состояния организма, обеспечивающего максимальную эффективность соревновательной деятельности, а также в перестройке регуляторных механизмов. Специфические ударные нагрузки, обеспечивающие высокий тренировочный эффект, в организме кикбоксеров должны вызывать глубокие структурно-функциональные изменения: параметров функции дыхания (потребление

кислорода, производство углекислого газа); сердечно-сосудистой системы (частота сердечных сокращений) и статокинетической устойчивости. На рисунке 1 представлен график потребления кислорода до и после УТМ.

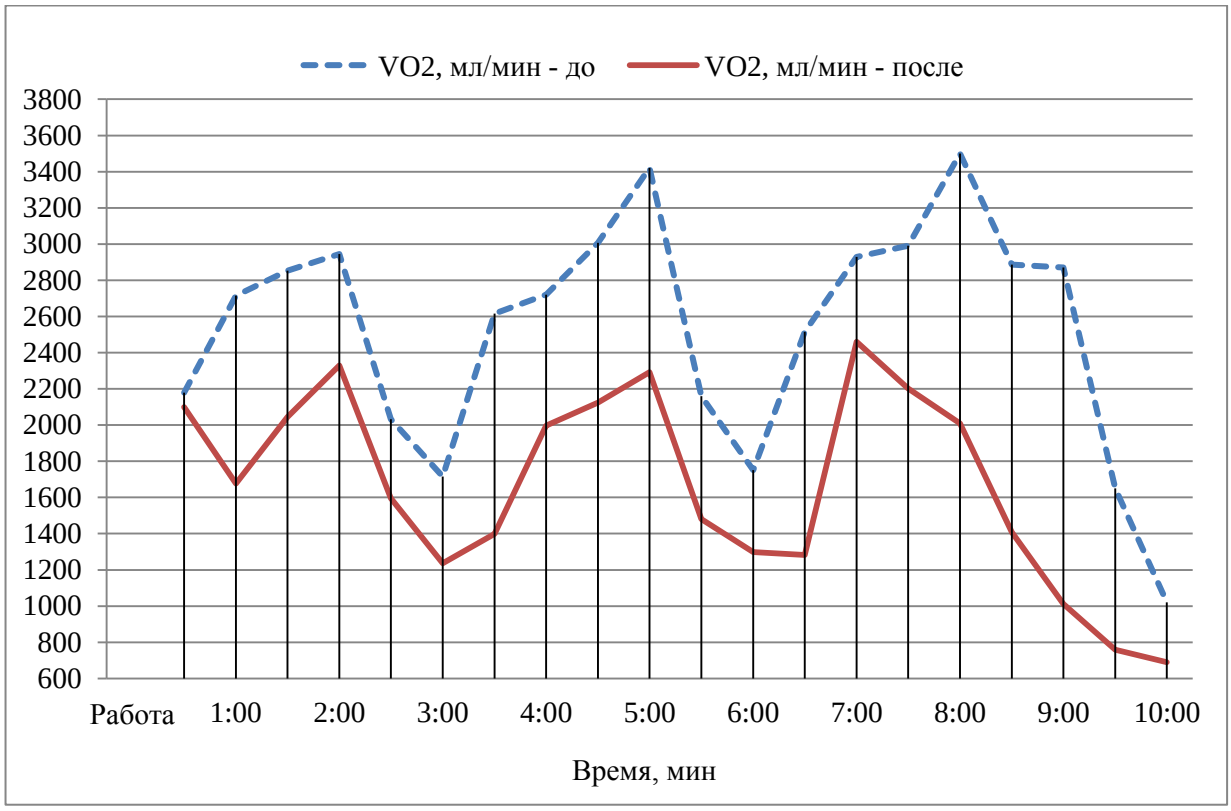


Рис. 1. График потребления кислорода (VO_2) кикбоксерами высокой квалификации во время проведения теста: бой с тенью 3 раунда по 2 мин с минутным перерывом, до и после учебно-тренировочных мероприятий

Изменение параметров потребления кислорода у кикбоксеров высокой квалификации в течение 10-минутного тестирования во 2-ом обследовании характеризовалось таким потреблением O_2 к 30-той секунде теста, которое позволяло спортсменам осуществлять двигательные действия в максимально возможном режиме уже в начале первого раунда несмотря на период врабатывания. В дальнейшем, в динамике БСТ наблюдалась оптимизация в расходе энергии, работа осуществлялась в более сниженном режиме потребления кислорода. В третьем раунде БСТ после 7-мой минуты работы потребление O_2 у кикбоксеров достоверно снизилось с 2459,74±109,61 мл/мин до 2009,09±111,13 мл/мин к концу раунда БСТ ($p \leq 0,05$). Далее в течение двух минут отдыха значение параметра уменьшилось практически в три раза, а именно до значения 689,17±29,15 мл/мин.

К концу УТМ во втором обследовании за счет общей подготовленности и правильно выстроенных разминочных действий в группе кикбоксеров наблюдалось более экономное потребление кислорода.

На рисунке 2 представлен график производства углекислого газа кикбоксерами в динамике тестирования. Одновременно с началом снижения потребления кислорода в рамках интенсивной двигательной деятельности третьего раунда БСТ, а именно с 7:00 до 7:30 происходило достоверное снижение производства CO_2 с 2953,59±79,11 мл/мин до 2067,51±161,86 мл/мин ($p \leq 0,001$), соответственно этому же периоду времени (при достоверном снижении потребления кислорода). Затем наблюдалось достоверное увеличение производства CO_2 к 8:00 мин БСТ до величины параметра 3371,79±97,61 мл/мин ($p \leq 0,001$), хотя потребление кислорода на данной отметке времени продолжало снижаться и достигло величины 2009,09±111,13 мл/мин.

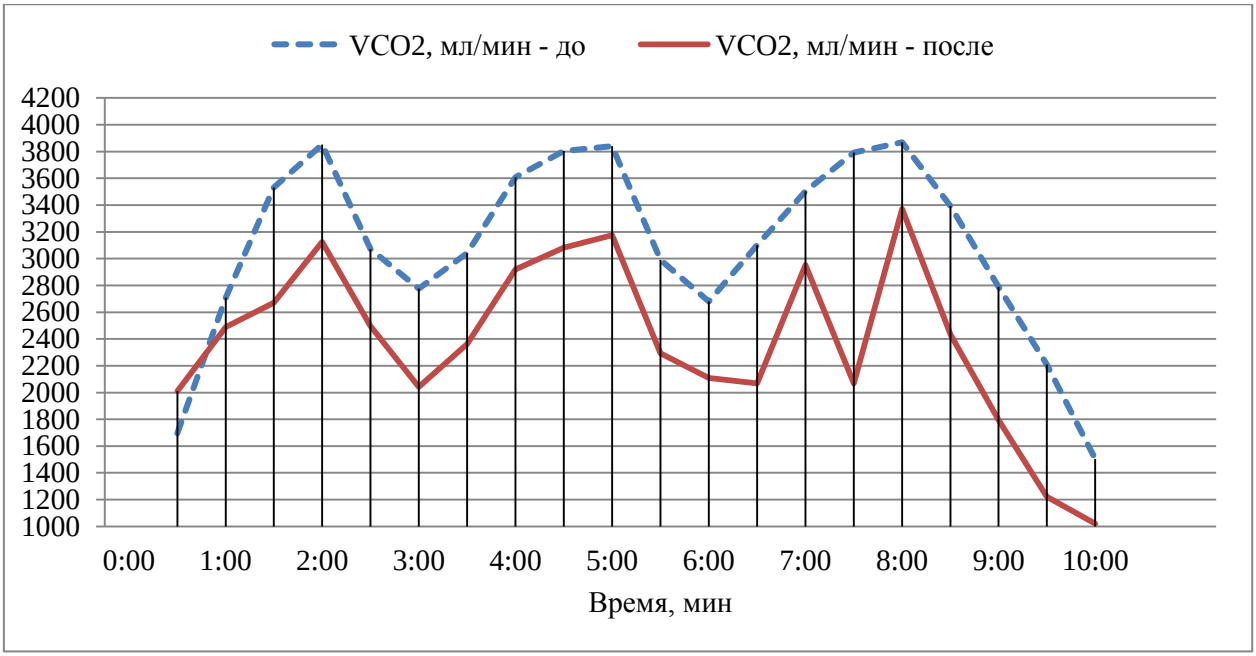


Рис. 2. График производства углекислого газа (VCO_2) кикбоксерами высокой квалификации во время проведения теста: бой с тенью 3 раунда по 2 мин с минутным перерывом до и после учебно-тренировочных мероприятий

Считаем, что к началу третьего раунда заметно возросла концентрация лактата в крови, приведшая к активации водород-карбонатной буферной системы плазмы и эритроцитов, нейтрализующей молочную кислоту HLac по следующей цепочке реакций:

$$NaHCO_3 + HLac \leftrightarrow NaLac + H_2CO_3 \leftrightarrow H_2O + CO_2\ (р) \leftrightarrow CO_2\ (г)$$

Активация водород-карбонатной буферной системы повышает активность митохондрий по синтезу АТФ, дополнительный прирост которой в середине финального третьего раунда БСТ предоставляет возможность организму спортсмена демонстрировать максимальную работоспособность, значительно повышая шансы на победу.

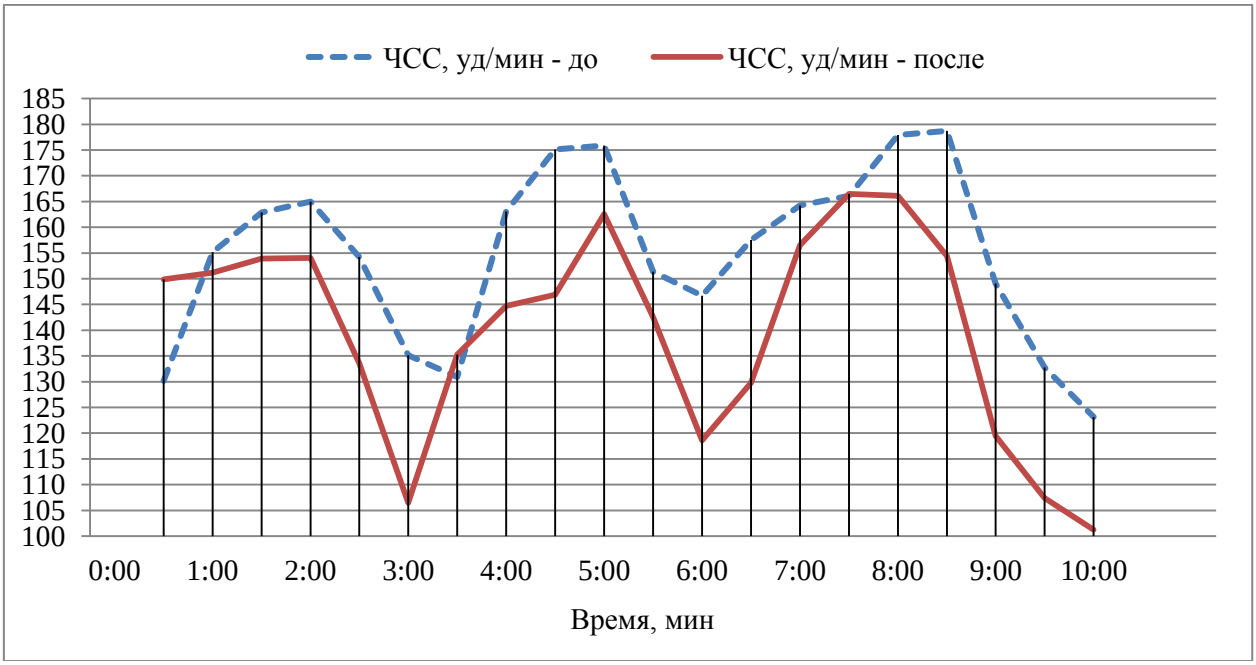


Рис. 3. График изменения частоты сердечных сокращений (ЧСС) у кикбоксеров высокой квалификации во время проведения боя с тенью до и после учебно-тренировочных мероприятий

Таблица

Изменение стабилометрических показателей в группе кикбоксеров высокой квалификации до и после учебно-тренировочных мероприятий

Показатели стабилометрии	Уровень мощности спектра колебаний в сагиттальной плоскости, Гц	Проба Ромберга: поворот головы влево, %	Проба Ромберга: поворот головы вправо, %
Перед УТМ	0,725±0,05	175	268
После УТМ	0,433±0,07	147	185
Различия в %	40	16	31

Примечание: УТМ – учебно-тренировочные мероприятия.

Концентрация выделяющегося из системы крови в альвеолах легких газообразного углекислого газа достоверно увеличилась в конце третьего раунда БСТ, начиная с отметки времени 7:30 мин.

Улучшение тренированности у кикбоксеров после УТМ выражалось в достоверном снижении ЧСС в конце минутного перерыва после каждого раунда ($p \leq 0,001$), которое представлено на рисунке 3.

По ходу выполнения стандартной работы в виде трехраундного боя с тенью с минутными перерывами на отдых наблюдалось достоверное ($p \leq 0,001$) снижение ЧСС в самих раундах. Отмечается также более быстрая врабатываемость в тесте после УТМ, выражающаяся в достоверно ($p \leq 0,01$) более высоком пульсе уже к 30 секунде первого раунда.

Изменения стабилометрических показателей в группе кикбоксеров высокой квалификации до и после УТМ представлены в таблице.

Представленные стабилометрические показатели кикбоксеров высокой квалификации в начале и после УТМ позволили установить, что в результате тренировочных воздействий произошло уменьшение максимума мощности спектра колебаний центра давления в саггитальной плоскости на 40%, что свидетельствовало о снижении влияния проприоцептивной активности на статокинетическую устойчивость к окончанию УТМ. Произошло снижение параметров пробы Ромберга в связи с уменьшением площади статокинезиограмм при закрытых глазах: при повороте головы влево, глаза закрыты – на 16%, а при повороте головы вправо, глаза закрыты – на 31%, что свидетельствовало об усилении позно-тонического рефлекса, включающегося при поворотах головы вследствие увеличения количества упражнений специального спектра двигательных действий, приводящих к адаптивным модификациям.

Заключение. Для определения адаптивных модификаций параметров двигательной и вегетативных функций у кикбоксеров необходимо применять комплексный подход, интегрирующий оценку нескольких ключевых функциональных систем организма. Согласно современным научным данным, такой анализ должен быть направлен на изучение реакций и механизмов регуляции в ответ на специфические ударные нагрузки [10]. Модификации адаптации у кикбоксеров формируются на основе специфического сочетания интенсивных интервальных, анаэробных и стрессогенных нагрузок, а их характер варьируется в связи с этапом многолетней подготовки, исходными индивидуальными особенностями регуляторных систем, уровнем мастерства спортсменов и применяемыми дополнительными методами тренировочного воздействия. Именно совокупность этих причин и условий формирует уникальный адаптивный профиль кикбоксера, выражающийся в сложных взаимосвязях между двигательной и вегетативной системами.

Выводы:

1. При тестировании кикбоксеров (БСТ) после учебно-тренировочных мероприятий вегетативные сдвиги (ЧСС и потребление O_2) становились менее выраженными, что указывало на оптимизацию адаптивных процессов к нагрузкам специального спектра двигательных действий.

2. Повышение вестибулярной устойчивости у кикбоксеров высокой квалификации обусловлено модификацией вегетативных реакций в ответ на вращательные и ударные нагрузки УТМ, что напрямую связано с

активацией арсенала атакующих и защитных действий спортсмена.

3. Формирование вариативного специфичного вегетативного профиля у обследованных кикбоксеров в каждом раунде отражает реакции организма на совокупность упражнений специального спектра двигательных действий в смешанном аэробно-анаэробном режиме.

4. В результате долговременной адаптации формируется способность к быстрому переключению вегетативного баланса, например, между раундами – экономное протекание физиологических процессов, в начале раунда – мгновенная активация симпатического звена, а после работы – быстрое восстановление. Регуляторные механизмы становились более гибкими и лабильными.

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Могендович, М.Р. Рефлекторное взаимодействие локомоторной и висцеральной систем / М.Р. Могендович. – Ленинград: Медгиз (Ленинградское отделение), 1957. – 429 с.
2. Alnuman, N. The Effect of Inspiratory Muscle Training on The Pulmonary Function in Mixed Martial Arts and Kickboxing Athletes / N. Alnuman, A. Alshamasneh // Journal of Human Kinetics. – 2022. – Vol. 81(1). – P. 53-63. DOI: 10.2478/hukin-2022-0005.
3. Physiological Responses and Time-Motion Analysis of Kickboxing: Differences Between Full Contact, Light Contact, and Point Fighting Contests / I. Ouergui, A. Benyoussef, N. Houcine [et al.] // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2021. – Vol. 35. – No. 9. – P. 2558-2563. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003190.
4. Development of a Noncontact Kickboxing Circuit Training Protocol That Simulates Elite Male Kickboxing Competition / I. Ouergui, N. Houcine, H. Marzouki [et al.] // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2015. – Vol. 29. – No. 12. – P. 3405-3411. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001005.
5. Physiological Responses and Bout Analysis in Elite Kickboxers During International K1 Competitions / Ł. Rydzik, M. Maciejczyk, W. Czarny [et al.] // Frontiers in Physiology. – 2021. – Vol. 12. – P. 691028. DOI: 10.3389/fphys.2021.691028.
6. Эрлих, В.В. Цифровизация технологий оперативной диагностики функциональных резервов и оценки подготовленности спортсменов / В.В. Эрлих, Д.З. Шибкова, П.А. Байгужин // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20. – № 1. – С. 52-66. DOI: 10.14529/hsm200107.
7. Иорданская, Ф.А. Мобильные технологии в оперативной диагностике оценки адаптации к нагрузкам и срочного восстановления работоспособности в условиях тренировочных мероприятий / Ф.А. Иорданская // Вестник спортивной науки. – 2022. – № 2. – С. 54-63.
8. Интегративная оценка деятельности мозгового кровотока и биоэлектрической активности мозга кикбоксеров в условиях применения коррекционных технологий / Ю.Н. Романов, А.П. Исаев, А.В. Шевцов [и др.] // Физическое воспитание студентов. – 2016. – № 3. – С. 23-31.
9. Критерии оценки функционального состояния организма спортсменов-кикбоксеров в современных эмпирических исследованиях / Ю.Н. Романов, Д.З. Шибкова, Л.А. Романова, А.А. Захарец // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2023. – № 4(46). – С. 105-114.
10. Романов, Ю.Н. Модулирование физиологического состояния кикбоксеров посредством воздействия на сенсорные, сосудистые и моторные системы головного мозга в системе интегральной подготовки, влияющей на спортивную результативность / Ю.Н. Романов, М.Ф. Касымова, О.А. Редчина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. – 2014. – Т. 14. – № 2. – С. 42-51.

REFERENCES

1. Mogendovich M.R. Reflex interaction of locomotor and visceral systems. Leningrad: Medgiz (Leningrad Department), 1957. 429 p. (in Russ.)
2. Alnuman N., Alshamasneh A. The Effect of Inspiratory Muscle Training on The Pulmonary Function in Mixed Martial Arts and Kickboxing Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 2022, vol. 81(1), pp. 53-63. DOI: 10.2478/hukin-2022-0005.
3. Ouergui I., Benyoussef A., Houcine N. et al. Physiological Responses and Time-Motion Analysis of Kickboxing: Differences Between Full Contact, Light Contact, and Point Fighting Contests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2021, vol. 35, no. 9, pp. 2558-2563. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003190.
4. Ouergui I., Houcine N., Marzouki H. et al. Development of a Noncontact Kickboxing Circuit Training Protocol That Simulates Elite Male Kickboxing Competition. *Journal of Strength and*

Conditioning Research, 2015, vol. 29, no. 12, pp. 3405-3411. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001005.
5. Rydzik Ł., Maciejczyk M., Czarny W. et al. Physiological Responses and Bout Analysis in Elite Kickboxers During International K1 Competitions. *Frontiers in Physiology*, 2021, vol. 12, p. 691028. DOI: 10.3389/fphys.2021.691028.
6. Erlikh V.V., Shibkova D.Z., Baiguzhin P.A. Digitalization of operational diagnostics of functional reserves and assessment of athletic fitness. *Human. Sport. Medicine*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 52-66. DOI: 10.14529/hsm200107. (in Russ.)
7. Iordanskaya F.A. Mobile technologies in operational diagnostics of adaptation assessment to loads and urgent recovery in terms of training events. *Sports science bulletin*, 2022, no. 2, pp. 54-63. (in Russ.)
8. Romanov Y.N., Isaev A.P., Shevtsov A.V. et al. Integrative assessment of kick boxers' brain blood circulation and bio-electrical activity in conditions of correction technologies' application. *Physical Education of Students*, 2016, no. 3, pp. 23-31. (in Russ.)
9. Romanov Yu.N., Shibkova D.Z., Romanova L.A., Zakharets A.A. Criteria for assessing the functional state of kickboxers' body in modern empirical studies. *Physical Education and Sports Training*, 2023, no. 4(46), pp. 105-114. (in Russ.)
10. Romanov Yu.N., Kasymova M.F., Redchina O.A. Modulation of physiological state by groups of fighters and control through effects on sensory and motor systems of vascular brain in the system of the integral training. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Education, health care, physical education*, 2014, vol. 14, no. 2, pp. 42-51. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Юрий Николаевич Романов – профессор, Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет), Челябинск, e-mail: romanovun@susu.ru.
Анна Андреевна Захарец – преподаватель, Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет), Челябинск, e-mail: zakharetsaa@susu.ru.
Анатолий Владимирович Шевцов – профессор, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, e-mail: sportmedi@mail.ru.
Лариса Анатольевна Романова – доцент, Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет), Челябинск, e-mail: romanovala@susu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Yury N. Romanov – Professor, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, e-mail: romanovyn@susu.ru.
Anna A. Zakharets – Lecturer, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, e-mail: zakharetsaa@susu.ru.
Anatoly V. Shevtsov – Professor, Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, e-mail: sportmedi@mail.ru.
Larisa A. Romanova – Associate Professor, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, e-mail: romanovala@susu.ru.

Для цитирования: Адаптивные модификации параметров двигательной и вегетативных функций у кикбоксеров высокой квалификации / Ю.Н. Романов, А.А. Захарец, А.В. Шевцов, Л.А. Романова // Современные вопросы биомедицины – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_16

For citation: Romanov Yu.N., Zakharets A.A., Shevtsov A.V., Romanova L.A. Adaptive modifications of motor and autonomic functions in elite kickboxers. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_16

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_17
УДК 612.821; 796.835

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_17
UDC 612.821; 796.835

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОГЕРЕНТНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ И ПОСТУРАЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ У КИКБОКСЕРОВ ВЫСОКОЙ И НИЗКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Ю.Н. Романов[1], П.А. Байгужин[1], А.П. Павлова[2]
[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Челябинск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Нейрофизиологические механизмы обеспечения постуральной устойчивости у спортсменов разной квалификации остаются недостаточно изученными. ***Методы.*** У 20 кикбоксеров (10 мастеров спорта и 10 перворазрядников) проведены стабилометрия в объеме классического протокола и запись электроэнцефалограммы в фоновой пробе и при гипервентиляции. Выполнен корреляционный анализ между показателями когерентности электроэнцефалограммы и интегральными индексами постуральной стабильности. Межгрупповое сравнение коэффициентов корреляции проведено с использованием Z-теста Фишера. ***Результаты.*** В условиях вестибулярной нагрузки у спортсменов низкой квалификации выявлены тесные связи между височно-лобной когерентностью и стабилометрическими индексами, тогда как у высококвалифицированных спортсменов эти связи ослаблены или отсутствуют. ***Заключение.*** Полученные данные свидетельствуют о проявляющейся в ослаблении корково-постуральных связей и переходе управления на субкортикальный уровень автоматизации постурального контроля у кикбоксеров высокой квалификации.
Ключевые слова: кикбоксеры, когерентность электроэнцефалограммы, постуральная устойчивость, спортивная квалификация, нейрофизиологические механизмы, автоматизация движений, корреляционный анализ.

ANALYSIS OF FUNCTIONAL RELATIONSHIPS BETWEEN ELECTRO-ENCEPHALOGRAM COHERENCE AND POSTURAL STABILITY IN HIGH- AND LOW-SKILLED KICKBOXERS

Yu.N. Romanov[1], P.A. Baiguzhin[1], A.P. Pavlova[2]
[1]South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
[2]South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The neurophysiological mechanisms of ensuring postural stability in athletes of different qualifications remain insufficiently studied. ***Methods.*** 20 kickboxers (10 masters of sports and 10 first-class athletes) underwent stabilometry in the scope of the classical protocol and electroencephalogram recording in the background sample and during hyperventilation. A correlation analysis was performed between electroencephalogram coherence indices and integral indices of postural stability. An intergroup comparison of correlation coefficients was performed using the Fisher Z-test. ***Results.*** In the vestibular load conditions, low-skilled athletes have revealed close links between frontotemporal coherence and stabilometric indices, whereas these links are weakened or absent in high-skilled athletes. ***Conclusion.*** The data obtained indicate automation of postural control in high-skilled kickboxers, manifested in the weakening of cortical and postural connections, as well as the control transition to the subcortical level.
Keywords: kickboxers, electroencephalogram coherence, postural stability, sports qualification, neurophysiological mechanisms, motor automation, correlation analysis.

Введение. Спортсмены, занимающиеся ситуационными видами спорта, обладают наиболее эффективной системой постурального контроля, что проявляется в лучших показателях стабилографии при различных функциональных нагрузках. В отличие от циклических видов спорта, где вариации более предсказуемы, это связано с

необходимостью компенсации разнородных и непредсказуемых внешних факторов [1].

В недавнем систематическом обзоре «Применение электроэнцефалографии (ЭЭГ) в спортивных единоборствах. Обзор результатов, перспектив и ограничений в спорте» [2], показано, что у элитных кикбоксеров в состоянии покоя регистрируется повышенная активность во всех диапазонах по сравнению с новичками. Кроме того, у элитных спортсменов (карате, фехтование) зафиксировано снижение десинхронизации альфа-ритма при выполнении задач, что трактуется как нейрофизиологическая эффективность [2].

Представленные в работе M. Dieterich и T. Brandt (2018) данные о структурном и функциональном вестибулярном доминировании, характерном для правого полушария у правшей и левого полушария у левшей, указывают на необходимость исследования функциональных связей параметров постуральной устойчивости с показателями активности коры с учетом латерализации [3]. В исследовании Q. Arshad с соавторами (2015) показано влияние латерализации вестибулярной системы не только на «высшие» функции, но и на «низшие» (например, вестибуло-окулярный рефлекс) [4].

Высокая спортивная квалификация характеризуется, кроме прочего, выраженными механизмами автоматизации двигательных навыков [5]. Так, J. Milton с соавторами (2007), исследуя нейрофизиологические механизмы планирования движений у опытных игроков в гольф, установил, что задняя поясная извилина, миндалевидно-переднемозговой комплекс и базальные ганглии были активны только у новичков, тогда как у мастеров активация наблюдалась преимущественно в верхней теменной доле, дорсальной латеральной премоторной и затылочной областях [6]. В основе автоматизации движений лежит выработанная целенаправленная и эффективная организация нейронных сетей.

Успешность в кикбоксинге детерминируется проявлением на высоком уровне следующих нейромоторных качеств: симметричной устойчивости (сохранение позы при нанесении, «ухода» от или пропуска ударов); асимметричного контроля в условиях латерализации функций, а значит движений (например, «джеб – кросс» или «защита – атака»); вестибулярной устойчивости (сохранение равновесия при поворотах головы и быстрых перемещениях). Проявление указанных выше качеств обусловлено надежностью нейромоторной интеграции функций произвольной и непроизвольной регуляции движений и усилий.

С этих позиций анализ функциональных связей активности коры головного мозга и стабилометрических показателей представляется востребованным в понимании механизма обеспечения постуральной устойчивости. Комплексный подход, позволяющий выявить нейрофизиологические корреляты квалификации через анализ взаимосвязей между корковой синхронизацией и постуральным контролем, в современной литературе не представлен. Остается открытым ряд вопросов об идентификации паттернов корковой синхронизации, которые лежат в основе различий постурального контроля у спортсменов разной квалификации, а также о том, являются ли эти различия следствием усиления или, напротив, редукции корково-постуральных связей. При этом, при анализе корреляционных плеяд не столько важна констатация признака «слаженности» или «сформированности» системы, сколько демонстрация индикаторов морфофункциональной «свободы» этой системы.

Цель: выявить особенности взаимосвязей между показателями когерентности ЭЭГ и интегральными индексами постуральной стабильности у кикбоксеров высокой и низкой квалификации.

Методы и организация исследования. Обследование проведено в начале подготовительного этапа подготовки, стационарно в условиях лаборатории с соблюдением стандартных условий и требований к проведению обследований человека [7]. Первая группа – спортсмены высшей квалификации – ВК (мастер спорта международного класса – 4 спортсмена, мастер спорта – 12); вторая группа – спортсмены с относительно низкой квалификацией – НК (I разряд). Все обследованные кикбоксеры правши.

Для достижения целевой установки исследования применены два инструментальных метода оценивания постуральной устойчивости – стабилометрии [8] и уровня интегративной деятельности мозговых структур – когерентного анализа ЭЭГ [9]. В соответствии с протоколом обследования на аппаратно-программном комплексе «Стабилан-2» стабилометрия проведена на жесткой опоре в стандартных условиях: основная стойка, глаза открыты, поворот головы вправо, глаза открыты, поворот головы влево, глаза открыты, те же положения, но с закрытыми глазами.

Монополярная регистрация ЭЭГ проводилась на 19-канальном электроэнцефалографе «Нейрон-Спектр-3» (ООО «Нейрософт», Россия) по международной схеме «10-20» с референтным электродом на мочке ипсилатерального уха. Регистрация проводилась стационарно в состоянии спокойного бодрствования и при стандартных функциональных пробах («открытые-закрытые глаза» и гипервентиляция) [10] Когерентность ЭЭГ рассчитывалась в стандартных частотных диапазонах ритмов головного мозга: δ (1-4 Гц), θ (4-8 Гц), α (8-13 Гц), β (13-30 Гц) и γ (30-40 Гц) с использованием быстрого преобразования Фурье (эпохи по четыре секунды, перекрытие 50%). В окончательный анализ включены значения когерентности в альфа- и бета-диапазонах как наиболее информативные для оценки сенсомоторной интеграции: Cz – центральная область, срединная (вертекс); C3, C4 – центральная область, соответственно левое и правое полушария; F3, F4 – лобная область; P3, P4 – теменная область; T3, T4 – височная область; их межполушарные и внутриполушарные пары: F3–C3, F4–C4, C3–P3, C4–P4, F7–T3 и F8–T4.

Статистическая обработка данных проведена с использованием SPSS v. 26.0 и MS Excel. Проверка нормальности проведена с применением критерия Шапиро-Уилка (распределение отличалось от нормального); для оценки взаимосвязей использован коэффициент корреляции Пирсона (r), выбор которого обоснован линейным характером гипотезы, робастностью к умеренным нарушениям нормальности и возможностью применения Z-преобразования Фишера для сравнения корреляций между группами. Дополнительный корреляционный анализ по Спирмену подтвердил устойчивость результатов.

В результате решения задачи по оптимизации количества параметров, включенных в корреляционный анализ (во избежание проблемы множественных сравнений [11]), нами проведен их отбор с учетом информативности и специфичности для оценки функционального состояния исследуемых систем у спортсменов-кикбоксеров; использован метод индексов, интегрирующих в себе показатели, которые характеризуют одну и ту же сторону процесса.

Обоснованность выбора стабилометрических показателей подтверждается данными литературы. Так, в исследованиях постуральной устойчивости боксеров показано, что скорость перемещения центра давления и площадь статокинезиограммы являются ключевыми маркерами функции равновесия, отражая эффективность позного контроля [12]. Специфичность двигательной техники в условиях лабильного двигательного стереотипа у единоборцев требует оперативного контроля постуральной устойчивости [13-15]. Предлагаемые нами стабилометрические показатели были стандартизированы, и на их основе рассчитаны интегральные индексы, характеризующие позную устойчивость спортсменов-единоборцев (табл. 1).

В корреляционный анализ значений когерентного анализа ЭЭГ, также были включены пары отведений ЭЭГ, отражающие корковый контроль позы и движений [3, 4, 16]. Например, известно, что отведение Cz и соседние с ним электроды демонстрируют максимальную когерентность со скоростью колебаний центра давления, что отражает механизм так называемой кортико-спинальной когерентности [17]. Из межполушарных (гомологичных) выбраны следующие пары: C3–C4, P3–P4, F3–F4 [18]; из внутриполушарных (передне-задних и латеральных): F3–C3, F4–C4, C3–P3, C4–P4, F7–T3 и F8–T4 [19, 20]. Учитывая фоновое состояние гипервентиляции в корреляционный анализ было включено 18 показателей когерентного анализа ЭЭГ.

Таким образом, окончательный корреляционный анализ показателей проведен раздельно для условий «открытые глаза», «закрытые глаза» и «повороты головы», а также для фоновой записи и гипервентиляции (с расчетом дельта-когерентности).

Таблица 1

Стабилометрические показатели и интегральные индексы постуральной функции

Показатель	Индекс	Интерпретация
Максимальная амплитуда флуктуаций (МАФ)	Постуральная стабильность (ПС) ПС = 1 / (СОЦД + ПСКГ + МАФ)	Отражение обратной величины к нестабильности позы
Скорость общего центра давления (СОЦД)		
Площадь статокинезиограммы (ПСКГ)		
Отношение ПСКГ с открытыми и с закрытыми глазами (ОПСКГ)	Сенсорная независимость (СН) СН = ОПСКГ / ДКР	Степень влияния зрительной депривации на позную устойчивость
Динамический коэффициент Ромберга (ДКР)		
Скорость вариабельности – среднеквадратичное отклонение скорости (СВ)	Автоматизация (АВТ) АВТ = 1 / (СВ × ИР)	Оценка плавности и автоматизма при поддержании позы
Индекс ритмичности (ИР)		

Анализ связей показателей ЭЭГ-когерентности и стабилометрии, на наш взгляд, позволит проверить гипотезу, отражающую процессы «нейромоторного интерфейса» непроизвольного контроля движений и усилий у кикбоксеров с различным уровнем спортивного мастерства с различной организацией нейробиомеханики техники их движений.

Учитывая тот факт, что когерентность ЭЭГ – это мера синхронизации активности нейронов участков коры, а стабилометрия – это векторная сумма десятков мышечных сокращений, управляемых спинным мозгом, мозжечком, базальными ганглиями и, собственно, корой, то связь между ними не прямая, а опосредованная. По данным литературы, такая связь опосредуется таламусом, его селективной функцией или блокированием сигналов, мозжечком (корректирующим ошибки) и экстрапирамидной системой [21], формирующей и контролирующей мышечный тонус, необходимый для поддержания вертикальной позы и выполнения автоматизированных двигательных программ [22]. При этом очевидным становится и прогнозируется относительно низкая теснота связей в системе параметров «ЭЭГ-когерентность – стабилограмма».

При сравнении группы обследованных спортсменов в качестве частных гипотез предлагается рассматривать лишь корреляции, характеризующие контроль позы и движений у кикбоксеров на основе трех нейрофизиологических механизмов:

1) «межполушарная синхронизация моторной коры» – «постуральная стабильность»;

2) «лобно-моторная когерентность – автоматизация»;

3) «височно-лобная интеграция – сенсорная независимость».

В итоговый дизайн включены 9 априорных вероятностных корреляций (табл. 2). Все остальные возможные корреляции рассматривались как разведочные и не входили в проверку рабочей гипотезы.

Основная гипотеза исследования заключалась в том, что у спортсменов высокой квалификации паттерны взаимосвязей между показателями когерентности ЭЭГ и стабилометрическими индексами будут качественно отличаться от таковых у спортсменов с низкой квалификацией. На основании нейрофизиологических

данных о роли височно-лобных и лобно-центральных сетей в постуральном контроле [3] мы предполагали, что у кикбоксеров с высокой квалификацией могут наблюдаться специфические усиленные корреляции, отражающие эффективную корковую интеграцию сенсорной и моторной информации.

Таблица 2

Вероятностные корреляции параметров когерентного анализа ЭЭГ и стабилометрии у высококвалифицированных кикбоксеров в различных состояниях и условиях функционального тестирования

ЭЭГ-пара (состояние)	Стабилометрический параметр (условие)	Обоснование ожидаемого результата
C3–C4 (фон)	ПС (открытые глаза)	Межполушарная синхронизация моторной коры обеспечивает симметричную устойчивость при зрительном контроле
	ПС (закрытые глаза)	При закрытых глазах компенсаторная роль межполушарной когерентности возрастает (маркер адаптации)
F3–C3 (фон)	АВТ (открытые глаза)	Лобно-моторный контроль правой руки – основа автоматизации позы
	АВТ (поворот направо, открытые глаза)	Сохранение автоматизации при вестибулярной нагрузке (поворот в доминантную сторону)
F7–T3 (фон)	СН (поворот налево, открытые глаза)	Левосторонняя вестибулярная интеграция обеспечивает сенсорную независимость при повороте головы
	СН (поворот налево, закрытые глаза)	Экстремальное условие (вестибулярная нагрузка без зрительного контроля) – проверка вестибулярной компенсации
F8–T4 (фон)	СН (поворот направо, открытые глаза)	Правосторонняя вестибулярная интеграция (пространственный слух и баланс)
ΔF4–C4 (ГВ – фон)	ПС (поворот налево, открытые глаза)	Реакция на гипервентиляцию: у мастеров рост когерентности связан со снижением постуральной стабильности (маркер перенапряжения)
	ПС (поворот налево, закрытые глаза)	Стресс-тест правого полушария: гипервентиляция на фоне зрительной депривации

Примечание: C3, C4 – центральная область, соответственно левое и правое полушария; F3, F4 – лобная область; T3, T4 – височная область; их межполушарные и внутриполушарные пары: F3–C3, F4–C4, F7–T3 и F8–T4; ЭЭГ – электроэнцефалограмма; ГВ – гипервентиляция; Δ – прирост за счет гипервентиляции; ПС – постуральная стабильность; СН – сенсорная независимость; АВТ – автоматизация.

Результаты исследования и их обсуждение. Априорные гипотезы о связях межполушарной (C3–C4) и лобно-моторной (F3–C3) когерентности с индексами постуральной стабильности и автоматизацией не подтвердились (все $r<0,30$ при $p>0,05$). Однако в ходе разведочного анализа выявлены сильные корреляции в височно-лобных отведениях (табл. 3). Полученные результаты демонстрируют неожиданный, но объяснимый с точки зрения нейрофизиологии эффект. В группе спортсменов с НК выявлены сильные корреляции (r – до 0,85-0,88) между когерентностью ЭЭГ в височно-лобных отведениях (F7–T3, F8–T4) со стабилометрическими индексами (ПС, СН). Можно сделать предварительный вывод о том, что у кикбоксеров с НК кора головного мозга синхронизирует свою работу для сохранения равновесия, особенно в условиях сенсорной депривации (проб с закрытыми глазами и поворотом головы), а также при гипервентиляции, что согласуется с ранее полученными результатами [23]. Разведочный корреляционный анализ выявил большое число взаимосвязей исследуемых показателей у спортсменов с НК, у спортсменов с ВК этой связи нет,

что косвенно отражает автоматизацию контроля [6].

В группе спортсменов с ВК эти корреляции отсутствуют или имеют противоположный знак (например, фоновый F8–T4 с индексом «Сенсорная независимость» (поворот налево, открытые глаза), r=0,353), тогда как у спортсменов массовых разрядов связь указанных показателей r=-0,726. Отрицательная связь между когерентностью F8–T4 и индексом сенсорной независимости у спортсменов с НК может отражать неэффективную вестибулярную интеграцию: чем выше синхронизация в правой височно-лобной сети, тем более зависим спортсмен от зрения для поддержания позы. У спортсменов с ВК эта связь отсутствует, что указывает на эффективную вестибулярную компенсацию.

Можно предварительно заключить, что с ростом мастерства постуральный контроль автоматизируется и переходит на субкортикальный уровень (мозжечок, базальные ганглии, ствол мозга). Кора головного мозга перестает быть критическим звеном в поддержании статической позы, что и проявляется в представленном паттерне корреляций.

Таким образом, ключевым нейрофизиологическим коррелятом квалификации в кикбоксинге является не усиление, а ослабление корково-постуральных связей, что согласуется с теорией автоматизации двигательных навыков и данными о смещении эфферентного управления на уровень стволовых и мозжечковых структур у квалифицированных спортсменов [6].

Таблица 3

Значимые коэффициенты корреляции параметров когерентного анализа ЭЭГ и стабилометрии у кикбоксеров различной квалификации

Корреляционная пара	КВ (n=10)	НК (n=10)	Z-Фишера	p-уровень
F7–T3 (Ф) – ПС (ПЛЗГ)	-0,117	0,775	2,89	0,004
F7–T3 (Ф) – СН (ПЛЗГ)	-0,184	0,689	2,57	0,010
F8–T4 (Ф) – СН (ПЛОГ)	0,353	-0,726	3,21	0,001
F8–T4 (ГВ) – ПС (ОСЗГ)	0,400	-0,685	2,98	0,003

Примечание: F7–T3 и F8–T4 – межполушарные и внутриполушарные пары лобной и височной областей; ЭЭГ – электроэнцефалограмма; КВ – квалифицированные спортсмены, НК – спортсмены низкой квалификации; Ф – фоновая запись ЭЭГ; ГВ – гипервентиляция; ПС – индекс постуральной стабильности; СН – индекс сенсорной независимости; ОГ – открытые глаза; ЗГ – закрытые глаза; ПЛ – поворот головы влево; ОС – основная стойка.

Первоначальное предположение об усилении корково-постуральных связей у спортсменов с ВК не подтвердилось. В результате апостериорного уточнения гипотезы, обнаружен эффект, противоположный ожидаемому: в группе спортсменов с НК выявлены многочисленные сильные корреляции, тогда как у лиц с ВК они практически отсутствуют.

Заключение. Полученные результаты позволяют уточнить нейрофизиологическую модель кортико-мускулярной когерентности: с ростом квалификации постуральный контроль автоматизируется и переходит на субкортикальный уровень, что проявляется в снижении силы связей и сокращении количества корреляций между показателями корковой синхронизации и стабилометрии. Такой результат согласуется с данными о переходе контроля на субкортикальный уровень (стволовые центры, мозжечок и базальные ганглии) двигательных навыков у высококвалифицированных спортсменов [6] и не противоречит исходной гипотезе о качественных различиях паттернов между группами, но требует пересмотра направления ожидаемых эффектов.

Результаты исследования позволяют рекомендовать использование показателей височно-лобной когерентности ЭЭГ в качестве нейрофизиологического маркера эффективности постурального контроля у кикбоксеров. Перспективным направлением исследований является изучение динамики этих показателей в процессе многолетней подготовки и их связь с соревновательной надежностью спортсменов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаренко, А.С. Сравнительная характеристика постурального контроля у спортсменов в условиях различных функциональных нагрузок / А.С. Назаренко, Ф.А. Мавлиев, Р.А. Юсупов // Теория и практика физической культуры. – 2026. – № 2. – С. 15-17.
2. Chmiel, J. Application of Electroencephalography (EEG) in Combat Sports-Review of Findings, Perspectives, and Limitations / J. Chmiel, J. Nadobnik // Journal of Clinical Medicine. – 2025. – Vol. 14. – Art. ID 4113. DOI: 10.3390/jcm 14124113.
3. Dieterich, M. The parietal lobe and the vestibular system (Chapter 6): Handbook of Clinical Neurology / M. Dieterich, T. Brandt // Elsevier. – 2018. – Vol. 151. – P. 119-140. DOI: 10.1016/ B978-0-444-63622-5.00006-1.
4. Role of handedness-related vestibular cortical dominance upon the vestibular-ocular reflex / Q. Arshad, M. Patel, U. Goga [et al.] // Journal of Neurology. – 2015. – Vol. 262. – P. 1069-1071. DOI: 10.1007/s00415-015-7690-y.
5. Murray, J.M. Remembrance of things practiced with fast and slow learning in cortical and subcortical pathways / J.M. Murray, G.S. Escola // Nature Communications. – 2020. – Vol. 11. – P. 6441. DOI: 10.1038/s41467-020-19788-5.
6. The mind of expert motor performance is cool and focused / J. Milton, A. Solodkin, P. Hlustík, S.L. Small // Neuroimage. – 2007. – Vol. 35(2). – P. 804-813. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007. 01.003.
7. Crawley, F.P. Declaration of Helsinki: Full paragraph-by-paragraph comparison indicating changes in version 19 October 2024 compared with the most previous version of 19 October 2013 // Zenodo. – 2024. – URL: https://zenodo.org/ records/13997192 (дата обращения: 20.03.2026).
8. Постников, Н.К. Обоснование эффективности использования метода стабилометрии для контроля постурального баланса спортсменов / Н.К. Постников, А.В. Санникова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2024. – № 2-2(89). – С. 12-14. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-2-2-12-14.
9. Иванов, Л.Б. Когерентный анализ в электроэнцефалографии. Перспективы и проблемы применения когерентного анализа в практике ЭЭГ (лекция первая) / Л.Б. Иванов // Медицинский алфавит. – 2023. – № 7. – С. 7-16. DOI: 10.33667/2078-5631-2023-7-7-16
10. Зенков, Л.Р. Клиническая электроэнцефалография с элементами эпилептологии / Л.Р. Зенков. – М.: МЕДпресс-информ, 2016. – 360 с.
11. Наркевич, А.Н. Множественные сравнения в биомедицинских исследованиях: проблема и способы решения / А.Н. Наркевич, К.А. Виноградов, А.М. Гржибовский // Экология человека. – 2020. – № 10. – С. 55-64. DOI: 10.33396 / 1728-0869-2020-10-55-64.
12. Improving training of boxers based on the assessment of stabilometric indicators / D. Viktorov, V. Leshukov, A. Shakhovskiy, A. Bakushin // Journal of Physical Education and Sport. – 2019. – Vol. 19(4). – P. 2539-2544. DOI: 10.7752/jpes.-2019.04386.
13. Нопин, С.В. Характеристики постурального контроля движений спортсменов различных видов спорта с позиции формирования двигательного динамического стереотипа / С.В. Нопин, Ю.В. Корягина, Ю.В. Кушнарева // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 2. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_ 06_02_47.
14. Postural control in high-level kata and kumite karatekas / G.C. Gauchard, A. Lion, L. Bento [et al.] // Movement and Sport Sciences – Science and Motricité. – 2018. – Vol. 100. – No. 2. – P. 21-26. DOI: 10.1051/sm/2017005.
15. Савин, А.А. Сравнительный анализ регуляции вертикальной позы у борцов разной спортивной квалификации / А.А. Савин, А.Д. Викулов, А.А. Мельников // Ярославский педагогический вестник. – 2010. – Т. 3. – № 4. – С. 98-103.
16. Varghese, J.P. Activity in Functional Cortical Networks Temporally Associated with Postural Instability / J.P. Varghese, W.R. Staines, W.E. McIlroy // Neuroscience. – 2019. – Vol. 401. – P. 43-58. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2019.01.008.
17. Corticopostural functional and effective connectivity reveal cortical control of postural sway velocity during quiet standing / M. Fauvet, C. Ziane, L. Archambault-Levesque [et al.] // bioRxiv. – 2023. – P. 571767. DOI: 10.1101/2023.12.14.571767.
18. Electroencephalographic Correlates of Continuous Postural Tasks of Increasing Difficulty / A.E. Edwards, O. Guven, M.D. Furman [et al.] // Neuroscience. – 2018. – Vol. 395. – P. 35-48. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2018.10.040.
19. Cortical Activity During Postural Recovery in Response to Predictable and Unpredictable Perturbations in Healthy Young and Older Adults: A Quantitative EEG Assessment / Z. Saadat, E.

Sinaei, S. Pirouzi [et al.] // Basic and Clinical Neuroscience. – 2021. – Vol. 12(2). – P. 291-300. DOI: 10.32598/bcn.12.2.453.1
20. Neuroimaging and cognitive correlates of postural control in Parkinson's disease: a systematic review / P. Tait, L. Graham, R. Vitorio [et al.] // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2025. – Vol. 22. – P. 24. DOI: 10.1186/s12984-024-01539-y.
21. Bosch-Bouju, C. Motor thalamus integration of cortical, cerebellar and basal ganglia information: implications for normal and parkinsonian conditions / C. Bosch-Bouju, B.I. Hyland, L.C. Parr-Brownlie // Frontiers in Computational Neuroscience. – 2013. – Vol. 7. – P. 163. DOI: 10.3389/fncom.2013.00163.
22. Lee, J. Neuroanatomy, Extrapyramidal System / J. Lee, M.R. Muzio // StatPearls. – Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2026. – URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554542/?report=reader#_NBK554542_pubdet_ (дата обращения: 22.04.2026).
23. Slobounov, S. Alteration of posture-related cortical potentials in mild traumatic brain injury / S. Slobounov, W. Sebastianelli, R. Moss // Neuroscience Letters. – 2005. – Vol. 383(3). – P. 251-255. DOI: 10.1016/j.neulet.2005.04.039.

REFERENCES

1. Nazarenko A.S., Mavliev F.A., Yusupov R.A. Comparative characteristics of postural control in athletes under different functional loads. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2026, no. 2, pp. 15-17. (in Russ.)
2. Chmiel J., Nadobnik J. Application of Electroencephalography (EEG) in Combat Sports-Review of Findings, Perspectives, and Limitations. *Journal of Clinical Medicine*, 2025, vol. 14, art. ID 4113. DOI: 10.3390/jcm14124113.
3. Dieterich M., Brandt T. The parietal lobe and the vestibular system (Chapter 6). Handbook of Clinical Neurology. Vallar G., Coslett H.B., ed. Elsevier. 2018, vol. 151, pp. 119-140. DOI: 10.1016/B978-0-444-63622-5.00006-1.
4. Arshad Q., Patel M., Goga U. et al. Role of handedness-related vestibular cortical dominance upon the vestibular-ocular reflex. *Journal of Neurology*, 2015, vol. 262, pp. 1069-1071. DOI: 10.1007/s00415-015-7690-y.
5. Murray J.M., Escola G.S. Remembrance of things practiced with fast and slow learning in cortical and subcortical pathways. *Nature Communications*, 2020, vol. 11, p. 6441. DOI: 10.1038/s41467-020-19788-5.
6. Milton J., Solodkin A., Hlustík P., Small S.L. The mind of expert motor performance is cool and focused. *Neuroimage*, 2007, vol. 35(2), pp. 804-813. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.01.003.
7. Crawley F.P. Declaration of Helsinki: Full paragraph-by-paragraph comparison indicating changes in version 19 October 2024 compared with the most previous version of 19 October 2013. *Zenodo*, 2024. URL: https://zenodo.org/records/13997192 (accessed: 20.03.2026)
8. Postnikov N.K., Sannikova A.V. Substantiation of the effectiveness of using the stabilometry method to control the postural balance of athletes. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2024, vol. 2-2(89), pp. 12-14. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-2-2-12-14. (in Russ.)
9. Ivanov L.B. Coherence analysis in electroencephalography. prospects and problems of using coherent analysis in EEG practice (lecture one). *Medical alphabe*t, 2023, no. 7, pp. 7-16. DOI: 10.33667/2078-5631-2023-7-7-16. (in Russ.)
10. Zenkov L.R. Clinical electroencephalography with elements of epileptology. Moscow: MEDpress-inform Publ, 2016. 360 p. (in Russ.).
11. Narkevich A.N., Vinogradov K.A., Grjibovski A.M. Multiple comparisons in biomedical research: the problem and its solutions. *Human Ecology*, 2020, no. 10, pp. 55-64. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-10-55-64. (in Russ.)
12. Viktorov D., Leshukov V., Shakhovskiy A., Bakushin A. Improving training of boxers based on the assessment of stabilometric indicators. *Journal of Physical Education and Sport*, 2019, vol. 19(4), pp. 2539-2544. DOI: 10.7752/jpes.2019.04386.
13. Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Kushnareva Yu.V. Characteristics of postural motion control of athletes of various sports from the position of dynamic motor stereotype formation. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 2. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_47. (in Russ.).
14. Gauchard G.C., Lion A., Bento L., Perrin Ph.P., Ceyte H. Postural control in high-level kata and kumite karatekas. *Movement and Sport Sciences – Science and Motricité*, 2018, vol. 100, pp. 21-26. DOI: 10.1051/sm/2017005.
15. Savin A.A., Vikulov A.D., Melnikov A.A. Comparison of postural control of wrestlers with different sports qualification. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*, 2010, vol. 3(4), pp. 98-103. (in Russ.)
16. Varghese J.P., Staines W.R., McIlroy W.E. Activity in Functional Cortical Networks Temporally Associated with Postural Instability. *Neuroscience*, 2019, vol. 401, pp. 43-58. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2019.01.008.
17. Fauvet M., Ziane C., Archambault-Levesque L., Fornerone T., Maso F.D. Corticopostural functional and effective connectivity reveal cortical control of postural sway velocity during quiet

standing. *bioRxiv*, 2023, p. 571767. DOI: 10.1101/2023.12.14.571767.
18. Edwards A.E., Guven O., Furman M.D. et al. Electroencephalographic Correlates of Continuous Postural Tasks of Increasing Difficulty. *Neuroscience*, 2018, vol. 395, pp. 35-48. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2018.10.040.
19. Saadat Z., Sinaei E., Pirouzi S., Ghofrani M., Nami M. Cortical Activity During Postural Recovery in Response to Predictable and Unpredictable Perturbations in Healthy Young and Older Adults: A Quantitative EEG Assessment. *Basic and Clinical Neuroscience*, 2021, vol. 12(2), pp. 291-300. DOI: 10.32598/bcn.12.2.453.1.
20. Tait P., Graham L., Vitorio R. et al. Neuroimaging and cognitive correlates of postural control in Parkinson's disease: a systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2025, vol. 22, p. 24 (2025). DOI: 10.1186/s12984-024-01539-y.
21. Bosch-Bouju C., Hyland B.I., Parr-Brownlie L.C. Motor thalamus integration of cortical, cerebellar and basal ganglia information: implications for normal and parkinsonian conditions. *Frontiers in Computational Neuroscience*. 2013, vol. 7, p. 163. DOI: 10.3389/fncom.2013.00163.
22. Lee J., Muzio M.R. Neuroanatomy, Extrapyramidal System. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554542/?report=reader#_NBK554542_pubdet_ (accessed: 22.04.2026).
23. Slobounov S., Sebastianelli W., Moss R. Alteration of posture-related cortical potentials in mild traumatic brain injury. *Neuroscience Letters*, 2005, vol. 383(3), pp. 251-255. DOI: 10.1016/j.neulet.2005.04.039

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Юрий Николаевич Романов – доктор биологических наук, профессор кафедры спортивного совершенствования, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, e-mail: romanovyn@susu.ru.
Павел Азифович Байгужин – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НИЦ спортивной науки, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, e-mail: baiguzhinpa@susu.ru.
Анастасия Павловна Павлова – студент, Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, e-mail: pavlovaap19@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Yury N. Romanov – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Sports Improvement, South Ural State University, Chelyabinsk, e-mail: romanovyn@susu.ru.
Pavel A. Bayguzhin – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Sports Science Research Center, South Ural State University, Chelyabinsk, e-mail: baiguzhinpa@susu.ru.
Anastasia P. Pavlova – Student, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, e-mail: pavlovaap19@mail.ru.

Для цитирования: Романов, Ю.Н. Анализ функциональных связей между когерентностью электроэнцефалограммы и постуральной стабильностью у кикбоксеров высокой и низкой квалификации / Ю.Н. Романов, П.А. Байгужин, А.П. Павлова // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_17

For citation: Romanov Yu.N., Baiguzhin P.A., Pavlova A.P. Analysis of functional relationships between electroencephalogram coherence and postural stability in high- and low-skilled kickboxers. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_17

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_18
УДК 796.015.6:613.2-053.5

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_18
UDC 796.015.6:613.2-053.5

АССОЦИАЦИЯ НУТРИТИВНОГО СТАТУСА С ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТЬЮ ДЕТЕЙ 6-12 ЛЕТ: КРОСС-СЕКЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ В КОНТЕКСТЕ НОРМАТИВОВ «ГОТОВ К ТРУДУ И ОБОРОНЕ»

В.В. Сверчков[1,2], Е.В. Быков[1,2]

[1]Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт развития, здоровья и адаптации ребенка», г. Москва, Россия

[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет физической культуры», г. Челябинск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Цель исследования – установить связь нутритивного статуса с показателями физической подготовленности детей 6-12 лет, соответствующими нормативам «Готов к труду и обороне» I-III ступеней. ***Методы.*** В кросс-секционном исследовании проанализированы данные 9 910 детей (50,2% мальчиков), прошедших тестирование по бегу на 30 метров, прыжку в длину с места, 6-минутному бегу и подниманию туловища. Нутритивный статус определяли по сигнальным отклонениям индекса массы тела. Первичный анализ выполнен в SPSS (дисперсионный анализ с поправкой Бонферрони), вторичный – в Python: рассчитаны Cohen's d с 95% доверительными интервалами, поправка Hedges' g для малых выборок, Z-score отклонения. ***Результаты.*** Ожирение ассоциировано со снижением параметров физической подготовленности, наиболее выраженным в прыжке в длину (Cohen's d до 0,80 у мальчиков 10 лет), умеренным в 6-минутном беге (d до 0,39). В беге на 30 метров значимое отставание выявлено только у мальчиков 9 лет с ожирением (d=0,24). Избыток массы тела был связан со снижением результатов лишь с 10 лет и только в прыжке, 6-минутном беге и поднимании туловища (d=0,18-0,30). Дефицит массы тела не ассоциирован со значимым снижением ни одного из показателей. ***Заключение.*** Ожирение гетерогенно связано с компонентами физической подготовленности у детей 6-12 лет. Обоснованы дифференцированные поправочные коэффициенты к нормативам «Готов к труду и обороне» для детей с ожирением и избытком массы тела.

Ключевые слова: нутритивный статус, ожирение, избыточная масса тела, дефицит массы тела, физическая подготовленность, дети.

ASSOCIATION OF NUTRITIONAL STATUS WITH PHYSICAL FITNESS IN CHILDREN AGED 6-12 YEARS: A CROSS-SECTIONAL STUDY IN THE CONTEXT OF THE "READY FOR LABOR AND DEFENSE" STANDARDS

V.V. Sverchkov[1,2], E.V. Bykov[1,2]

[1]Institute of Child Development, Health and Adaptation, Moscow, Russia

[2]Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Objective: to assess the impact of nutritional status on physical fitness indicators corresponding to the "Ready for Labor and Defense" standards in children aged 6-12 years. ***Methods.*** This cross-sectional study analyzed data from 9,910 children (50.2% boys) tested on 30 m sprint, standing long jump, 6-minute run, and sit-ups. Nutritional status was classified using body mass index Z-scores. Primary analysis was performed in SPSS (ANOVA with Bonferroni correction), secondary analysis – in Python included Cohen's d with 95% confidence interval, Hedges' g correction for small samples, and Z-score deviations. ***Results.*** A heterogeneous association between nutritional status and physical fitness was found: obesity most markedly impairs explosive leg power (Cohen's d up to 0.80 in 10-year-old boys), moderately affects endurance (d up to 0.39), and minimally affects speed (d=0.24 in 9-year-old boys). Overweight was associated with significant declines only from age 10, limited to jump, 6-minute run, and sit-ups (d=0.18-0.30). Underweight was not associated with significant reduction in any fitness component. ***Conclusion.*** Differentiated correction coefficients for the "Ready for Labor and Defense" standards are proposed for children with obesity and overweight.

Keywords: nutritional status, obesity, overweight, underweight, physical fitness, children.

Введение. Детское ожирение признано одной из наиболее серьезных угроз общественному здоровью. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2022 году более 390 миллионов детей и подростков в возрасте от 5 до 19 лет имели избыточную массу тела, из них 160 миллионов страдали ожирением [1]. Параллельно с ростом распространенности избыточной массы тела и ожирения актуализируется проблема оценки физической подготовленности (ФП) детского населения. Европейские нормативные данные, обобщенные G. Tomkinson с соавт. [2] на основе 2,8 миллионов тестирований EUROFIT из 30 стран, служат актуальным ориентиром для оценки ФП современных школьников и демонстрируют значительную вариабельность результатов в зависимости от возраста, пола и географического региона. Систематический обзор J. Alaniz-Arcos с соавт. [3] показал, что дети с ожирением, имея более высокую абсолютную силу мышц верхних конечностей, значительно уступают сверстникам с нормальной массой тела в тестах, требующих перемещения собственного веса (прыжки, бег на выносливость, подтягивания).

В Российской Федерации проблема детского ожирения стоит не менее остро. По данным Абрамовой с соавт. [4], среди детей 6-10 лет отклонение от нормальной массы тела в сторону избытка и ожирения достигают 26% у мальчиков и 21% у девочек, причем частота ожирения прогрессивно нарастает к 10-летнему возрасту. Стародубцева с соавт. [4] показали, что уже в 6-7 лет дошкольники с избыточной массой тела демонстрируют более низкие результаты в некоторых беговых тестах, тогда как в прыжковых и силовых упражнениях значимых различий не наблюдается. В то же время, несмотря на масштабное внедрение Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «Готов к труду и обороне» (ВФСК ГТО) как инструмента мониторинга ФП детского населения, нормативные требования комплекса остаются унифицированными для всех детей одного возраста и пола, без учета их нутритивного статуса.

Вопрос о ФП детей с дефицитом массы тела освещен в литературе фрагментарно. Метаанализ Y. Dubale с соавт. [6], обобщивший 22 исследования, показал, что в европейских популяциях дети с дефицитом массы практически не отличаются от сверстников с нормальной массой по большинству показателей ФП (стандартизированная разница средних (SMD) от -0,05 до 0,01). Однако авторы отметили высокую гетерогенность данных, низкое качество доказательств и недостаток исследований, дифференцирующих конституциональную худобу от истинной нутритивной недостаточности. Кроме того, в доступных работах практически не анализировались половозрастные особенности и связь с конкретными нормативами ГТО. Таким образом, дефицит массы тела остается недооцененной категорией, требующей дальнейшего изучения на крупных выборках с детальным анализом отдельных двигательных качеств.

Цель исследования: на основе кросс-секционного анализа российских детей 6-12 лет оценить влияние нутритивного статуса на показатели физической подготовленности, соответствующие нормативам ВФСК ГТО I-III ступеней, и обосновать дифференцированный подход к оценке результатов тестирования детей с отклонениями нутритивного статуса.

Методы и организация исследования. Проведено одномоментное (кросс-секционное) исследование на базе общеобразовательных школ Российской Федерации. В анализ включены данные 9 910 детей в возрасте от 6 до 12 лет (мальчики ≈5 000, девочки ≈4 900), прошедшие плановое тестирование параметров физической подготовленности. Распределение участников по возрасту, полу и нутритивному статусу представлено в таблице 1.

Критерии включения: возраст – 6-12 лет на момент тестирования, наличие данных по длине тела, массе тела и результатам не менее трех двигательных тестов, информированное согласие родителей.

Критерии исключения: острые заболевания в день тестирования, наличие медицинских противопоказаний к выполнению двигательных тестов, отказ ребенка от участия.

Оценка нутритивного статуса. Нутритивный статус оценивали по индексу

массы тела (ИМТ) с использованием сигмальных отклонений (z-score) согласно нормативам ВОЗ. Затем детей разделили на четыре категории:

- дефицит массы тела: z-score ИМТ < -1;
- нормальная масса тела: -1 ≤ z-score ИМТ ≤ +1;
- избыток массы тела: +1 < z-score ИМТ ≤ +2;
- ожирение: z-score ИМТ > +2.

Возраст ребенка определяли на день тестирования с округлением до ближайшего полугодия (например, группа «8 лет» включала детей в диапазоне от 7,5 до 8,49 лет).

Таблица 1

Распределение участников исследования по возрасту, полу и нутритивному статусу (по данным теста «Бег 30 м»)

Возраст	Пол	Дефицит массы	Норма	Избыток массы	Ожирение	Всего
6-7 лет	мальчики	9	166	45	48	268
	девочки	13	213	52	37	315
	сумма	22	379	97	85	583
8 лет	мальчики	63	635	164	161	1023
	девочки	57	690	173	103	1023
	сумма	120	1325	337	264	2046
9 лет	мальчики	62	839	287	229	1417
	девочки	52	931	227	150	1360
	сумма	114	1770	514	379	2777
10 лет	мальчики	41	840	319	182	1382
	девочки	45	921	253	129	1348
	сумма	86	1761	572	311	2730
11-12 лет	мальчики	28	554	226	144	952
	девочки	35	555	156	76	822
	сумма	63	1109	382	220	1774
% от выборки		4,1%	64,0%	19,2%	12,7%	100%

Примечание: для остальных тестов объем выборки незначительно варьирует в связи с отсутствием отдельных учащихся в дни тестирования или техническими ошибками измерения. Точные значения N для каждого теста приведены в соответствующих таблицах результатов. Нутритивный статус определен по сигмальным отклонениям индекса массы тела согласно критериям ВОЗ (WHO Growth Reference, 2007).

Протоколы двигательных тестов. Параметры ФП оценивали по четырем тестам, соответствующим нормативам ВФСК ГТО I-III ступеней: бег на 30 м (с), прыжок в длину с места (см), 6-минутный бег (м) и поднимание туловища из положения лежа на спине (раз). Все тесты проводились по стандартизированным протоколам, принятым в практике комплекса ГТО.

Статистическая обработка данных проводилась в два этапа. На первом этапе с использованием пакета IBM SPSS Statistics 27 версии выполняли первичный анализ. Для сравнения средних значений между группами с различным нутритивным статусом применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с предположением о равенстве дисперсий. Пост-хок попарные сравнения проводили с коррекцией уровня значимости методом Бонферрони. Результаты данного этапа легли в основу агрегированных описательных статистик (средние арифметические M, стандартные отклонения σ, объем выборки n).

На втором этапе опираясь на полученные данные, проводили углубленный анализ величины наблюдаемых эффектов. Расчеты выполняли в среде Python 3.10 с использованием библиотек SciPy, Statsmodels и Pingouin. Последовательно определяли:

- стандартизированный размер эффекта (Cohen’s d). 95% доверительные интервалы (ДИ), d вычисляли на основе

стандартной ошибки, аппроксимированной по методу Хеджеса-Олкина;

- для сравнений с объемом выборки менее 50 наблюдений в одной из групп применяли поправку Хеджеса (Hedges' g), устраняющую систематическое завышение величины эффекта при малых выборках;

- апостериорную статистическую мощность для уровня значимости α=0,05 на основе полученных размеров эффекта и фактических объемов выборок;

- стандартизированное отклонение от группы с нормальной массой тела (Z-score), рассчитываемое по формуле $Z = (M_1-M_0)/\sigma_0$, где M_1 – среднее значение в группе с отклонением нутритивного статуса, M_0 и σ_0 – среднее и стандартное отклонение в группе с нормальной массой тела. Для тестов, где меньшее значение соответствует лучшему результату (бег 30 м), знак Z-score инвертировали таким образом, чтобы отрицательные значения всегда указывали на ухудшение результата относительно нормы;

- байесовский фактор (BF_{10}) для ключевых попарных значений, вычисленный на основе распределения t-статистики и объемов выборок с использованием априорного распределения Коши (r=0,707). Интерпретацию BF_{10} проводили по классификации Джеффриса: BF_{10}<1 – свидетельства в пользу нулевой гипотезы; 1-3 – слабые; 3-10 – умеренные; 10-30 – сильные; 30-100 – очень сильные; >100 – решающие свидетельства в пользу альтернативной гипотезы.

Интерпретацию величины эффекта проводили согласно общепринятым ориентирам: |d|<0,2 – пренебрежимо малый эффект; 0,2≤|d|<0,5 – малый; 0,5≤|d|<0,8 – средний; |d|≥0,8 – большой.

Результаты исследования и их обсуждение. В анализ включены данные 9 910 детей в возрасте от 6 до 12 лет, прошедших тест «Бег на 30 метров». Объем выборки для тестов «Прыжок в длину с места» и «6-минутный бег» незначительно варьировал в связи с отсутствием отдельных учащихся в дни тестирования; точные значения n для каждого сравнения приведены в таблице 2. Большинство обследованных (64%) имели нормальную массу тела. Отклонения нутритивного статуса зарегистрированы у 36% детей. Избыток массы тела выявлен у 19,2%, ожирение – у 12,7%, дефицит массы тела – у 4,1%.

Бег на 30 метров (скоростные способности). Статистически значимые различия во времени бега на 30 метров между группами с отклонением от нутритивного статуса и группой с нормальной массой тела обобщены в таблице 2. Единственное различие зарегистрировано у мальчиков 9 лет с ожирением, которые уступали группе с нормальной массой тела (Cohen's d=0,24 [95% ДИ: 0,10; 0,38] BF_{10}=2,85, слабые свидетельства). Во всех остальных возрастно-половых группах значимых различий не выявлено.

6-минутный бег (выносливость). Результаты теста на выносливость представлены в таблице 2. Дефицит массы тела у девочек 8 лет ассоциировался с повышением выносливости по сравнению с нормой (Cohen's d=0,53 [95% ДИ: 0,23; 0,83] BF_{10}=60,9, очень сильные свидетельства). На II ступени ГТО (9 лет) мальчики с ожирением уступали норме (d=0,28 [95% ДИ: 0,14; 0,42], BF_{10}=8,40, умеренные свидетельства), тогда как девочки с ожирением демонстрировали парадоксальное преимущество (d=0,25 [95% ДИ: 0,07; 0,43]; BF_{10}=1,65, слабые свидетельства). На III ступени (11-12 лет) у мальчиков как ожирение, так и избыток массы были связаны со снижением выносливости (d=0,39, BF_{10}=12,3, сильные свидетельства и d=0,25, BF_{10}=3,10, умеренные свидетельства, соответственно). У девочек данной возрастной группы значимых различий не обнаружено.

Поднимание туловища. Различия в тесте на силу мышц кора обобщены в таблице 3. У мальчиков 8 лет ожирение ассоциировалось со снижением результата (d=0,26 [95% ДИ: 0,08; 0,44]; BF_{10}=2,30, слабые свидетельства) по сравнению с нормой. На II ступени ГТО (9-10 лет) как избыток массы тела, так и ожирение были связаны со снижением силы мышц кора как у мальчиков, так и у девочек. Величина эффекта варьировала от малого (d=0,18 у мальчиков 10 лет с избытком) до умеренного (d=0,43 у девочек 10 лет с ожирением; BF_{10}=35,2, очень сильные свидетельства).

Таблица 2

Статистически значимые различия в показателях физической подготовленности у детей с отклонением от нутритивного статуса по сравнению с группой «Норма» (представлены только статистически значимые различия p<0,05)

Тест	Ступень	Пол	Сравнение	M±σ (откл.)	M±σ (норм)	Cohen's d [95% ДИ]	P<	Мощ-ность	BF_{10}
Бег 30 м, с	II (9)	М	ожирение (n=229) vs норма (n=839)	6,59± 1,09	6,36± 0,90	0,24 [0,10; 0,38]	0,01	94%	2,85
6-мин бег, м	I (8)	Д	дефицит (n=51) vs норма (n=620)	829± 185	724± 202	0,53 [0,23; 0,83]	0,01	71%	60,9
	II (9)	М	ожирение (n=207) vs норма (n=777)	832± 198	891± 220	0,28 [0,14; 0,28]	0,01	82%	8,40
	II (9)	Д	ожирение (n=139) vs норма (n=837)	862± 202	810± 212	0,25 [0,07; 0,43]	0,05	79%	1,65
	III (11-12)	М	ожирение (n=133) vs норма (n=505)	896± 214	984± 225	0,39 [0,21; 0,57]	0,01	81%	12,3
	III (11-12)	М	избыток (n=215) vs норма (n=505)	927± 227	984± 225	0,25 [0,09; 0,41]	0,01	74%	3,10

Примечание: размер эффекта представлен как Cohen's d с 95% доверительным интервалом; знак d не учитывает направление эффекта (положительный d всегда означает отличие от нормы, направление см. по средним). Мощность – апостериорная статистическая мощность сравнения; значения <80% указывают на недостаточный объем выборки для надежного обнаружения эффекта.

На III ступени (11-12 лет) значимое снижение сохранялось только у детей с ожирением (мальчики: d=0,31 [95% ДИ: 0,13; 0,49], BF_{10}=4,15, умеренные свидетельства; девочки: d=0,37 [95% ДИ: 0,15; 0,69]; BF_{10}=2,65, слабые свидетельства). Дети с избытком массы тела в данной возрастной группе не отличались от нормы.

Прыжок в длину с места. Различия в результатах теста между группами с разным нутритивным статусом обобщены на рисунке 1.

Ожирение ассоциировалось со снижением дальности прыжка во всех возрастных группах у детей обоих полов.

Величина эффекта варьировала от малого (d=0,30 у девочек 9 лет) до большого. Максимальное отставание зарегистрировано у мальчиков 10 лет с ожирением. Дальность прыжка составила в среднем 127,8 см в группе ожирения против 143,4 см в группе нормы – разница 15,6 см (Cohen's d=0,80 [95% ДИ: 0,63; 0,96]) (рис. 2).

Таблица 3

Статистически значимые различия в тесте «Поднимание туловища из положения лежа на спине» у детей с отклонением от нутритивного статуса по сравнению с группой «Норма» (представлены только статистически значимые различия p<0,05)

Ступень	Пол	Сравнение	M±σ (откл.)	M±σ (норм)	Cohen's d [95% ДИ]	P<	Мощ-ность	BF_{10}
I (8)	М	ожирение (n=162) vs норма (n=624)	20,6± 8,7	23,3± 10,9	0,26 [0,08; 0,44]	0,05	68%	2,30
II (9)	М	избыток (n=286) vs норма (n=830)	25,2± 11,0	28,5± 11,5	0,29 [0,16; 0,42]	0,01	86%	8,95
II (9)	М	ожирение (n=227) vs норма (n=830)	24,6± 9,5	28,5± 11,5	0,36 [0,21; 0,51]	0,01	91%	18,7
II (9)	Д	избыток (n=223) vs норма (n=924)	22,6± 10,1	26,8± 10,9	0,39 [0,25; 0,53]	0,01	94%	38,5
II (10)	М	избыток (n=321) vs норма (n=849)	28,1± 11,2	30,3± 12,3	0,18 [0,05; 0,31]	0,05	72%	1,40
II (10)	М	ожирение (n=184) vs норма (n=849)	25,9± 9,8	30,3± 12,3	0,36 [0,20; 0,52]	0,01	70%	14,2
II (10)	Д	избыток (n=253) vs норма (n=926)	26,2± 9,9	28,8± 10,9	0,24 [0,11; 0,37]	0,01	81%	4,80
II (10)	Д	ожирение (n=131) vs норма (n=926)	24,3± 8,7	28,8± 10,9	0,43 [0,25; 0,61]	0,01	92%	35,2
III (11-12)	М	ожирение (n=145) vs норма (n=556)	28,4± 10,9	32,3± 12,9	0,31 [0,13; 0,49]	0,01	78%	4,15
III (11-12)	Д	ожирение (n=76) vs норма (n=554)	26,3± 9,9	30,3± 11,2	0,37 [0,13; 0,61]	0,05	71%	2,65

Примечание: размер эффекта представлен как Cohen’s d с 95% доверительным интервалом; знак d не учитывает направление эффекта (положительный d всегда означает отличие от нормы, направление см. по средним). * – для данного сравнения применялась поправка Хеджеса (Hedges’g) в связи с малым объемом выборки (n<50). Мощность – апостериорная статистическая мощность сравнения; значения <80% указывают на недостаточный объем выборки для надежного обнаружения эффекта.

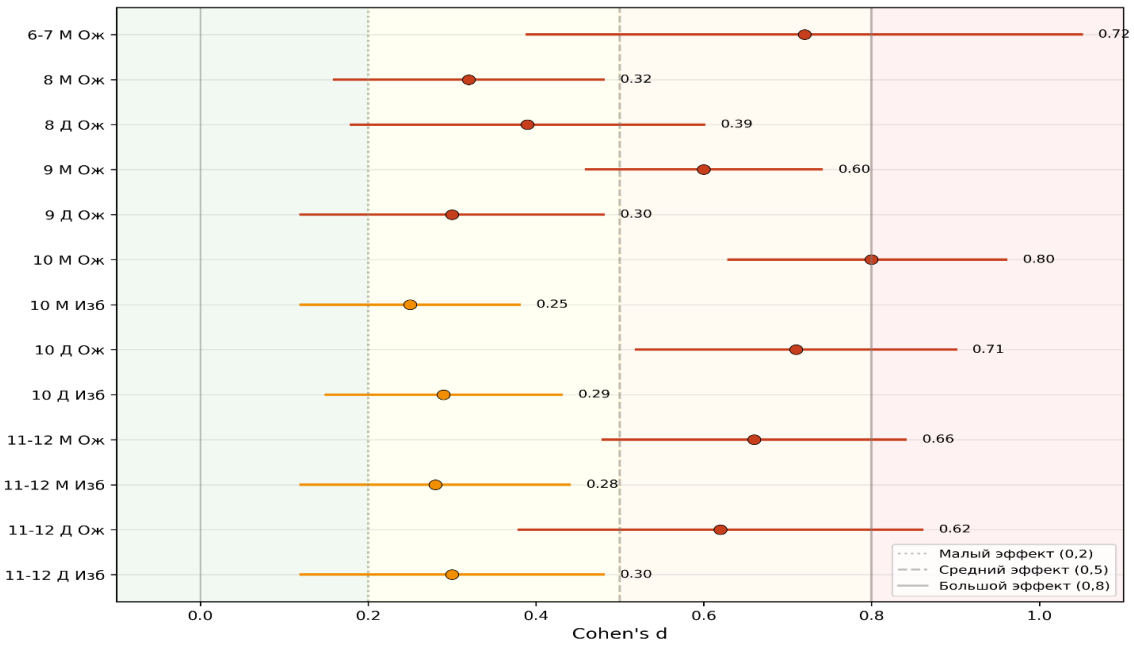


Рис. 1. Стандартизированный размер эффекта (Cohen’s d) с 95% доверительными интервалами для значимых различий в тесте «Прыжок в длину с места» между группами с отклонением нутритивного статуса и группой «Норма»

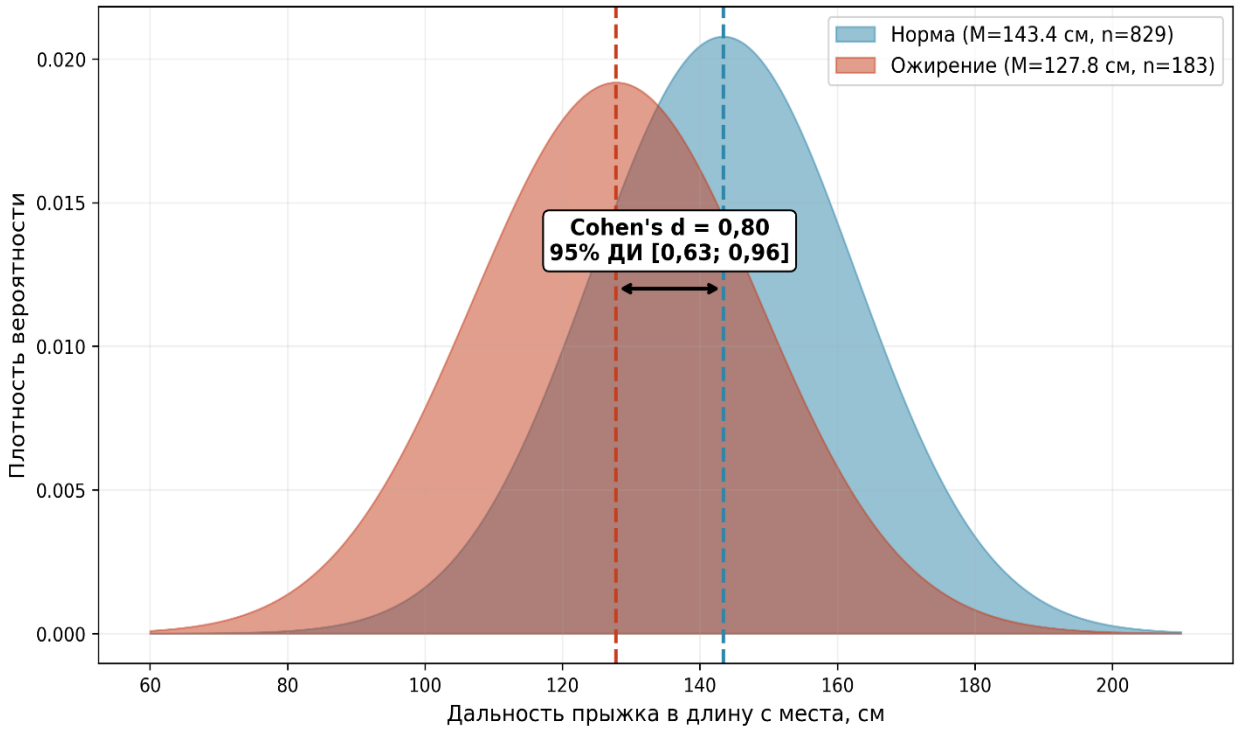


Рис. 2. Распределение результатов прыжка в длину с места у мальчиков 10 лет с нормальной массой тела (синяя кривая) и ожирением (красная кривая)

Комплексный профиль физической подготовленности. Рисунок 3 представляет профили физической подготовленности мальчиков 9 и 11-12 лет с различным нутритивным статусом в виде отклонений (Z-score) от группы «Норма» (Z=0) по четырем тестам. У мальчиков 9 лет ожирение сопровождалось выраженным снижением взрывной силы ног (Z=-0,62) при умеренном снижении выносливости (Z=-0,27) и силы кора (Z=-0,34). К 11-12 годам профиль ожирения характеризовался ухудшением по всем тестам, наиболее выраженным для прыжка (Z=-0,67), и 6-минутного бега (Z=-0,39).

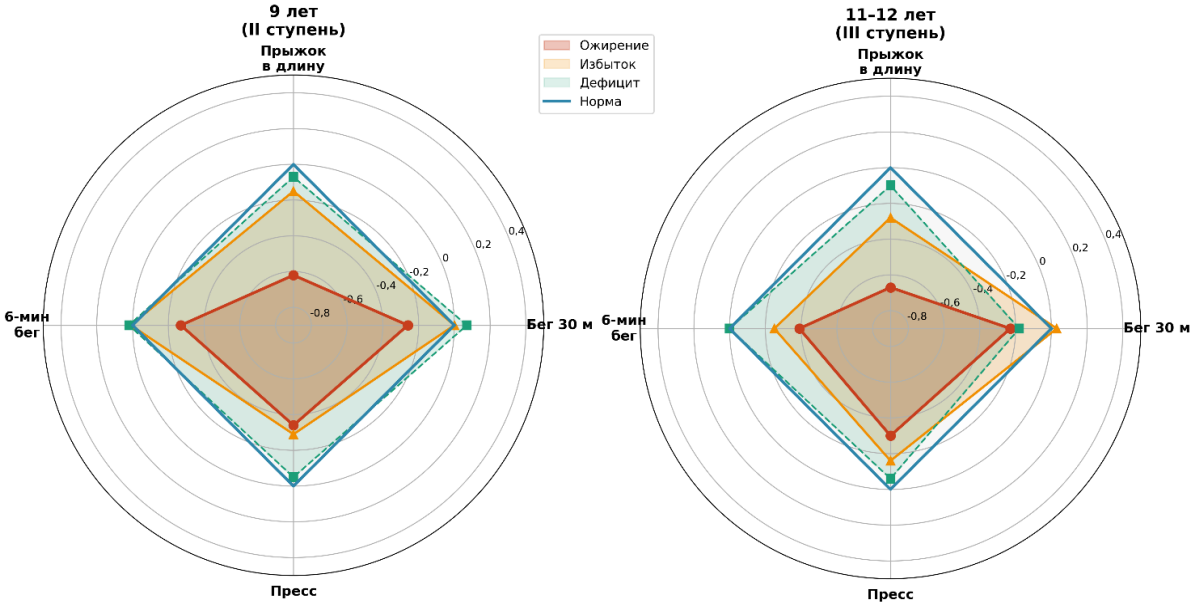


Рис. 3. Профили физической подготовленности мальчиков 9 и 11-12 лет с различным нутритивным статусом (отклонение от нормы Z-score)

Примечание: отрицательные значения – результат хуже нормы; положительные – лучше.

У девочек 9 лет (рис. 4) обращает на себя внимание преимущество группы ожирения в 6-минутном беге (Z=+0,25) при умеренном снижении результата в прыжке (Z=-0,31). Избыток массы ассоциировался со значительным снижением силы кора (Z=-0,39). К 11-12 годам профиль ожирения у девочек становился сходным с мальчиками: снижение по прыжку (Z=-0,62), прессу (Z=-0,36) и 6-минутному бегу (Z=-0,35).

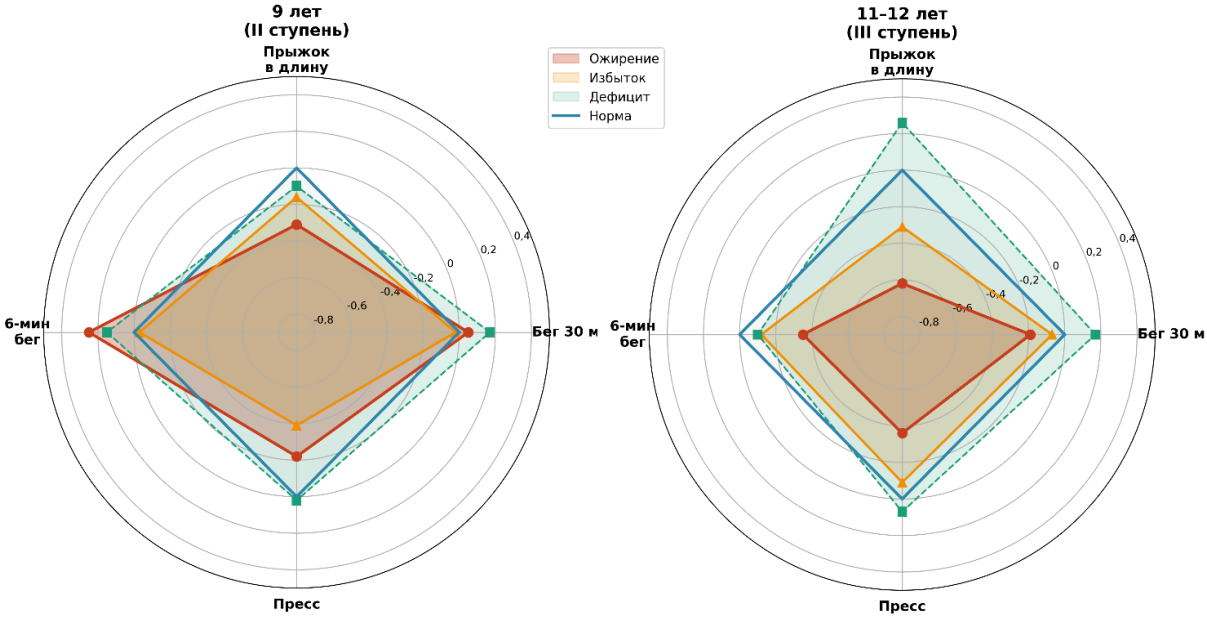


Рис. 4. Профили физической подготовленности девочек 9 и 11-12 лет с различным нутритивным статусом (отклонение от нормы Z-score)

Примечание: отрицательные значения – результат хуже нормы; положительные – лучше.

Дефицит массы тела во всех группах демонстрировал значения, близкие к нулевой линии, либо тенденцию к лучшим результатам.

Проведенное нами исследование на выборке 9 910 российских детей 6-12 лет показало, что связь нутритивного статуса с параметрами ФП является гетерогенной и зависит от конкретного двигательного качества, возраста и пола ребенка. Наиболее выраженная негативная связь ожирения была установлена в тесте на взрывную силу ног. Связь ожирения с выносливостью была умеренной и проявлялась преимущественно у мальчиков в 11-12 лет. Наименее чувствительная ассоциация ожирения была установлена для бега на 30 м, где различия наблюдались только у мальчиков 9 лет. Избыток массы тела был связан с ухудшением результатов начиная только с 10 лет для двух тестов: прыжок в длину и 6-минутный бег. Дефицит массы тела не ассоциировался с изменением изучаемых параметров ФП.

Полученные результаты согласуются с данными, проведенными в других странах. Систематический обзор J. Alaniz-Arcos с соавт. [3] показал, что дети с ожирением демонстрируют более высокую абсолютную силу мышц верхних конечностей, но уступают сверстникам с нормальной массой тела в тестах, требующих перемещения собственного веса. В исследовании B. Aniśko с соавт. [7] дети с ожирением также имели более высокую силу хвата, но более низкие результаты в прыжке в длину с места. В исследовании M. Allisse с соавт. [8] с участием 3 144 детей в возрасте 6-12 лет было установлено, что ожирение избирательно связано с результатами в динамических тестах, не имея ассоциаций с сегментарной скоростью. Еще одно кросс-секционное исследование M. Vandoni с соавт. [9] показало, что прыжок в длину с места был обратно пропорционально связан с тяжестью метаболического синдрома у детей с ожирением, тогда как выносливость и скорость не являлись значимыми предикторами. Масштабное исследование K. Yip с соавт. [10] с участием почти 120 000 гонконгских школьников 6-17 лет также продемонстрировало нелинейный характер

связи между ИМТ и ФП. Дети с ожирением демонстрировали высокие показатели в силе хвата, но низкие результаты в отжиманиях, поднимании туловища, беге на выносливость. Дети с дефицитом массы тела превосходили группу с ожирением по большинству тестов, кроме силы хвата.

Особого внимания заслуживает группа детей с избыточной массой тела. В нашем исследовании избыток массы тела ассоциировался с низкими показателями в прыжке в длину и 6-минутном беге только начиная с возраста 10 лет. В младшем возрасте дети с избытком массы тела не отличались от нормы. Это согласуется с результатами M. Varalda с соавт. [11], где итальянские дети 9-11 лет с избытком массы тела демонстрировали более высокие показатели в силе хвата, но не отличались от нормы по результатам прыжка в длину и спринта. Полученные данные имеют важное практическое значение. Дети с избытком массы тела не нуждаются в снижении нормативов ГТО в большинстве тестов, за исключением старших возрастных групп.

Результаты, касающиеся группы с дефицитом массы тела, согласуются с недавним метаанализом Y. Dubale с соавт. [6], который продемонстрировал, что в европейских популяциях дети с дефицитом массы тела практически не отличаются от сверстников с нормальной массой тела по различным показателям ФП. В нашем исследовании дефицит массы не был связан со снижением ни одного из изучаемых параметров, а в некоторых возрастах даже ассоциировался с лучшими результатами. Таким образом, снижение ИМТ у российских детей в младшем школьном возрасте в большинстве случаев отражает конституциональные особенности, а не нутритивную недостаточность, и не требует коррекции нормативов ГТО.

Биомеханические и физиологические механизмы, лежащие в основе выявленной диссоциации, связаны с тем, что избыточная масса тела создает дополнительную нагрузку на опорно-двигательный аппарат при динамических локомоциях, но не влияет на статическую силу и координацию [12]. Наибольший отрицательный эффект ожирения в прыжке в длину объясняется необходимостью быстрого перемещения центра тяжести в вертикальной плоскости против гравитации. В 6-минутном беге, где часть работы выполняется в циклическом режиме с возможностью чередования бега и ходьбы, эффект ожирения менее выражен. Бег на 30 м, будучи кратковременным спринтом, в минимальной степени зависит от массы тела и в большей степени определяется нейромышечной координацией. При этом D. Zhao с соавт. [13] показали, что моторная координация выступает частичным медиатором в связи между ожирением и ФП. Это позволяет предположить, что ожирение снижает показатели ФП не только через биомеханическую составляющую, но и через нарушение координационных механизмов, что особенно значимо в тестах, требующих точного управления телом в пространстве (прыжки, челночный бег).

Полученные данные позволяют сформулировать практические рекомендации для центров тестирования ВФСК ГТО. Для детей с ожирением рекомендуется использование дифференцированных поправочных коэффициентов по всем нормативам, за исключением бега на 30 м. Наибольшие поправки требуются в прыжке в длину (10-15 см в зависимости от возраста) и 6-минутном беге у мальчиков (50-90 м). В поднимании туловища отставание детей с ожирением составляет 2-4 повторения, что также требует коррекции. Для детей с избыточной массой тела поправки целесообразны только начиная со II ступени ГТО (9-10 лет) и только в прыжке, 6-минутном беге и поднимании туловища. Для детей с дефицитом массы тела в большинстве случаев коррекция нормативов не требуется. Данные рекомендации не предполагают формального пересмотра государственных требований комплекса ГТО, но могут использоваться инструкторами и учителями физической культуры для объективной оценки результатов детей с различным телосложением и их профилактики, их демотивации к занятиям физической культурой.

Ограничения исследования. Кросс-секционный дизайн исследования не позволяет установить причинно-следственную

связь между нутритивным статусом и ФП. Классификация нутритивного статуса основывалась исключительно на ИМТ без верификации состава тела методом биоимпедансометрии. Отсутствие данных о стадии полового созревания (Tanner Stage) не позволило контролировать влияние пубертата на ФП, что особенно значимо для старших возрастных групп.

Заключение. Проведенное исследование показало, что ожирение ассоциировано с параметрами физической подготовленности детей 6-12 лет. Наиболее сильная связь была установлена с взрывной силой ног, умеренно – с выносливостью и минимально – со скоростью. Избыток массы тела ассоциировался с ухудшением результатов только начиная с возраста 10 лет. Дефицит массы тела не ассоциирован со снижением физической подготовленности. Полученные данные обосновывают дифференцированный подход к оценке нормативов ГТО у детей с разным нутритивным статусом.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания «Разработка комплексных многокомпонентных программ оптимизации двигательной активности подростков с избыточной массой тела и ожирением» № 073-00034-26-01 от 03.02.2026 г.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The article was prepared under the State Task titled “Development of complex multicomponent programs for optimizing motor activity of overweight and obese adolescents” No 073-00034-26-01 dated 03.02.2026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Health Organization. Obesity and overweight. – URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight. (дата обращения: 15.05.2026)

2. European normative values for physical fitness in children and adolescents aged 9-17 years: results from 2 779 165 Eurofit performances representing 30 countries / G.R. Tomkinson, K.D. Carver, F. Atkinson [et al.] // British Journal of Sports Medicine. – 2018. – Vol. 52(22). – P. 1445-1456. DOI: 10.1136/bjsports-2017-098253.

3. Differences in the absolute muscle strength and power of children and adolescents with overweight or obesity: a systematic review / J.L. Alaniz-Arcos, M.E. Ortiz-Cornejo, J.O. Larios-Tinoco [et al.] // BMC Pediatrics. – 2023. – Vol. 23(1). – P. 474. DOI: 10.1186/s12887-023-04290-w.

4. Физическое развитие и физическая подготовленность детей и взрослого населения России / Т.Ф. Абрамова, Э.А. Зюрин, Т.Г. Фомиченко [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. – 2024. – Т. 24. – № 4. – С. 57-64. DOI: 10.14529/hsm240407. [In English] Abramova T.F., Zyurin E.A., Fomichenko T.G., Nikitina T.M., Petruk E.N. Physical development and physical fitness of children and adults in Russia. *Human. Sport. Medicine*, 2024, vol. 24, no. 4, pp. 57-64. DOI: 10.14529/hsm240407. (in Russ.)

5. Стародубцева, И.В. Изучение особенностей физической подготовленности и умственного развития детей 6-7 лет с избыточной массой тела и ожирением / И.В. Стародубцева, Т.П. Завьялова // Вестник Томского государственного университета. – 2020. – № 452. – С. 211-218. DOI: 10.17223/15617793/452/26. [In English] Starodubtseva I.V., Zavyalova T.P. An analysis of the psychophysical development of children aged 6 to 7 with overweight and with obesity. *Tomsk State University Journal*, 2020, no. 452, pp. 211-218. DOI: 10.17223/15617793/452/26. (in Russ.)

6. Do physical fitness and motor skill performances in underweight children differ from normal weight peers? A meta-analysis / Y. Dubale, T. Belachew, B. Wondafrash [et al.] // BMC Pediatrics. – 2025. – Vol. 25(1). – P. 393. DOI: 10.1186/s12887-025-05738-x.

7. Aniśko, B. Effects of body mass index and extracurricular sports activities on physical fitness in school-aged children / B. Aniśko, K. Bernatowicz, M. Wójcik // Frontiers in Public Health. – 2025. – Vol. 13. – P. 1578304. DOI: 10.3389/fpubh.2025.1578304.

8. The Relationship Between Obesity Status and Body Image Dissatisfaction on Gross Motor Skill Development and Cardiorespiratory Fitness in Children Aged 6-12 Years Old / M. Allisse, I. Thibault, D. Gagnon [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2025. – Vol. 22(3). – P. 417. DOI: 10.3390/ijerph22030417.

9. Exploring the link between metabolic syndrome risk and physical fitness in children with obesity: a cross-sectional study / M. Vandoni, A. Gatti, V.

Carnevale Pellino [et al.] // European Journal of Pediatrics. – 2025. – Vol. 184(8). – P. 497. DOI: 10.1007/s00431-025-06339-7.
10. Age- and sex-specific physical fitness reference and association with body mass index in Hong Kong Chinese schoolchildren / K.-M. Yip, S.W.S. Wong, G.T. Chua [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – Vol. 19(22). – P. 15346. DOI: 10.3390/ijerph192215346.
11. Physical Fitness Level in 9-11-Year-Old Italian Children Is Affected by Body Mass Index and Frequency of Sport Practice but Not by Peak Height Velocity and Relative Age Effect / M. Varalda, A.N. Ungureanu, A. Coassin [et al.] // Sports (Basel). – 2026. – Vol. 14(1). – P. 10. DOI: 10.3390/sports14010010.
12. Bioelectrical Impedance Analysis-Derived Phase Angle and Body Composition Are Predictors of Health-Related Fitness in Children and Adolescents with Obesity / G. Ballarin, M.R. Licenziati, P. Alicante [et al.] // Children (Basel). – 2022. – Vol. 9(12). – P. 1943. DOI: 10.3390/children9121943.
13. A study on the impact of childhood obesity on health-related physical fitness through motor coordination-related functional pathways / D. Zhao, X. Chen, X. Pan [et al.] // Frontiers in Nutrition. – 2026. – Vol. 13. – P. 1776788. DOI: 10.3389/fnut.2026.1776788.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Вадим Владимирович Сверчков – младший научный сотрудник лаборатория физиологии развития и физической культуры обучающихся, Институт развития, здоровья и адаптации ребенка, Москва; младший научный сотрудник НИИ олимпийского спорта, преподаватель кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: Vadim.sverchkov@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3650-0624.
Евгений Витальевич Быков – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории физиологии развития и физической культуры обучающихся, Институт развития, здоровья и адаптации ребенка, Москва; директор НИИ олимпийского спорта, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: bev58@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7506-8793.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Vadim V. Sverchkov – Junior Researcher of the Laboratory of Developmental Physiology and Physical Culture of Students, Institute of Child Development, Health, and Adaptation, Moscow; Junior Researcher, Research Institute of Olympic Sports, Lecturer of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: Vadim.Sverchkov@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3650-0624.
Evgeny V. Bykov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Developmental Physiology and Physical Education of Students, Institute of Child Development, Health, and Adaptation, Moscow; Director of the Research Institute of Olympic Sports, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: bev58@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7506-8793.

Для цитирования: Сверчков, В.В. Ассоциация нутритивного статуса с физической подготовленностью детей 6-12 лет: кросс-секционное исследование в контексте нормативов «Готов к труду и обороне» / В.В. Сверчков, Е.В. Быков // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_18

For citation: Sverchkov V.V., Bykov E.V. Association of nutritional status with physical fitness in children aged 6-12 years: a cross-sectional study in the context of the “Ready for Labor and Defense” Standards. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_18

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_19
УДК 612.017; 796.9

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_19
UDC 612.017; 796.9

ДИНАМИКА КОМПЛЕКСА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КИБЕР-СПОРТСМЕНОВ ВО ВРЕМЯ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОГО ТУРНИРА

Н.С. Скаржинский[1,2], Ю.В. Корягина[1], Е.Н. Скаржинская[3]

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

[2]Автономная некоммерческая организация «Спортивно-методический центр «Кафедра киберспорта», г. Москва, Россия

[3]Муниципальное автономное учреждение дополнительного образования «Спортивная школа «Центр цифровых видов спорта» Сургутского района, пгт Белый Яр, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Соревновательная деятельность в киберспорте сопровождается высокой сенсомоторной, когнитивной и психоэмоциональной нагрузкой, однако данные о комплексной реакции функциональных систем спортсменов остаются ограниченными. Цель – оценить физиологические и психофизиологические реакции спортсменов компьютерного спорта на соревновательную нагрузку с помощью цифровой платформы «ФизиоЛаб». ***Методы.*** Обследованы 10 спортсменов мужского пола (18-23 года), специализирующихся в дисциплине «тактический трехмерный бой» (Counter-Strike 2). До турнира и после него регистрировали вариабельность сердечного ритма, частоту дыхания, биоэлектрическую активность мозга, окуломоторные, сенсомоторные, когнитивные и психоэмоциональные показатели. ***Результаты.*** После турнира выявлены статистически значимые сдвиги всех ключевых показателей. Наибольшие эффекты отмечены для шкалы Борга, рабочей памяти, пробы Струпа, LF/HF, альфа-ритма и окуломоторных показателей. ***Заключение.*** Соревновательная нагрузка у киберспортсменов сопровождается взаимосвязанными симпатической, корковой, сенсомоторной и когнитивной реакциями. Интегральная оценка нескольких систем повышает информативность мониторинга функционального состояния.

Ключевые слова: киберспорт, вариабельность сердечного ритма, электроэнцефалография, айтрекинг, сенсомоторные реакции, теппинг-тест, когнитивные пробы, статистическая значимость, размер эффекта, функциональное состояние.

DYNAMICS OF PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF ESPORTS ATHLETES DURING A COMPETITIVE TOURNAMENT

N.S. Skarzhinsky[1,2], Yu.V. Koryagina[1], E.N. Skarzhinskaya[3]

[1]North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, Russia

[2]Department of eSports, Moscow, Russia

[3]Center of Digital Sports, Bely Yar, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Competitive eSports activity is accompanied by high sensorimotor, cognitive, and psychoemotional load, however, data on the complex response of athletes' functional systems remains limited. Objective: to evaluate the physiological and psychophysiological responses of eSports athletes to competitive load using the PhysioLab digital platform. ***Methods.*** Ten male athletes (18-23 years old) specializing in the tactical 3D combat discipline (Counter-Strike 2) were examined. We recorded heart rate variability, respiratory rate, brain bioelectrical activity, oculomotor, sensorimotor, cognitive, and psychoemotional indicators before and after the tournament. ***Results.*** Following the tournament, statistically significant changes were observed in all key performance indicators. The largest effects were observed for the Borg scale, working memory, Stroop test, LF/HF, alpha wave, and oculomotor indicators. ***Conclusion.*** Competitive stress in eSports athletes is accompanied by interconnected sympathetic, cortical, sensorimotor, and cognitive responses. Integrated assessment of several systems improves the information capacity of functional state monitoring.

Keywords: eSports, heart rate variability, electroencephalography, eye tracking, sensorimotor response, tapping test, cognitive tests, statistical significance, effect size, functional status.

Введение. Развитие киберспорта сформировало самостоятельное направление спортивной физиологии, в котором высокая когнитивная нагрузка, длительная сенсомоторная активность и выраженный психоэмоциональный компонент сочетаются с малой мышечной работой. В Российской Федерации компьютерный спорт признан официальным видом спорта [1]. Рост массовости дисциплин, основанных на соревновательной компьютерной игре, опережает их научно-методическое сопровождение, а данные о психофизиологическом статусе киберспортсменов остаются разрозненными [2]. Это определяет актуальность объективной оценки функционального состояния спортсменов компьютерного спорта.

В зарубежных исследованиях физиологических особенностей киберспортсменов ведущее место занимает регистрация вариабельности сердечного ритма (ВСР), электрокардиографии (ЭКГ) и непрерывного мониторинга частоты сердечных сокращений (ЧСС) [3-5]. Показано, что игровая и соревновательная нагрузка сопровождается снижением ВСР и активацией симпатического отдела вегетативной нервной системы [6, 7]. Вместе с тем все большее значение приобретает интегральная логика оценки, когда сердечный ритм, движения глаз, сенсомоторные реакции и биоэлектрическая активность мозга рассматриваются как связанные компоненты единой функциональной системы [8].

Для настоящей работы особенно важна отечественная линия исследований С.В. Нопина и Ю.В. Корягиной. В этих работах в качестве информативных психофизиологических показателей спортивной деятельности используются простая и сложная сенсомоторные реакции, реакция выбора, компоненты времени реакции, теппинг-тест и индексы эффективности, силы и выносливости нервной системы [9-11]. Аппаратно-программный комплекс «Спортивный психофизиолог» позиционируется как средство комплексной оценки важных для спортивной деятельности психофизиологических свойств и нейромоторных способностей [10, 12]. Поэтому включение в платформу «ФизиоЛаб» сенсомоторных и когнитивных проб не является случайным расширением батареи: оно продолжает методическую логику отечественного научно-методического сопровождения спортсменов [13, 14].

Цель исследования: оценить физиологические и психофизиологические реакции киберспортсменов на соревновательную нагрузку с помощью цифровой платформы «ФизиоЛаб».

Методы и организация исследования. В пилотном исследовании приняли участие 10 спортсменов мужского пола в возрасте 18-23 лет (средний возраст – 20,0±1,9 лет), специализирующихся в дисциплине компьютерного спорта «тактический трехмерный бой». Уровень спортивной подготовленности оценивали по индивидуальному соревновательному рейтингу (1400-2641 баллов, в среднем 2085±400); спортивные звания в компьютерном спорте встречались единично, поэтому рейтинг использован как основной показатель мастерства. Исследование проведено в стандартизированных условиях. От всех участников получено добровольное информированное согласие.

Соревновательной нагрузкой служил отборочный онлайн-турнир по вышеуказанной дисциплине (Counter-Strike 2) в рамках квалификации к онлайн-чемпионату. Матч проводился в формате best of 3 и включал три сыгранные карты; команда участников завершила матч с общим счетом 1:2 (13:5, 7:13 и 11:13 по картам).

Обследование проводили с помощью разработанной цифровой платформы психофизиологического тестирования «ФизиоЛаб», обеспечивающей стандартизацию проб, регистрацию сигналов подключаемых устройств и централизованное хранение результатов. ЧСС и ВСР регистрировали нагрудным датчиком Polar H10, валидированным для анализа ВСР [15-16]; рассчитывали стандартное отклонение нормальных интервалов NN (интервалов между последовательными синусовыми ударами сердца, из которых исключены артефакты и экстрасистолы) (SDNN), квадратный корень из среднего квадрата разностей последовательных NN-интервалов (RMSSD), индекс напряжения регуляторных систем (ИН) и отношение низкочастотной к высокочастотной составляющей ВСР (LF/HF) по методике Р.М. Баевского [17]. Частоту

дыхания регистрировали биомодулем Zephyr BioHarness 3. Биоэлектрическую активность мозга – электроэнцефалограмму (ЭЭГ) регистрировали нейрообручем Muse S, оценивая относительную мощность альфа- и бета-ритмов лобных отведений. Движения глаз (длительность фиксаций и частоту саккад) регистрировали айтрекером Tobii Eye Tracker 4C.

Сенсомоторную и когнитивную сферу оценивали батареями платформы: простой зрительно-моторной реакцией, реакцией выбора, теппинг-тестом, критической частотой слияния мельканий (КЧСМ), таблицами Шульте, пробой Струпа и пробой на удержание последовательности стимулов. Отдельно оценивали восприятие времени (индивидуальная минута), ситуативную тревожность и субъективно воспринимаемую нагрузку по шкале Борга. Набор проб соответствует показателям, которые используются в работах по сенсомоторным реакциям, теппинг-тесту и аппаратно-программному психофизиологическому тестированию спортсменов [9-14, 18].

Физиологические сигналы регистрировали в ходе краткой стандартизированной тест-сессии платформы «ФизиоЛаб»: после фиксации датчиков платформа последовательно запускала определенные пробы, во время выполнения которых велась запись. Сессия включала фоновую пробу покоя (сидя, спокойное дыхание, взор фиксирован на метке, 5 мин) с регистрацией ВСР, частоты дыхания и фоновой ЭЭГ, а также зрительно-моторную пробу с одновременной записью ЭЭГ и движений глаз. Компьютерные пробы, не требующие носимых датчиков, спортсмены выполняли одновременно на отдельных рабочих станциях – за 10 мин до начала турнира и через 5 мин после его завершения.

Статистическую обработку выполняли методами описательной статистики (M±σ). Соответствие распределения нормальному оценивали критерием Шапиро-Уилка; при нормальном распределении применяли парный t-критерий Стьюдента, в противном случае – критерий Вилкоксона. Статистическую значимость различий сохраняли как обязательный критерий интерпретации ($p<0,05$). Для контроля множественных сравнений дополнительно рассчитывали скорректированный уровень ложных обнаружений (qFDR) по методу Бенджамини-Хохберга для всей батареи из 24 парных сопоставлений. Наряду с p и qFDR рассчитывали парный размер эффекта Коэна d_z. По модулю значения 0,2, 0,5 и 0,8 рассматривали как малый, средний и большой эффект. Связи исходных показателей с рейтинговым уровнем спортсменов оценивали коэффициентом корреляции Пирсона, корреляционный анализ рассматривали как разведочный.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ динамики функционального состояния киберспортсменов до и после турнира показал, что после соревновательной киберспортивной нагрузки весь комплекс исследуемых физиологических параметров статистически значимо изменился ($p<0,01$) (рис.). Статистический вывод не сводится к набору «красивых» p-значений: он подтверждается устойчивой направленностью сдвигов и большими парными эффектами. Наиболее выраженные изменения отмечены по шкале Борга (d_z=4,74), точности n-удержания (d_z=-2,64), интерференции в пробе Струпа (d_z=2,39), отношению LF/HF (d_z=2,37), альфа-ритму (d_z=-2,23), частоте саккад (d_z=-2,18), ЧСС (d_z=2,05) и КЧСМ (d_z=-2,07).

Со стороны сердечно-сосудистой системы после турнира выявлены повышение ЧСС на 15,9%, рост индекса напряжения на 62,5% и LF/HF на 47,1% при снижении SDNN на 17,3% и RMSSD на 17,8% (рис.). Такая направленность сдвигов соответствует симпатической активации и повышению «цены» регуляции, что согласуется с данными о снижении ВСР и росте сердечно-сосудистого напряжения во время игровой и соревновательной активности киберспортсменов [3-7, 15].

Со стороны центральной нервной системы наблюдалось повышение лобной бета-активности на 14,8% при снижении альфа-активности на 13,8%, что отражает рост корковой активации и концентрации внимания. Сенсомоторные и когнитивные показатели после турнира изменялись в направлении утомления: увеличивалось время простой зрительно-моторной реакции и реакции выбора, снижались темп теппинг-

теста и КЧСМ, возрастали время выполнения таблиц Шульте и величина интерференции в пробе Струпа, снижалась точность n-удержания. Эти результаты методически сопоставимы с работами, где время простой и сложной реакций, реакция выбора и теппинг-тест рассматриваются как объективные показатели нейродинамических свойств, текущего функционального состояния центральной нервной системы и силы нервной системы спортсменов [9-11, 14].

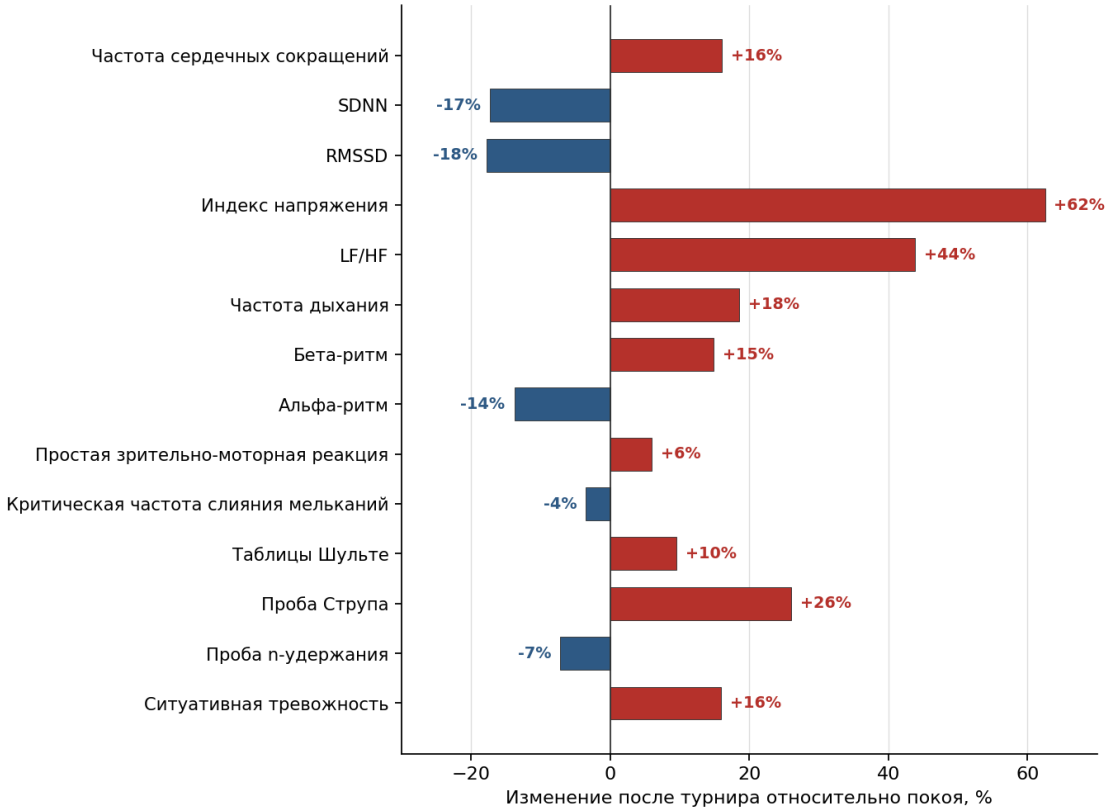


Рис. Относительное изменение комплекса физиологических параметров киберспортсменов до и после турнира, %

Примечание: SDNN – стандартное отклонение нормальных интервалов NN; RMSSD – квадратный корень из среднего квадрата разностей последовательных NN-интервалов; LF/HF – отношение низкочастотной к высокочастотной составляющей ВСР.

Со стороны сердечно-сосудистой системы после турнира выявлены повышение ЧСС на 15,9%, рост индекса напряжения на 62,5% и LF/HF на 47,1% при снижении SDNN на 17,3% и RMSSD на 17,8% (рис.). Такая направленность сдвигов соответствует симпатической активации и повышению «цены» регуляции, что согласуется с данными о снижении ВСР и росте сердечно-сосудистого напряжения во время игровой и соревновательной активности киберспортсменов [3-7, 15].

Со стороны центральной нервной системы наблюдалось повышение лобной бета-активности на 14,8% при снижении альфа-активности на 13,8%, что отражает рост корковой активации и концентрации внимания. Сенсомоторные и когнитивные показатели после турнира изменялись в направлении утомления: увеличивалось время простой зрительно-моторной реакции и реакции выбора, снижались темп теппинг-теста и КЧСМ, возрастали время выполнения таблиц Шульте и величина интерференции в пробе Струпа, снижалась точность n-удержания. Эти результаты методически сопоставимы с работами, где время простой и сложной реакций, реакция выбора и теппинг-тест рассматриваются как объективные показатели нейродинамических свойств, текущего функционального состояния центральной нервной системы и силы нервной системы спортсменов [9-11, 14].

Отдельная ценность интегрального подхода проявилась в корреляциях исходных показателей с рейтинговым уровнем. Более высокий рейтинг был связан с более быстрым выполнением таблиц Шульте (r=-0,96), большим темпом теппинг-теста (r=0,89), меньшим временем реакции выбора (r=-0,88), более низкой ЧСС в покое (r=-0,86), большей частотой саккад (r=0,83), более высокой КЧСМ (r=0,82) и более высокими показателями RMSSD и pNN50 (r=0,81). С учетом небольшой выборки эти связи следует рассматривать как разведочные, однако они показывают, что спортивный рейтинг сопряжен не с одним изолированным показателем, а с комплексом вегетативных, сенсомоторных, зрительно-поисковых и когнитивных характеристик.

Ограничения исследования принципиальны для интерпретации результатов. Во-первых, выборка включала 10 спортсменов одной команды, поэтому выводы имеют пилотный характер. Во-вторых, повторное обследование выполнялось не в момент пиковой игровой нагрузки, а в интервале 5-35 мин после завершения матча, следовательно, полученные данные отражают ранний этап восстановления после соревновательной нагрузки. В-третьих, команда завершила матч поражением 1:2, поэтому эмоциональная реакция на исход встречи могла усиливать показатели тревожности, субъективной нагрузки и ВСР. В-четвертых, несмотря на FDR-контроль множественных сравнений результаты требуют подтверждения на большей выборке с заранее выделенными первичными конечными точками.

Заключение. Соревновательная нагрузка у спортсменов компьютерного спорта сопровождается статистически значимыми и преимущественно большими по величине эффектами со стороны вегетативной регуляции, корковой активности, сенсомоторных реакций, когнитивной продуктивности, окуломоторики и субъективного восприятия нагрузки. После турнира отмечены признаки симпатической активации, повышение корковой активации, снижение сенсомоторно-когнитивной эффективности и рост психоэмоционального напряжения.

Разработанная цифровая платформа «ФизиоЛаб» обеспечивает комплексную стандартизированную оценку функционального состояния спортсменов компьютерного спорта. Наиболее перспективным направлением дальнейшей работы является расширение выборки, сравнение победителей и проигравших, контроль времени послетурнирного обследования, проверка связи показателей с уровнем спортивного мастерства и построение модели функциональной подготовленности киберспортсменов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О признании и включении во Всероссийский реестр видов спорта спортивных дисциплин, вида спорта «компьютерный спорт» : приказ Министерства спорта Российской Федерации от 29.04.2016 № 470.
2. Психофизиологический статус киберспортсменов (обзор) / О.В. Байгужина, О.Б. Никольская, О.А. Комиссарова [и др.] // Психология. Психофизиология. – 2023. – Т. 16. – № 4. – С. 90-100. DOI: 10.14529/jpps230408.
3. The use of heart rate variability in esports: a systematic review / M.R. Welsh, E. Mosley, S. Laborde [et al.] // Psychology of Sport and Exercise. – 2023. – Vol. 69. – P. 102495. DOI: 10.1016/j.psychsport.2023.102495.
4. Changes in heart rate variability induced by e-sports activities / T. Wu, P.-Y. Lee, J.-A. Tu [et al.] // Frontiers in Physiology. – 2025. – Vol. 16. – P. 1557579. DOI: 10.3389/fphys.2025.1557579.
5. The acute effects of esports on heart rate variability: a systematic review and meta-analysis / H. Lyu, Z. Gu, Y. Li, Y. Luo // Frontiers in Physiology. – 2026. – Vol. 17. – P. 1762922. DOI: 10.3389/fphys.2026.1762922.
6. Examining physiological changes during Counter-Strike: Global Offensive performance in recreational male esports players / D. Sadowska, T. Sacewicz, K. Rębiś [et al.] // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13. – No. 20. – P. 11526. DOI: 10.3390/app132011526.
7. Ketelhut, S. Heartbeats and high scores: esports triggers cardiovascular and autonomic stress response / S. Ketelhut, C.R. Nigg // Frontiers in Sports and Active Living. – 2024. – Vol. 6. – P. 1380903. DOI: 10.3389/fspor.2024.1380903.
8. Stamatis, A. Dynamic interactions of physiological systems during competitive gaming: insights from network physiology – case report / A. Stamatis, G.B. Morgan, J.C. Reyes // Frontiers in Network

Physiology. – 2024. – Vol. 4. – P. 1438073. DOI: 10.3389/fnetp.2024.1438073.
9. Нопин, С.В. Нейродинамические характеристики сенсомоторных процессов спортсменов различных видов спорта / С.В. Нопин // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 1(18). – С. 162-170. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_21.
10. Нопин, С.В. Верификация психофизиологического тестирования на аппаратно-программном комплексе «Спортивный психофизиолог» / С.В. Нопин, Ю.В. Корягина // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 2. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_20.
11. Нопин, С.В. Теппинг-тест как показатель эффективности, силы и выносливости нервной системы у спортсменов различных видов спорта / С.В. Нопин, Ю.В. Корягина, Ю.В. Кушнарева // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 2. – С. 86-91. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_10.
12. Корягина, Ю.В. Аппаратно-программные комплексы исследования психофизиологических особенностей спортсменов / Ю.В. Корягина, С.В. Нопин // Вопросы функциональной подготовки в спорте высших достижений. – 2013. – Т. 1. – № 1. – С. 70-78.
13. Гончаренко, Д.И. Психофизическое тестирование киберспортсменов / Д.И. Гончаренко, Ф.А. Мавлиев, А.П. Бровкин // Фиджитал движение: инновации, технологии и цифровая трансформация в физкультурной и спортивной деятельности. – Казань, 2024.
14. Пушкина, В.Н. Параметры зрительно-моторной реакции как индикаторы функционального состояния нервной системы киберспортсменов / В.Н. Пушкина, Л.В. Соколова // Мир науки. Педагогика и психология. – 2024. – Т. 12. – № 5.
15. Сердечно-сосудистая адаптация киберспортсменов: мониторинг вариабельности сердечного ритма / А.А. Зверев, Т.В. Сабиров, Д.И. Гончаренко, Р.В. Артемьев // Наука и спорт: современные тенденции. – 2024. – Т. 12. – № 4. – С. 14-20. DOI: 10.36028/2308-8826-2024-12-4-14-20.
16. Validity of the Polar H10 sensor for heart rate variability analysis during resting state and incremental exercise / M. Schaffarczyk, B. Rogers, R. Reer, T. Gronwald // Sensors. – 2022. – Vol. 22. – No. 17. – P. 6536. DOI: 10.3390/s22176536.
17. Баевский, Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – Москва : Медицина, 1997. – 236 с.
18. Ильин, Е.П. Психомоторная организация человека / Е.П. Ильин. – Санкт-Петербург : Питер, 2003. – 384 с.
19. Новоселов, М.А. Влияние компьютерного спорта на функциональные системы организма киберспортсмена / М.А. Новоселов // Индивидуально-игровые виды спорта. – Москва : ГЦОЛИФК, 2016. – С. 14-19.
20. Показатели центральной гемодинамики и сосудистая нагрузка сердца у киберспортсмена в ходе компьютерной игры / В.Р. Орел, Р.В. Тамбовцева, М.А. Новоселов [и др.] // Материалы Всероссийской научно-практической конференции по вопросам спортивной науки. – 2016. – С. 551-557.
21. Яворский, А.Б. Влияние стимуляционных воздействий компьютерных игровых программ на биоэлектрическую активность головного мозга / А.Б. Яворский, М.А. Новоселов, Я.О. Мельник // Наука-2020. – 2017. – № 5(16). – С. 45-51.
22. Скаржинский, Н.С. Модельные характеристики киберспортсменов в дисциплине «боевая арена» (на примере Dota 2) / Н.С. Скаржинский, В.С. Гребеньков, И.В. Мартыненко // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2020. – № 5. – С. 31.

REFERENCES

1. On the recognition and inclusion of the “Esport” discipline in the All-Russian Register of Sports: Order of the Ministry of Sport of the Russian Federation No. 470 dated 29.04.2016. (in Russ.)
2. Baiguzhina O.V., Nikolskaya O.B., Komissarova O.A., Perepelyukova E.V., Fomina L.B. The psychophysiological status of e-athletes (a review). Psi*khologiya. Psikhofiziologiya = Psychology. Psychophysiology*, 2023, vol. 16, no. 4, pp. 90-100. DOI: 10.14529/jpps230408. (in Russ.)
3. Welsh M.R., Mosley E., Laborde S. et al. The use of heart rate variability in esports: a systematic review. *Psychology of Sport and Exercise*, 2023, no. 69, p. 102495. DOI: 10.1016/j.psychsport.2023.102495.
4. Wu T., Lee P.Y., Tu J.A. et al. Changes in heart rate variability induced by e-sports activities. *Frontiers in Physiology*, 2025, no. 16, p. 1557579. DOI: 10.3389/fphys.2025.1557579.
5. Lyu H., Gu Z., Li Y., Luo Y. The acute effects of esports on heart rate variability: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 2026, no. 17, p. 1762922. DOI: 10.3389/fphys.2026.1762922.
6. Sadowska D., Sacewicz T., Rębiś K. et al. Examining Physiological Changes during Counter-Strike: Global Offensive (CS:GO) Performance in Recreational Male Esports Players. *Applied Sciences*, 2023, vol. 13, no. 20, p. 11526. DOI: 10.3390/app 132011526.
7. Ketelhut S., Nigg C.R. Heartbeats and high scores: esports triggers cardiovascular and autonomic stress response. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2024, no. 6, p. 1380903. DOI: 10.3389/fspor.2024.1380903.
8. Stamatis A., Morgan G.B., Reyes J.C. et al. Dynamic interactions of physiological systems during competitive gaming: insights from network physiology – case report. *Frontiers in Network Physiology*, 2024, no. 4, p. 1438073. DOI: 10.3389/fnetp.2024.1438073.
9. Nopin S.V. Neurodynamic characteristics of sensorimotor processes in athletes of various sports. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 162-170. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_21. (in Russ.)

10. Nopin S.V., Koryagina Yu.V. Psychophysiological testing verification on the hardware and software complex “Sports psychophysiologist”. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 2, pp. 156-161. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_20. (in Russ.)
11. Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Kushnareva Yu.V. Tapping test as an indicator of efficiency, strength and endurance of the nervous system in athletes of different sports. *Modern Issues of Biomedicine*. 2022, vol. 6, no. 2, pp. 86-91. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_10. (in Russ.)
12. Koryagina Yu.V., Nopin S.V. Hardware and software complexes for studying psychophysiological features of athletes. *Issues of Functional Training in Elite Sport*, 2013, vol. 1, no. 1, pp. 70-78. (in Russ.)
13. Goncharenko D.I., Mavliev F.A., Brovkin A.P. Psychophysical testing of esports athletes. Phygital Movement: Innovations, Technologies and Digital Transformation in Physical Culture and Sports Activity. Kazan, 2024. (in Russ.)
14. Pushkina V.N., Sokolova L.V. The parameters of the visual-motor reaction as an indicator of the functional state of the nervous system of esports athletes. *World of Science. Pedagogy and psychology*, 2024, vol. 12, no. 5. (in Russ.)
15. Zverev A.A., Sabirov T.V., Goncharenko D.I., Artemyev R.V. Cardiovascular adaptation of esports athletes: heart rate variability monitoring. *Science and sport: current trends*, 2024, vol. 12, no. 4, pp. 14-20. DOI:10.36028/2308-8826-2024-12-4-14-20.(inRuss.)
16. Schaffarczyk M., Rogers B., Reer R., Gronwald T. Validity of the Polar H10 sensor for heart rate variability analysis during resting state and incremental exercise. *Sensors (Basil)*, 2022, vol. 22, no. 17, p. 6536. DOI: 10.3390/s22176536.
17. Baevsky R.M., Berseneva A.P. Assessment of the body’s adaptive capabilities and the risk of disease. Moscow: Meditsina, 1997. 236 p. (in Russ.)
18. Ilyin E.P. Psychomotor organization of a human. St. Petersburg: Piter, 2003. 384 p. (in Russ.)
19. Novoselov M.A. The influence of esports on the functional systems of an esports athlete’s body. Individual and Game Sports. Moscow: GTSOLIFK, 2016. pp. 14-19. (in Russ.)
20. Orel V.R., Tambovtseva R.V., Novoselov M.A. et al. Indicators of central hemodynamics and vascular load of the heart of an esports athlete during a computer game. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference on Sports Science. 2016. p. 551-557. (in Russ.)
21. Yavorsky A.B., Novoselov M.A., Melnik Ya.O. Influence of stimulative interactivities of computer game programs on the state of bioelectric activity of the brain. *Nauka-2020*, 2017, vol. 5, no. 16, pp. 45-51. (in Russ.)
22. Skarzhinskiy N.S., Grebenkov V.S., Martynenko I.V. Model characteristics of cyber athletes in battlefield discipline (case study of Dota 2). *Physical Culture: Upbringing, Education, Training*, 2020, no. 5, p. 31. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Николай Сергеевич Скаржинский – аспирант, Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, Ессентуки; коммерческий директор, Спортивно-методический центр «Кафедра киберспорта», Москва, e-mail: kolya.skar@yandex.ru.
Юлия Владиславовна Корягина – доктор биологических наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий, Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, Ессентуки, e-mail: nauka@skfmba.ru.
Елена Николаевна Скаржинская – заместитель директора по научной работе, Спортивная школа «Центр цифровых видов спорта», пгт Белый Яр, e-mail: skar_e@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Nikolay S. Skarzhinsky – Postgraduate Student, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki; Commercial Director, Department of eSports, Moscow, e-mail: kolya.skar@yandex.ru.
Yulia V. Koryagina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: nauka@skfmba.ru.
Elena N. Skarzhinskaya – Deputy Head in Scientific Work, Center of Digital Sports, Bely Yar, e-mail: skar_e@mail.ru.

Для цитирования: Скаржинский, Н.С. Динамика комплекса физиологических параметров киберспортсменов во время соревновательного турнира / Н.С. Скаржинский, Ю.В. Корягина, Е.Н. Скаржинская // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_19

For citation: Skarzhinsky N.S., Koryagina Yu.V., Skarzhinskaya E.N. Dynamics of physiological parameters of eSports athletes during a competitive tournament. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_19

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_20
УДК 591.177; 612.753; 591.1; 612

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_20
UDC 591.177; 612.753; 591.1; 612

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КРИТИЧЕСКОГО ДИАФИЗАРНОГО ДЕФЕКТА БЕДРЕННОЙ КОСТИ КРЫСЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСТЕОКОНДУКТИВНОСТИ КОСТНОЗАМЕЩАЮЩИХ ИМПЛАНТАТОВ

Г.А. Шипунов[1], И.М. Щербаков[1], В.Э. Дубров[1,2], Н.В. Данилова[1], П.В. Евдокимов[1]
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва, Россия
[2]Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени С.С. Юдина Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Разработка инновационных костнозамещающих имплантатов активно развивается. Исследователям необходим быстрый, экономичный и легковоспроизводимый способ оценки остеокондуктивности синтетических имплантатов. ***Методы.*** В условиях наркоза формировали монокортикальный дефект средней трети бедренной кости крысы размером 3×7 мм, далее его оставляли пустым в контрольной группе. В группе «Хронос» в него помещали блок материала, после чего закрепляли полимерной пластиной и винтами. По завершении операции проводили рентгенографию бедренной кости для контроля положения имплантата. После окончания сроков наблюдения проводили гистологическое исследование. ***Результаты.*** В контрольной группе на сроках 3 и 6 недель относительная площадь новообразованной ткани в дефекте составила 0 и 4±1,2%, а в группе «Хронос» – 3,6±1,5 и 27±3,2% соответственно. ***Заключение.*** Разработанная методика приводит к формированию критического дефекта, который не заполняется костью в контрольной группе и демонстрирует возможности оценки остеокондуктивных свойств синтетических материалов с помощью лучевых и гистологических методов.
Ключевые слова: критический дефект кости, крысы, остеокондуктивность, остеопластические материалы.

RAT MODEL OF A FEMORAL CRITICAL DIAPHYSEAL DEFECT DEVELOPMENT TO EVALUATE THE OSTEOCONDUCTIVITY OF BONE SUBSTITUTION IMPLANTS

G.A. Shipunov[1], I.M. Scherbakov[1], V.E. Dubrov[1,2], N.V. Danilova[1], P.V. Evdokimov[1]
[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
[2]S.S. Yudin City Clinical Hospital of the Department, Moscow, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Development of innovative bone-substituting implants is rapidly advancing. Researchers require a rapid, cost-effective, and easily reproducible method for evaluating the osteoconductivity of synthetic implants. ***Methods.*** During anesthesia, monocortical defect 3×7 mm was created in the middle third of the rat femur. The defect was left empty in the control group or filled with material block in the Chronos group, followed by fixation using a polymer plate and screws. Upon completion of the surgery, radiography of the femur was performed to verify implant positioning. At the end of observation period, we conducted histological examination. ***Results.*** In the control group, the relative area of newly formed tissue into the defect measured 0% and 4±1.2% at 3 and 6 weeks, respectively, whereas in the Chronos group, the corresponding values were 3.6±1.5 and 27±3.2%. ***Conclusion.*** The developed model results in the formation of a critical-size defect that shows no spontaneous bone healing in the control group, as confirmed, thereby demonstrating its feasibility for evaluating the osteoconductive properties of synthetic materials by radiological and histological assessments.
Keywords: critical bone defect, rats, osteoconductivity, osteoplastic materials.

Введение. Частота травматизма в настоящее время высока [1]. Среди последствий травм отдельно выделяют костные дефекты критического размера, которые до сих пор остаются нерешенной проблемой для практикующих травматологов [2]. При критических дефектах самопроизвольное заживление невозможно, поэтому для восстановления утерянной костной ткани приходится проводить

замещение отсутствующего фрагмента или применять сложные хирургические многоэтапные методы лечения [3, 4]. Основными современными подходами к замещению дефектов тканей считаются использование аутологической кости, донорского трупного материала и ксеногенных синтетических имплантатов. При этом аутопластика имеет серьезные минусы в виде болезни донорского места при ограниченности объемов доступной к забору кости, а использование аллокости сопряжено с риском передачи инфекции, поэтому перспективными материалами, позволяющими нивелировать описанные минусы, остаются полностью искусственные имплантаты [5].

Сегодня остеопластические материалы производят таким образом, чтобы они повторяли минеральный состав костной ткани, но отличались в деталях внутренней архитектуры [6]. Для внедрения новых материалов в клиническую практику необходимо проведение исследований их эффективности *in vivo*. Изучение новых имплантатов с точки зрения переноса данных на человека оправдано проводить на крупных животных, так как они имеют сравнимый с человеческим размер костей. Однако длительность восстановления кости у крупных животных больше, а это является недостатком при рутинной оценке инновационных материалов [7]. Кроме того, при использовании крупных животных имеются значительные ограничения, например, высокая стоимость содержания и специализированное оборудование для хирургических отделений, недоступное в обычных исследовательских организациях, а длительность вынашивания, совмещенная с низкой плодовитостью, делает продолжительность исследований короче, чем подготовку к ним [8].

Мелкие лабораторные животные подходят для скриннинговых тестов значительно лучше, чем крупные, так как не имеют описанных выше недостатков. При этом при использовании модели небольшого размера в эксперименте затрачивается меньше материала [9]. В связи с этим разработаны модели диафизарного дефекта на большеберцовой кости мышей [10], крыс [11, 12], а также экспериментальный дефект костей черепа [13], который часто применяется у кроликов [14].

Диафизарный дефект встречается чаще всего у людей [1, 15]. Кроме того, использование метода без оценки успешности его технической реализации достаточно рискованно, так как может повышать долю некачественных экспериментальных данных на выходе. Обязательным условием при оценке свойств новых материалов считается возможность их количественной оценки [9]. Таким образом, существует потребность в простом, быстром и воспроизводимом *in vivo* методе испытания инновационных материалов, которые являются кандидатами в будущие изделия медицинского назначения для человека.

Целью исследования является разработка быстрой и легко воспроизводимой модели критического дефекта диафизарной части бедренной кости крысы, которую можно использовать для оценки остеокондуктивности новых остеопластических материалов *in vivo*.

Методы и организация исследования. Исследование выполнено на 24 самцах крыс линии Wistar возрастом 16 недель. Животные на начало исследования имели SPF («свободен от специфических патогенов») статус, были получены из питомника Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск). Животных содержали по 2 в клетке в условиях неограниченного доступа к воде и корму и световом дне 12 часов. Исследование получило одобрение Комиссии по биоэтике Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Дизайн исследования представлен на рисунке 1. Разработанная методика была опробована без заполнения дефекта для подтверждения его критического характера и с заполнением коммерчески доступным остеопластическим материалом chronOS® (DePuy Synthes, Johnson & Johnson, США) с доказанными остеокондуктивными свойствами. Длительность исследования для каждой группы составляла для одной половины животных 3 недели, а для второй половины – 6 недель.

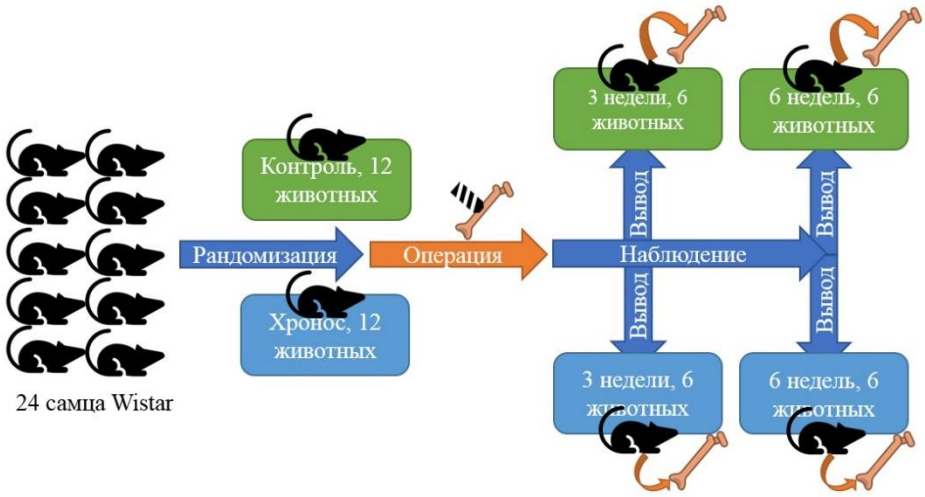


Рис. 1. Дизайн исследования

Для анестезии использовали внутрибрюшинное введение препаратов Ксила (Interchemie, Нидерланды) и Золетил 100 (Virbac, Франция) в дозах 6,25 и 4 мг/кг соответственно. С целью профилактики инфекционных осложнений после достижения наркоза вводили препарат цефазолин (Лекко, Россия) внутрибрюшинно в дозе 100 мг/кг. Перед операцией проводили выщипывание шерстяного покрова на левом боку.

После обработки кожи раствором антисептика («ДеконДез», ФГУП «ГосНИИБП», Россия) на левом бедре в проекции бедренной кости крысы проводили продольный разрез кожи длиной 4,0 см. Доступ к диафизу кости осуществляли острым и тупым методом по латеральной межмышечной перегородке. Для отведения мягких тканей использовали винтовой ранорасширитель. Пример полученного доступа приведен на рисунке 2.

Для формирования дефекта был выбран переднелатеральный диафизарный участок бедренной кости крысы. После выполнения доступа конической фрезой с постоянной ирригацией физиологическим раствором формировали дефект глубиной 3 мм и длиной 7 мм. Далее внутрь дефекта укладывали блок имплантата, повторяющий по форме полуцилиндр отсутствующей кости (группа «Хронос») или оставляли пустым (группа «Контроль»). Примеры этих этапов операции приведены на рисунке 3.

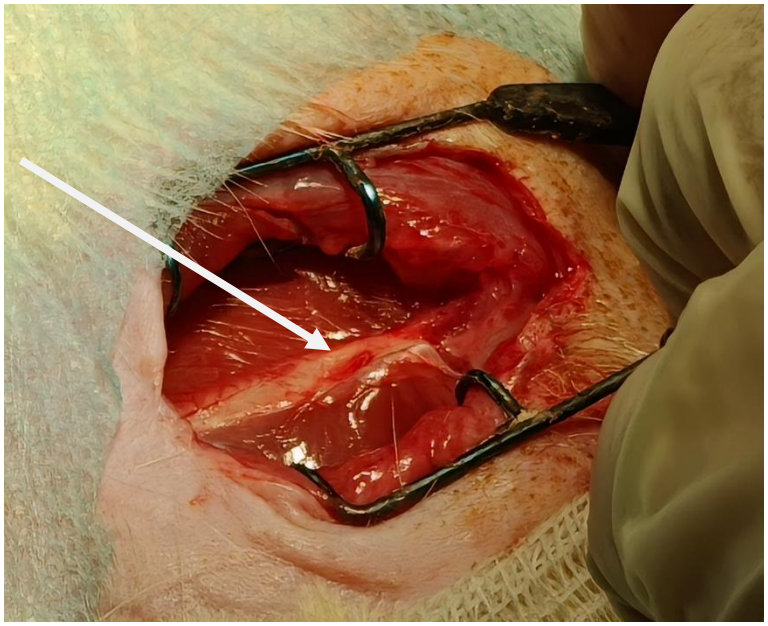


Рис. 2. Доступ к бедренной кости крысы – белая стрелка указывает на кость

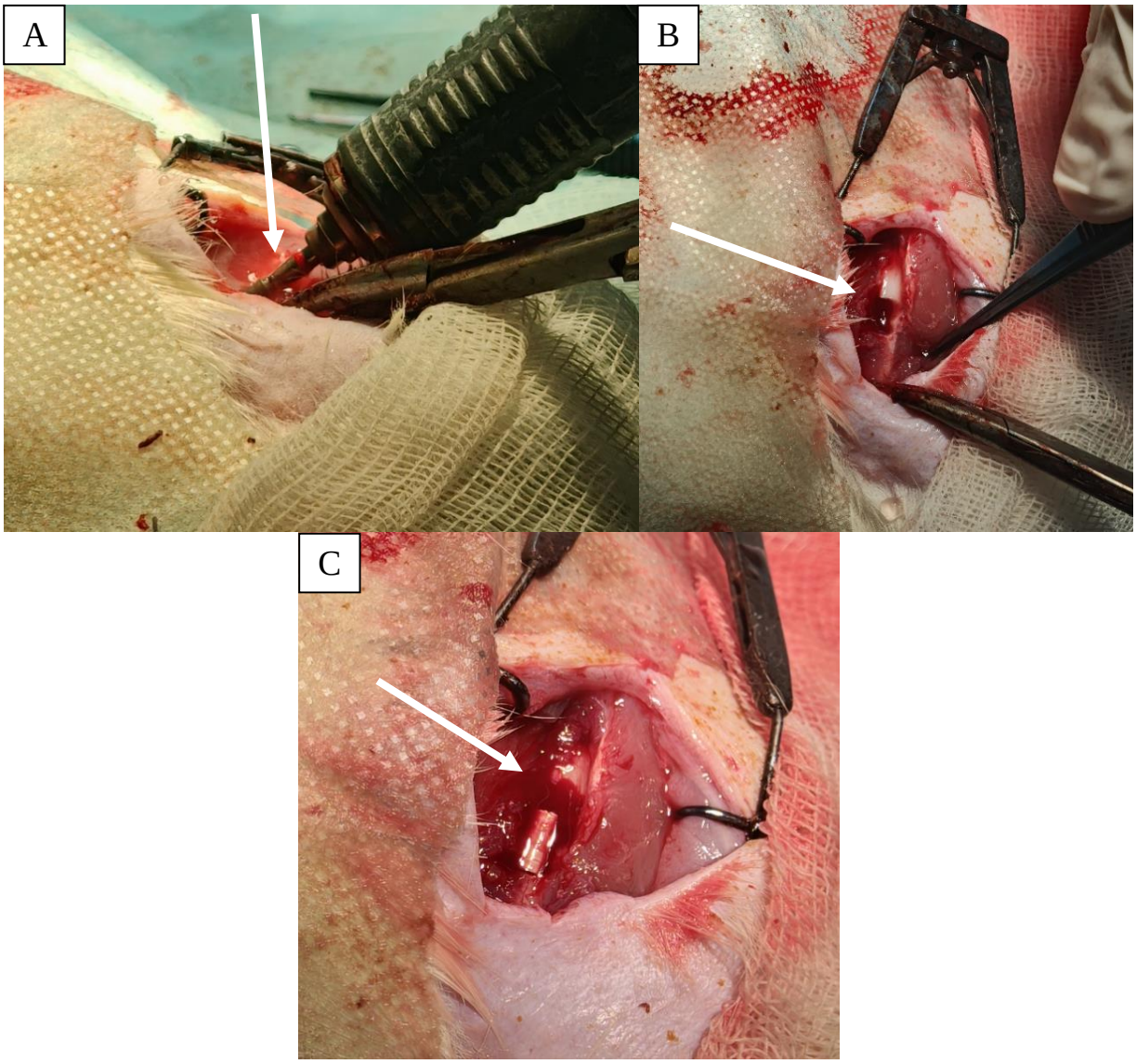


Рис. 3. Этапы операции. A – формирование дефекта конической фрезой (указана стрелкой); B – общий вид дефекта после формирования (указан стрелкой). C – блок исследуемого материала помещен в дефект (обозначен стрелкой)

Сверху область дефекта накрывали полимерной пластиной из PEEK (полиэфирэфиркетон) во всю длину кости и фиксировали шестью самонарезающими титановыми винтами (Ø 1,2 мм и длиной 10 мм, ООО «Конмет», Россия) через предварительно просверленные сверлом диаметром 0,95 мм отверстия. Цели применения пластины – фиксация материала в зоне дефекта и профилактика патологического перелома бедренной кости в послеоперационном периоде. Во время закручивания первых двух винтов кость и пластину фиксировали в двух проекциях для предотвращения их взаимного смещения. Для этого в качестве противоупора использовали две тонкие пластины PEEK, которые соединяли между собой винтом и помещали ближе к дистальному концу пластины (рис. 4 A и B). Последовательное вкручивание двух винтов по обе стороны от зоны дефекта при использовании противоупора позволяло первично зафиксировать пластину на кости и вкручивать дальнейшие винты без использования дополнительных конструкций. Пример фиксации пластины и конечный вид представлены на рисунке 4.

После завершения фиксации область раны обильно промывали раствором антисептика «Лавасепт» (B.Braun Medical AG, Германия), после чего послойно ушивали мягкие ткани шовным материалом Vicryl 4/0 (Ethicon, США). Пример закрытия раны представлен на рисунке 5.

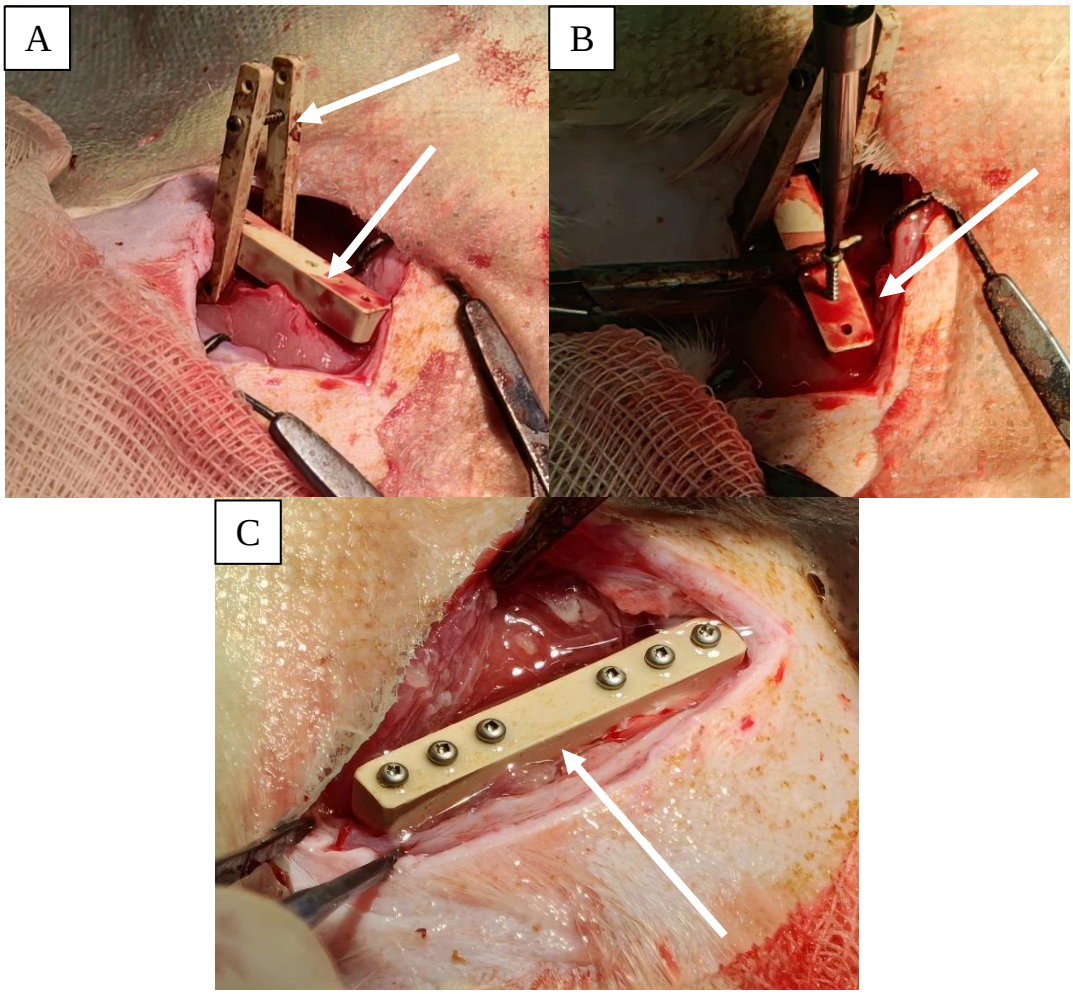


Рис. 4. Этапы операции. A – размещение противоупора поверх пластины и кости для закручивания первого винта (стрелками обозначены пластина и противоупор); B – закручивание винта при использовании противоупора и зажима (стрелка указывает на винт); C – общий вид пластины, прикрепленной 6 винтами к кости (пластина указана стрелкой)

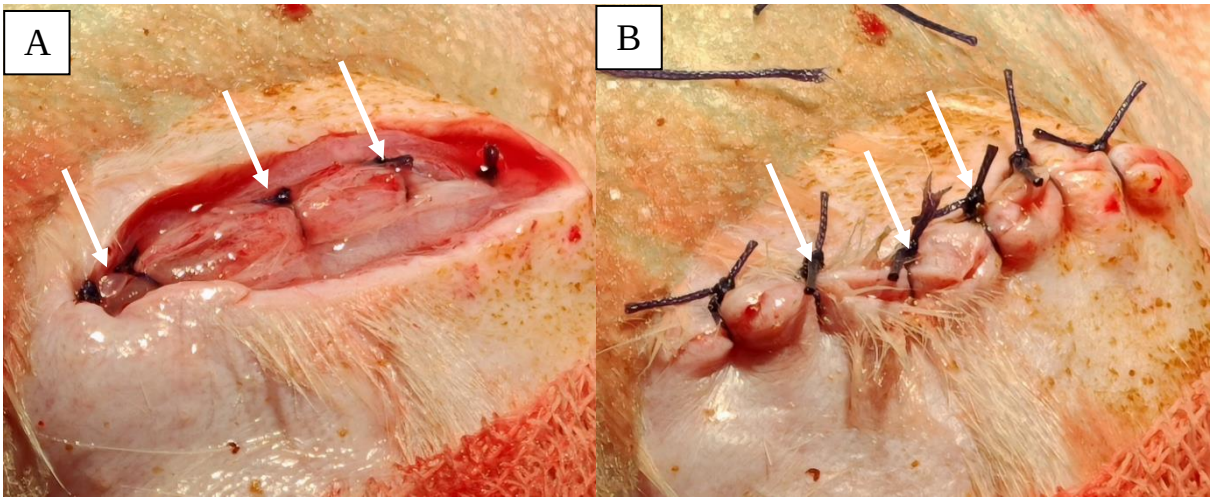


Рис. 5. Этапы операции. A – ушивание мышц узловыми швами; B – общий вид ушитой узловыми швами послеоперационной раны (стрелками обозначены швы)

После завершения операции проводили рентгенологическое исследование бедренной кости в двух проекциях, используя рентгеновский аппарат РАП-100 (НПП «Гамма», Россия). Изображения получали с помощью электронных кассет и

стоматологического визиографа Digora Optime (Soredex, Финляндия) в автоматическом режиме. Результат имплантации подтверждали рентгенографически (рис. 6). Пластина PEEK является рентгенопрозрачной в отличие от кости и имплантата, что позволяет беспрепятственно наблюдать область дефекта.

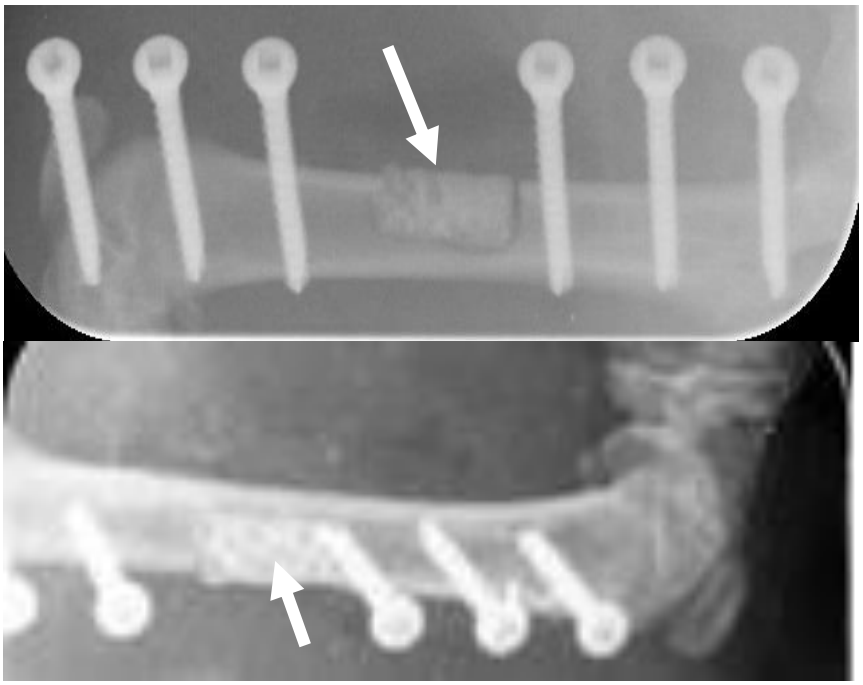


Рис. 6. Рентгенографии бедренной кости крысы в двух проекциях с имплантатом в области дефекта (его расположение указано стрелкой). Рентгенопрозрачная пластина PEEK не видна, сквозь нее вкручены винты

Послеоперационный уход включал внутрибрюшинное введение антибиотика цефазолин (Лекко, Россия) в дозе 100 мг/кг дважды в течение первых суток после операции с целью профилактики инфекционных осложнений. С целью обезболивания вводили кетопрофен внутрибрюшинно в дозе 0,2 мг/кг и добавляли раствор ибупрофена в поилки (Нурофен® для детей (Рекитт бенкисер хелскеа интернейшнл, Великобритания), 100 мг в поилку 500 мл).

По прошествии времени наблюдения животных выводили из эксперимента, после чего забирали бедренную кость для рентгенографического и гистологического исследования. После проведения декальцинации (раствор этилендиаминтетрауксусной кислоты 10-14 дней) удаляли пластину и винты, материал подвергали стандартной гистологической проводке и заливке в парафиновые блоки. Далее с помощью микротома изготавливали срезы с толщиной 3-4 мкм, монтировали их на предметные стекла и окрашивали их гематоксилином и эозином по стандартной методике. Во время вырезки использовали различные направления срезов для подробного изучения гистологических данных.

С полученных гистологических препаратов получали микрофотографии, используя manualWSIScanner (Microvisioneer GmbH, Германия). На микрофотографиях с помощью программного пакета Fiji в ручном режиме размечали участки новообразованной костной ткани и определяли ее площадь [16]. Относительную площадь вычисляли по формуле:

$$S_{отн} = S_{нов} / S_{общ} \times 100\%,$$

где $S_{нов}$ – площадь новообразованной кости,

$S_{общ}$ – площадь всего дефекта.

Ее считали аналитическим численным сигналом и использовали для описательной статистики.

Результаты площадей новообразованной кости каждой группы представляли в виде минимального, среднего и максимального значений. Относительные данные и массу тела представляли в виде среднего и выборочного стандартного отклонения. Оценку нормальности всех данных

проводили тестом Шапиро-Уилка. Показатели массы тела сравнивали двусторонним t-критерием Стьюдента с поправкой Уэлча. Для выявления возможных различий по величине площади новообразованной кости между группами проводили вычисление непараметрического критерия Краскела-Уоллиса для групп со сроком наблюдения 3 и 6 недель. За нулевую гипотезу принимали отсутствие различий по относительной площади новообразованной кости. Уровень значимости принимали равным $p \leq 0,05$. Статистические расчеты и тесты проводили с помощью программы Statistica 10.0 (©StatSoft, Россия).

Результаты исследования и их обсуждение. Длительность экспериментальных операций варьировала от 25 до 37 минут с тенденцией к уменьшению по мере накопления опыта. Кровопотеря была минимальная, оценке ее не подвергали, поскольку на послеоперационное состояние она не влияла.

Оперативное вмешательство пережили все животные, попавшие в эксперимент, однако один самец в течение первых суток после операции получил травму области послеоперационной раны в результате агрессии другой крысы и был выведен из эксперимента по причине достижения гуманной конечной точки.

У всех животных в исследовании наблюдали повышение массы тела с течением времени. Средняя масса тела повысилась с 340±29 г до операции до 390±23 г при выводе животных через 3 недели и до 437±34 г через 6 недель. Данные по массе тела в группах представлены в таблице 1. Тест Шапиро-Уилка подтвердил нормальность распределения данных массы тела животных. Масса животных на момент вывода из эксперимента статистически не имела отличий при 3 неделях ($p=0,853$), а при длительности 6 недель была обнаружена статистическая значимость ($p=0,0156$). Так как масса тела является интегральным показателем здоровья для лабораторных животных, данные отличия можно объяснить лучшим самочувствием животных в группе с заполненным дефектом.

Таблица 1

Масса животных перед началом эксперимента и на момент вывода, M±σ

Группа	Время наблюдения, недели	Количество животных	Средняя масса животных в группе на момент операции, г	Средняя масса животных в группе на момент вывода из эксперимента, г
Контроль	3	6	334±24	389±23
	6	6	338±26	415±20
Хронос	3	5*	326±27	391±10
	6	6	362±15	459±30

Примечание: * – выбытие животного вследствие агрессивного поведения с соседями по клетке.

Все животные (кроме исключенного из исследования) сразу после операции и до конца эксперимента перемещались на всех лапах, ограничений в активности не наблюдали. Заживление ран проходило первичным натяжением. По прошествии недели у всех животных наблюдались заживление послеоперационных ран первичным натяжением и частичное восстановление шерстяного покрова. Швы удалялись спонтанно другими животными в процессе груминга. Пример послеоперационного состояния послеоперационных ран приведен на рисунке 7.

Полученные результаты по площадям новообразованной костной ткани приведены в таблице 2. Согласно тесту Шапиро-Уилка, данные площадей не подчиняются закону нормального распределения.

Гистологические картины области дефекта в контрольной группе не отличались. На месте дефекта обнаруживали грануляционную соединительную ткань. Трабекулярные структуры отсутствовали, кроме как вокруг костномозгового канала. Типичный вид гистологической картины приведен на рисунке 8.

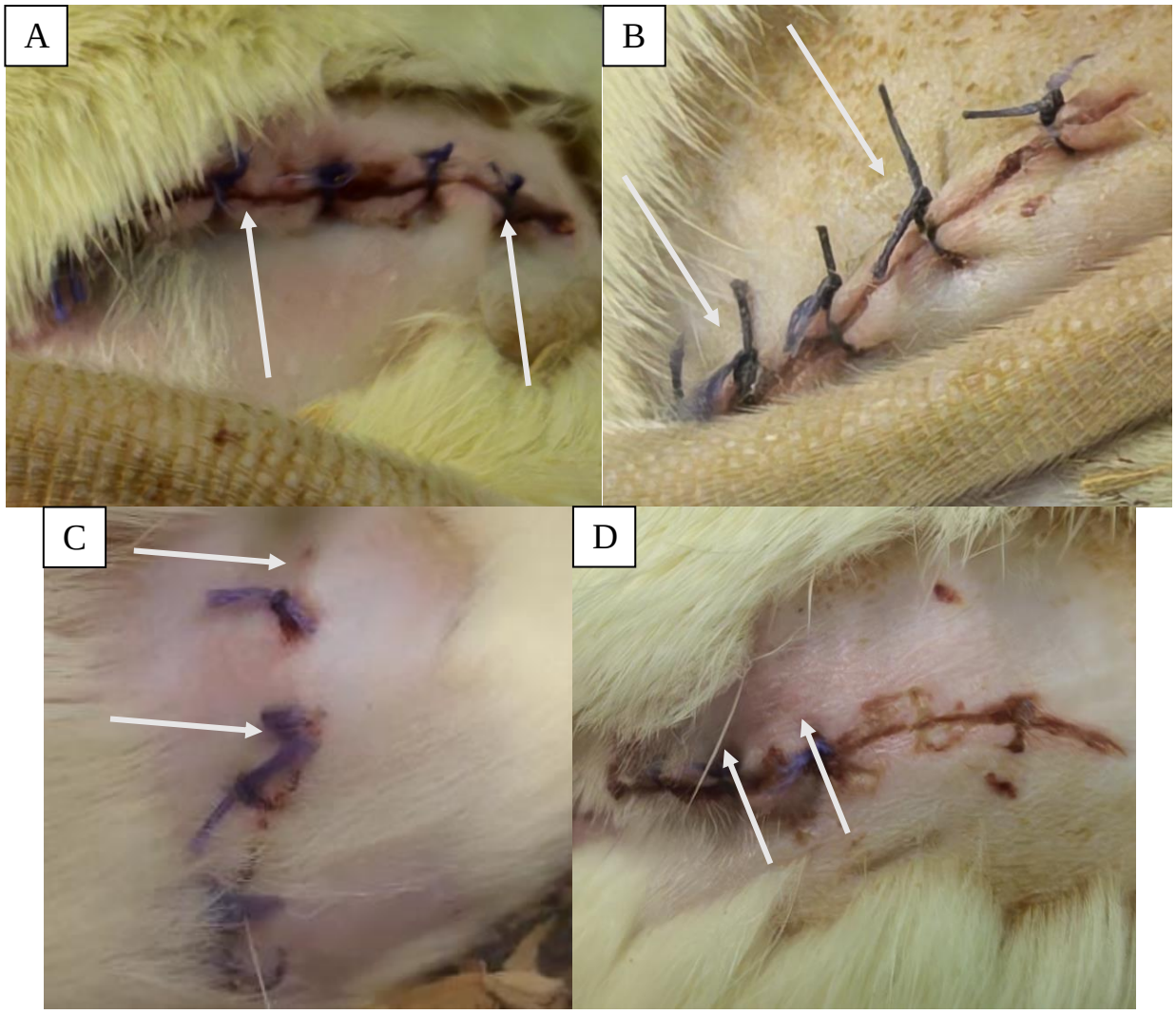


Рис. 7. A, B – швы через 3 дня после проведения операции; C, D – швы через 7 дней после проведения операции (указаны белыми стрелками)

Таблица 2

Результаты экспериментальной оценки заполнения новообразованной костью зоны дефекта при использовании разработанной методики

Группа	Количество животных	Время наблюдения, недели	$S_{нов}$ (площадь новообразованной кости), мм^2			$S_{отн}$ (M±σ, %)
			Min	M	Max	
Контроль	6	3	0	0,0515	0,707	0
		6	0	0,1462	0,835	4±1,2
Хронос	5*	3	0,092	0,3694	0,776	3,6±1,5
	6	6	0,157	1,1686	3,123	27±3,2†

Примечание: * – животное выбыло из эксперимента вследствие агрессивного поведения с соседями по клетке; † – различия статистически значимы $p<0,05$.

В группе «Хронос» на всех препаратах наблюдали срез материала правильной прямоугольной формы, его контуры оставались без изменений на срезах, полученных через 3 и 6 недель после операции. Гистологически имплантат определяли по ячеистым структурам бледно-серого цвета. На препаратах на обоих сроках наблюдения не было выявлено клеточной инфильтрации или иных признаков воспаления. По всей области имплантата внутри его пор на сроке 3 недели отмечали соединительную ткань с клеточными элементами и сосудами, а по внешней части блока фиксировали костные

балки (~25-35 на дефект). Трабекулярные структуры в порах находили на срезах через 6 недель в большей части объема материала, таким образом подтверждается врастание костной ткани внутрь дефекта. Типичный гистологический вид кости с имплантированным материалом chronOS приведен на рисунке 9.

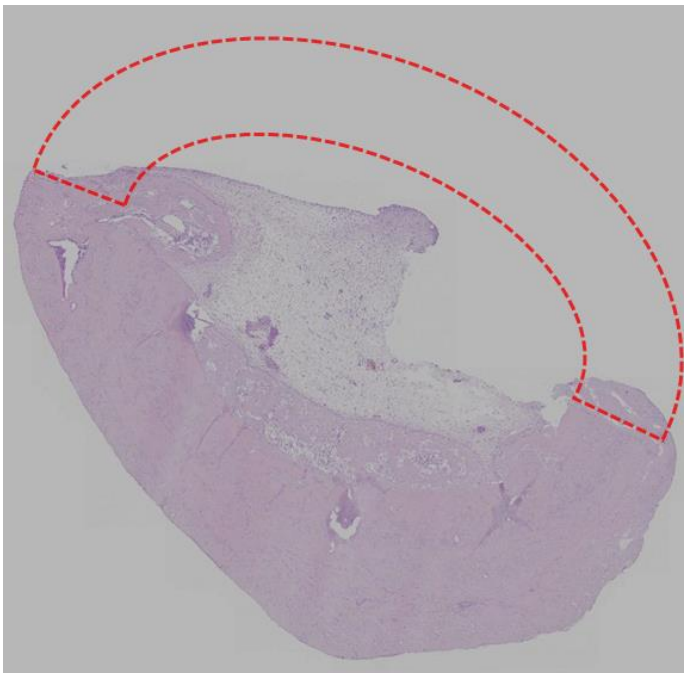


Рис. 8. Пример гистологического препарата области дефекта кости контрольной группы, 3 недели, увеличение ×10, окраска гемотоксилин & эозин, поперечный срез кости. Красным пунктиром показан удаленный участок кости

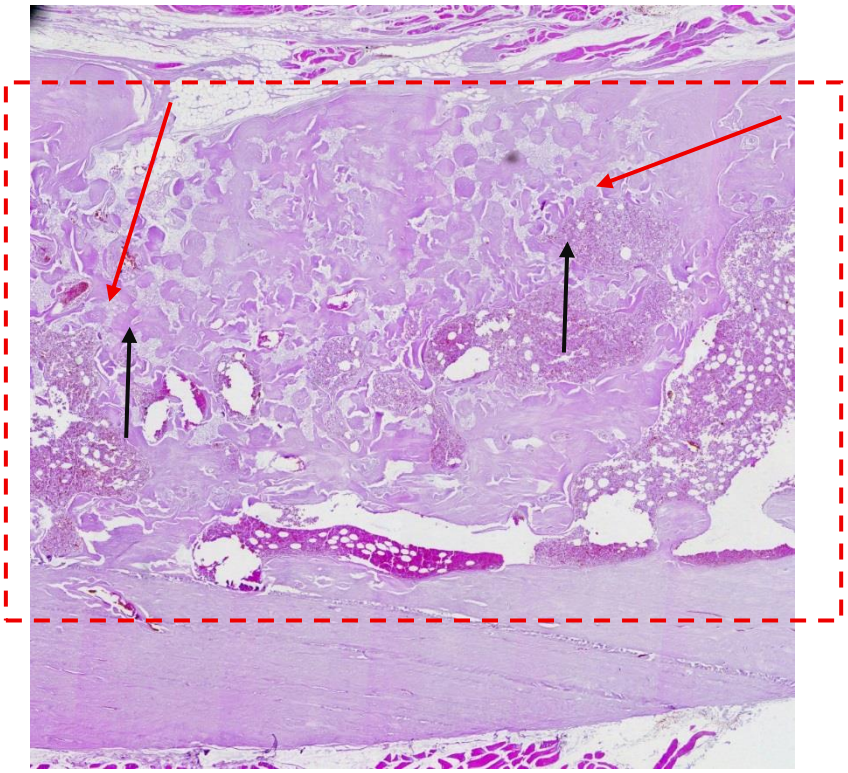


Рис. 9. Пример гистологического материала области дефекта кости группы «Хронос», 6 недель, увеличение ×10, окраска гемотоксилин & эозин, продольный срез

Примечание: красным пунктиром показан удаленный участок кости, красными – типичные структуры материала chronOS, черными – островки врастания костной ткани в материал.

По результатам исследования доказано, что дефект является критическим, поскольку спонтанно не заполнялся костной тканью в процессе наблюдения. Заполнение новообразованной костной тканью части дефекта в небольшом объеме (~4%) после экспозиции в течение 6 недель было распространено только на участке, прилежащем к эндосту. При этом исследуемый материал chronOS проявлял свои остеокондуктивные свойства, что обнаруживали уже на сроке 3 недели. Это согласуется с началом репарационного процесса кости у крыс [17]. Внутри материала обнаруживали новообразованную костную ткань, расположенную небольшими островками в порах материала по значительной части срезов, то есть по всему объему материала.

Результаты показали, что методический подход, описанный в настоящей статье, подходит для испытания имплантатов костной ткани. Используемая полимерная пластина имеет минимальную травматичность при фиксации на кости, что наблюдается при гистологическом исследовании (отсутствие признаков воспаления). Рентгенографическое подтверждение успешности формирования дефекта и расположения в нем рентгеноконтрастного материала является хорошим способом первоначальной оценки качества выполнения критического этапа работы. Использование PEEK в качестве материала пластины для фиксации является преимуществом разработанного методического подхода и дает возможность беспрепятственной визуализации имплантата в дефекте без артефактов. Используемые в стандартной практике металлические фиксаторы снижают информативность лучевой диагностики вследствие своей высокой рентгенконтрастности.

Диафиз занимает большую часть длинных трубчатых костей, и дефекты диафиза встречаются чаще, чем дефекты остальных частей кости [1]. Разработанная модель позволяет изучать влияние остеопластических материалов на замещение дефектов в диафизарной части бедренной кости крысы. Так как строение костей млекопитающих в целом сходно, трансляция результатов оценки остеокондуктивности имплантатов на диафизе кости крысы позволяет провести параллели с будущим использованием медицинских изделий на людях без дополнительного моделирования.

Используя различные сроки наблюдения, можно проводить исследования с фиксацией результата до формирования требуемой по зрелости структуры новообразованной костной ткани.

Заключение. Предложенная и разработанная модель критического диафизарного дефекта бедренной кости крысы может быть использована в качестве экспериментального способа оценки остеокондуктивности новых остеопластических материалов *in vivo*. Отличительной особенностью модели критического дефекта относительно имеющихся является использование достаточно зрелой кости и переднелатеральной части диафиза. Модель обладает технической простотой при реализации, а также имеет преимущество в виде рентгенографического подтверждения положения имплантата после операции, что достигается использованием полимерной пластины.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Работа выполнена в рамках гранта РНФ 23-79-10103.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.
Financing. The work was carried out under the grant RNF 23-79-10103.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bone Fracture Patterns and Distributions according to Trauma Energy / A. Ahmad, M. Ayman, A. Sattam [et al.] // Advances in Orthopedics. – 2022. – No. 8695916. – 12 p. DOI: 10.1155/2022/8695916
2. Использование мезенхимальных стволовых клеток и экзосом в лечении костных дефектов / А.И. Гребень, П.С. Еремин, Е.Ю. Костромина [и др.] // Гений ортопедии. – 2024. – Т. 30. – № 1. – С. 124-133. DOI: 10.18019/1028-4427-2024-30-1-124-133.
3. Yotsova, R. Restoration of critical-size bone defects: a review / R. Yotsova // Varna medical forum. – 2025. – Vol. 14. – No.1. – P. 46-51. DOI: 10.14748/vmf.v14i1.10224.
4. Сравнение эффективности методик Masquelet, костного транспорта по Илизарову и кровоснабжаемых лоскутов при замещении обширных

дефектов длинных костей конечностей : систематический обзор и метаанализ / А.И. Авдеев, Ю.А. Федорова, А.Б. Малашичева [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2026. – Т. 32. – № 1. – С. 170-185. DOI: 10.17816/2311-2905-17811.
5. Manek, Y.B. A Comprehensive Review of Evaluating Donor Site Morbidity and Scar Outcomes in Skin Transfer Techniques / Y.B. Manek, S. Jajoo, C. Mahakalkar // Cureus. – 2024. – Vol. 16. – No. 2. – P.e53433. DOI: 10.7759/cureus.53433.
6. Экспериментальная оценка свойств костнозамещающих материалов на основе CA3(PO4)2 на модели критического дефекта бедренной кости крысы / И.М. Щербаков, П.В. Евдокимов, Д.С. Ларионов [и др.] // Гений ортопедии. – 2025. – Т. 31. – № 2. – С. 226-236. DOI: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-226-236.
7. Сравнительный анализ репарации и регенерации костной ткани в условиях сформированных критических дефектов в зависимости от уровня содержания коллагена в ксеноматериалах для направленной костной регенерации / Д.С-А. Елдашев, А.А. Долгалев, Д.В. Бобрышев [и др.] // Вестник молодого ученого. – 2023. – Т. 12. – № 2. – С. 57-63.
8. Murray, S.J. The Translational Benefits of Sheep as Large Animal Models of Human Neurological Disorders / S.J. Murray, N.L. Mitchell // Frontiers in Veterinary Science. – 2022. – Vol. 9. – P. 831838. DOI: 10.3389/fvets.2022.831838.
9. Significance and considerations of establishing standardized critical values for critical size defects in animal models of bone tissue regeneration / J. Wei, X. Chene, Y. Xu [et al.] // Heliyon. – 2024. – Vol. 10. – No. 13. – P. e33768. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e33768.
10. The preparation and application of calcium phosphate biomedical composites in filling of weight-bearing bone defects / L. Cheng, T. Lin, A.T. Khalaf [et al.] // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11. – P. 4283. DOI: 10.1038/s41598-021-83941-3.
11. Bone regeneration induced by a novel quercetin/a-CSH/n-HA composite in critical size tibia defect of rats with osteoporosis / M. Ren, Y. Yang, K. Chen [et al.] // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – P. 36273. DOI: 10.1038/s41598-025-20161-z.
12. Application of decalcified bone matrix in Salmon bone for tibial defect repair in rat model / T. Wu, L. Han, Y. Zhu [et al.] // The International Journal of Artificial Organs. – 2024. – Vol. 47. – No. 10. DOI: 10.1177/03913988241269498.
13. Platelet-rich fibrin associated to bovine bone induces bone regeneration in model of critical-sized calvaria defect of rats submitted to Zoledronic Acid therapy: PRF induces bone healing / B.G.D.S. Carneiro, T.A.C. Maia, V. Costa [et al.] // Journal of Stomatology Oral and Maxillofacial Surgery. – 2025. – Vol. 126. – No. 4. DOI: 10.1016/j.jormas.2024.102175.
14. Модели костных дефектов у кроликов, используемые для оценки эффективности костнопластических материалов / Н.Ю. Гаджиев, В.С. Кузнецова, А.В. Васильев [и др.] // Стоматология. – 2023. – Т. 102. – № 6-2. – С. 55-60. DOI: 10.17116/stomat202310206255.
15. Соломин, Л.Н. Универсальная классификация дефектов длинных костей: шаг за шагом от диагностики до определения тактики и оценки результата лечения. Часть 1. Диафизарные дефекты / Л.Н. Соломин, А.В. Комаров, А.А. Семенистый // Травматология и ортопедия России. – 2026. – Т. 32. – № 1. – С. 203-221. DOI: 10.17816/2311-2905-17833.
16. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis / J. Schindelin, I. Arganda-Carreras, E. Frise [et al.] // Nature Methods. – 2012. – Vol. 7. – No. 9. – P. 676-682. DOI: 10.1038/nmeth.2019.
17. Морфологическая и рентгенологическая характеристика регенерации костной ткани в эксперименте / Э.А. Надыров, В.И. Николаев, С.И. Кириленко [и др.] // Проблемы здоровья и экологии. – 2021. – Т. 18. – № 3. – С. 94-104. DOI: 10.51523/2708-6011.2021-18-3-12.

REFERENCES

1. Almigdad A., Mustafa A., Alazaydeh S. et al. Bone Fracture Patterns and Distributions according to Trauma Energy. *Advances in Orthopedics*, 2022, no. 8695916, 12 p. DOI: 10.1155/2022/8695916.
2. Greben A.I., Eremin P.S. et al. Mesenchymal stem cells and exosomes in bone defects treatment. *Genij Ortopedii*, 2024, vol. 30, no. 1, pp. 124-133. DOI: 10.18019/1028-4427-2024-30-1-124-133. (in Russ.)
3. Yotsova R. Restoration of critical-size bone defects: a review. *Varna medical forum*, 2025, vol. 14, no. 1, pp. 46-51. DOI: 10.14748/vmf.v14i1.10224.
4. Avdeev A.I., Fedorova Yu.A., Malashicheva A.B. et al. Comparative effectiveness of the Masquelet technique, the Ilizarov method, and vascularized bone flaps in the reconstruction of extensive long-bone defects of the limbs: a systematic review and meta-analysis. *Traumatology and Orthopedics of Russia*, 2026, vol. 32, no. 1, pp. 170-185. DOI: 10.17816/2311-2905-17811. (in Russ.)
5. Manek Y.B., Jajoo S., Mahakalkar C. A Comprehensive Review of Evaluating Donor Site Morbidity and Scar Outcomes in Skin Transfer Techniques. *Cureus*, 2024, vol. 16, no. 2, p. e53433. DOI: 10.7759/cureus.53433.
6. Shcherbakov I.M., Evdokimov P.V., Larionov D.S. Experimental evaluation of $CA_3(PO_4)_2$ based bone substitutes using rat femoral defect models. *Genij Ortopedii*, 2025, vol. 31, no. 2, pp. 226-236. DOI: 10.18019/1028-4427-2025-31-2-226-236. (in Russ.)
7. Eldashev D.S.A., Dolgalev A.A., Bobryshev D.V. et al. Comparative analysis of bone tissue repair and regeneration in conditions of formed critical defects depending on the properties of directed bone regeneration materials. *Journal of young scientist*, 2023, vol. 12, no. 2, pp. 57-63. (in Russ.)
8. Murray S.J., Mitchell N.L. The Translational Benefits of Sheep as Large Animal Models of Human Neurological Disorders. *Frontiers in Veterinary*

Science, 2022, vol. 9, p. 831838. DOI: 10.3389/fvets.2022.831838.
9. Wei J., Chene X., Xu Y. et al. Significance and considerations of establishing standardized critical values for critical size defects in animal models of bone tissue regeneration. *Heliyon*, 2024, vol. 10, no. 13, p. e33768. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e33768.
10. Cheng L., Lin T., Khalaf A.T. et al. The preparation and application of calcium phosphate biomedical composites in filling of weight-bearing bone defects. *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, p. 4283. DOI: 10.1038/s41598-021-83941-3.
11. Ren M., Yang Y., Chen K. et al. Bone regeneration induced by a novel quercetin/a-CSH/n-HA composite in critical size tibia defect of rats with osteoporosis. *Scientific Reports*, 2025, vol. 15, p. 36273. DOI: 10.1038/s41598-025-20161-z.
12. Wu T., Han L., Zhu Y. et al. Application of decalcified bone matrix in Salmon bone for tibial defect repair in rat model. *The International Journal of Artificial Organs*, 2024, vol. 47, no. 10. DOI: 10.1177/03913988241269498.
13. Carneiro B.G.D.S., Maia T.A.C., Costa V. et al. Platelet-rich fibrin associated to bovine bone induces bone regeneration in model of critical-sized calvaria defect of rats submitted to Zoledronic Acid therapy: PRF induces bone healing. *Journal of Stomatology Oral and Maxillofacial Surgery*, 2025, vol. 126, no. 4. DOI: 10.1016/j.jormas.2024.102175.
14. Gadzhiev N.Yu., Kuznetsova V.S., Vasilyev A.V. et al. Models of bone defects in rabbits used to evaluate the bone graft materials efficacy. *Dentistry = Stomatologiia*, 2023, vol. 102, no. 6-2, pp. 55-60. DOI: 10.17116/stomat202310206255. (in Russ.)
15. Solomin L.N., Komarov A.V., Semenistyy A.A. Universal long bone defect classification: step by step from diagnosis to treatment strategy and outcome assessment. Part 1: diaphyseal defects. *Traumatology and Orthopedics of Russia*, 2026, vol. 32, no. 1, pp. 203-221. DOI: 10.17816/2311-2905-17833. (in Russ.)
16. Schindelin J., Arganda-Carreras I., Frise E. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods*, 2012, vol. 7, no. 9, pp. 676-682. DOI: 10.1038/nmeth.2019.
17. Nadyrov E.A., Nikolaev V.I., Kirilenko S.I. et al. Morphological and radiological characteristics of experimental bone tissue regeneration. *Health and Ecology Issues*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 94-104. DOI: 10.51523/2708-6011.2021-18-3-12. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Георгий Александрович Шипунов – аспирант факультета фундаментальной медицины, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: shipunovgeorge@gmail.com.
Иван Михайлович Щербаков – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры хирургических болезней факультета фундаментальной медицины, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: imscherbakov@yandex.ru.
Вадим Эрикович Дубров – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и медицины катастроф факультета фундаментальной медицины, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва; травматолог-ортопед, Городская клиническая больница имени С.С. Юдина ДЗМ, Москва, e-mail: duort@mail.ru.
Наталья Владимировна Данилова – доктор медицинских наук, старший научный сотрудник отдела клинической патологии Университетской клиники, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: natalyadanilova@gmail.com.
Павел Владимирович Евдокимов – кандидат химических наук, старший научный сотрудник кафедры неорганической химии химического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: pavel.evdokimov@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Georgy A. Shipunov – Postgraduate Student of the Fundamental Medicine Faculty, Moscow State University, Moscow, e-mail: shipunovgeorge@gmail.com.
Ivan M. Shcherbakov – Candidate of Medical Sciences, Assistant of the Department of Surgical Diseases, Fundamental Medicine Faculty, Moscow State University, Moscow, e-mail: imscherbakov@yandex.ru.
Vadim E. Dubrov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Emergency Medicine, Fundamental Medicine Faculty, Moscow State University, Moscow; Trauma Ortopedist, S.S. Yudin City Clinical Hospital, Moscow, e-mail: duort@mail.ru.
Natalya V. Danilova – Doctor of Medical Sciences, Senior Researcher of the Department of Clinical Pathology, University's Clinic, Moscow State University, Moscow, e-mail: natalyadanilova@gmail.com.
Pavel V. Evdokimov – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher of the Department of Non-organic Chemistry, Chemistry Faculty, Moscow State University, Moscow, e-mail: pavel.evdokimov@gmail.com.

Для цитирования: Разработка модели критического диафизарного дефекта бедренной кости крысы для оценки остеокондуктивности костнозамещающих имплантатов / Г.А. Шипунов, И.М. Щербаков, В.Э. Дубров [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_20

For citation: Shipunov G.A., Scherbakov I.M., Dubrov V.E., Danilova N.V., Evdokimov P.V. Rat model of a femoral critical diaphyseal defect development to evaluate the osteoconductivity of bone substitution implants. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_20

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_21
УДК 616-092.19:57.043

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_21
UDC 616-092.19:57.043

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АДАПТАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКЕ У ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

А.Г. Шокуева, И.Х. Борукаева, Т.Б. Кипкеева, Ф.В. Шаваева, Л.К. Шерхова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова», г. Нальчик, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Адаптация к гипоксическим условиям во многом определяется состоянием вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы. Цель: оценить особенности вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы и ее изменения под влиянием интервальной гипоксической тренировки у студентов, сформировавшихся в условиях среднегорья, низменности и предгорья. ***Методы.*** Обследованы жители среднегорья, низменности и предгорья. Оценивали показатели вариабельности сердечного ритма, частоту сердечных сокращений, артериальное давление, сатурацию кислорода и интегральные индексы до и после курса интервальной гипоксической тренировки. Статистическую обработку проводили с использованием t-критерия Стьюдента при $p<0,05$. ***Результаты.*** После курса интервальной гипоксической тренировки во всех группах выявлено улучшение показателей вегетативной регуляции, особенно у жителей среднегорья. ***Заключение.*** Проживание в условиях среднегорья способствует формированию более устойчивого адаптационного фенотипа.
Ключевые слова: вегетативная регуляция, вариабельность сердечного ритма, гипоксическая устойчивость, интервальная гипоксическая тренировка, среднегорье, адаптация.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF ADAPTIVE CHANGES IN THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM DURING INTERVAL HYPOXIC TRAINING IN INDIVIDUALS LIVING IN DIFFERENT CLIMATIC AND GEOGRAPHICAL CONDITIONS

A.G. Shokueva, I.Kh. Borukaeva, T.B. Kipkeeva, F.V. Shavaeva, L.K. Sherkhova
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Adaptation to hypoxic conditions is largely determined by the state of the cardiovascular system's autonomic regulation. Objective: to evaluate the characteristics of the of the cardiovascular system's autonomic regulation and its changes under the influence of interval hypoxic training in students formed in the conditions of middle mountains, lowlands and foothills. ***Methods.*** Residents of middle mountains, lowlands and foothills were examined. Heart rate variability, heart rate, blood pressure, oxygen saturation and integral indices were assessed before and after an interval hypoxic training course. Statistical processing was performed using Student's t-test at $p<0.05$. ***Results.*** After the course, improvement in autonomic regulation indices was revealed in all groups, especially in middle mountains residents. ***Conclusions.*** Living in mid-mountain conditions contributes to the formation of a more stable adaptive phenotype.
Keywords: autonomic regulation, heart rate variability, hypoxic resistance, interval hypoxic training, midland, adaptation.

Введение. Адаптация организма к гипоксическим условиям представляет собой сложный многоуровневый процесс, в котором ключевую роль играет вегетативная нервная система [1]. Одним из наиболее информативных методов оценки состояния автономной регуляции организма является анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР), позволяющий количественно оценить баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы [2]. Воздействие гипоксии на организм человека приводит к значительным изменениям показателей ВСР, характеризующимся снижением временных и спектральных показателей, что отражает активацию симпатического звена и снижение вагусного влияния [3]. Проживание человека в условиях гипобарической гипоксии способствует формированию

устойчивых адаптационных механизмов, обеспечивающих более экономичное функционирование сердечно-сосудистой системы и повышение устойчивости организма к гипоксическому воздействию [4].

Особое место в структуре научных исследований по проблемам гипоксии занимают исследования, направленные на изучение воздействия управляемой гипоксической стимуляции на адаптационные возможности организма [5]. В научной литературе интервальная гипоксическая тренировка (ИГТ) рассматривается как эффективный способ повышения адаптационного потенциала организма человека [6]. ИГТ способствует улучшению показателей гемодинамики и ВСР за счет усиления парасимпатической активности и нормализации вегетативного баланса нервной системы [7]. Кратковременное воздействие нормобарической гипоксии на организм человека вызывает фазовые изменения активности вегетативной нервной системы с преобладанием симпатического влияния в период гипоксической экспозиции и последующей активацией парасимпатического компонента в восстановительном периоде [8]. Несмотря на большое количество публикаций по изучению влияния ИГТ на организм остается недостаточно изученным вопрос о том, в какой степени эффективность ИГТ зависит от исходного адаптационного фона, сформированного в различных климатогеографических условиях.

Цель исследования – оценить особенности вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы и ее адаптационные изменения под влиянием интервальной гипоксической тренировки у студентов, проживающих в различных климатогеографических условиях.

Методы и организация исследования. В исследовании приняли участие 351 студент Медицинской академии Кабардино-Балкарского государственного университета. Средний возраст обследованных составил 22,37±0,42 года. По критерию условий проживания обследуемые были распределены на три группы: I группа (n=127) – студенты, постоянно проживавшие в условиях среднегорья (г. Тырныауз, около 1 300 м над уровнем моря); II группа (n=113) – студенты, сформировавшиеся в условиях низменного климата (равнинные районы Туркменистана, 70-230 м над уровнем моря); III группа (n=111) – студенты, проживавшие в предгорной зоне Кабардино-Балкарской Республики (450-700 м над уровнем моря). Исследование было проведено только у лиц мужского пола для повышения однородности выборки, исключения влияния гормональных циклических факторов и повышения точности сравнительной оценки вегетативной регуляции у жителей разных климатогеографических зон, которые могли бы существенно исказить оценку исходного вегетативного статуса.

Группы были сопоставимы по возрасту, уровню физической активности и образовательному статусу ($p>0,05$). Оценивались следующие показатели вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы: ВСР; частота сердечных сокращений (ЧСС); систолическое и диастолическое артериальное давление (САД, ДАД); показатели общей вариабельности сердечного ритма; стандартное отклонение нормальных интервалов (SDNN); показатель парасимпатической активности; квадратный корень из среднего квадрата разностей между соседними нормальными интервалами (RMSSD); мощность низкочастотного диапазона вариабельности сердечного ритма (LF); мощность высокочастотного диапазона (HF); индекс LF/HF для оценки баланса симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы; индекс интегральных функциональных резервов (ИИФР); индекс интегральной гипоксической устойчивости (ИИГУ).

Исследование выполнялось в два этапа, до начала курса интервальной гипоксической тренировки (Т0) и после его завершения (Т1). Программа тренировки включала чередование гипоксических и нормоксических фаз в контролируемых условиях. Регистрация показателей ВСР проводилась в состоянии покоя в стандартных условиях. Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации и одобрено локальным этическим комитетом Кабардино-Балкарского государственного университета (протокол № 7/11 от 20.02.2025 г.).

Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакета IBM SPSS Statistics. Проверку нормальности распределения количественных показателей проводили с использованием критерия Шапиро-Уилка. Дополнительно учитывали результаты графического анализа распределения. Отсутствие статистически значимых различий дисперсий между сравниваемыми группами ($p>0,05$) подтвердило корректность применения параметрических методов статистического анализа. Количественные данные представлены в виде M±σ. Для сравнения независимых выборок использовался t-критерий Стьюдента, для оценки динамики – парный t-критерий. Различия считались статистически значимыми при $p<0,05$. Построение диаграмм осуществлялось с применением программной среды Python (библиотека Matplotlib).

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ исходных показателей функционального состояния студентов трех групп выявил, что уровень сатурации кислорода в покое в I группе студентов был выше по сравнению со II группой (96,46±1,08%, 96,01±0,80%, $p<0,001$), значимые различия с III группой отсутствовали ($p=0,581$). Минимальные значения SpO_2 при гипоксической нагрузке в I группе студентов были значимо ($p<0,001$) выше по сравнению со II и III группами исследованных лиц (88,04±2,94%, 86,15±2,73% и 86,32±2,59% соответственно), что свидетельствует о более высокой гипоксической устойчивости студентов, проживавших в условиях среднегорья. ЧСС в I группе обследуемых была значительно ($p<0,001$) ниже по сравнению со II и III группами студентов (71,38±3,75 уд/мин, 74,48±3,52 уд/мин, 74,48±3,31 уд/мин соответственно), что указывает на более экономичный характер функционирования сердечно-сосудистой системы у студентов, проживавших в условиях среднегорья. САД и ДАД у студентов I группы, проживающих в условиях среднегорья, были существенно ($p<0,001$) ниже по сравнению с показателями II и III групп. Показатели ВСР в I группе студентов SDNN составили 50,83±6,14 мс, что статистически значимо ($p=0,001$) выше по сравнению со II и III группами обследованных (48,20±6,24 и 48,11±6,10 мс соответственно); RMSSD в I группе участников исследования составил 32,48±5,45 мс и был существенно выше ($p\leq0,005$), чем у лиц II и III групп, что отражает более высокий уровень автономной регуляции у людей, проживающих в условиях среднегорья (табл. 1).

Таблица 1

Исходные показатели функционального состояния и гипоксической устойчивости, M±σ

Показатель	I группа (n=127)	II группа (n=113)	III группа (n=111)	P< (I-II)	P< (I-III)	P< (II-III)
SpO_2 покой, %	96,46±1,08	96,01±0,80	96,39±0,82	0,001	–	0,001
SpO_2 миним, %	88,04±2,94	86,15±2,73	86,32±2,59	0,001	0,001	–
ЧСС, уд/мин	71,38±3,75	74,48±3,52	74,48±3,31	0,001	0,001	–
САД, мм рт. ст.	117,17±4,24	119,69±3,84	120,50±3,38	0,001	0,001	–
ДАД, мм рт. ст.	71,34±3,65	74,48±3,52	73,95±3,26	0,001	0,001	–
SDNN, мс	50,83±6,14	48,20±6,24	48,11±6,10	0,001	0,001	–
RMSSD, мс	32,48±5,45	30,43±5,71	30,37±5,68	0,005	0,004	–

Примечание: SpO_2 покой – сатурация артериальной крови кислородом в покое; SpO_2 миним – минимальная сатурация артериальной крови кислородом; ЧСС – частота сердечных сокращений; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; SDNN – стандартное отклонение нормальных интервалов; RMSSD – квадратный корень из среднего квадрата разностей между соседними нормальными интервалами.

У исследуемых всех трех групп исходное состояние вегетативной регуляции характеризовалось различной степенью напряжения адаптационных механизмов. Однако выраженность вегетативного дисбаланса зависела от климатогеографических условий проживания и уровня привычной адаптации организма к гипоксическому фактору.

У жителей среднегорья отмечался ваготонический тип вегетативной регуляции. Вегетативный статус можно расценивать как более адаптированный к условиям умеренной природной гипоксии. Для этой группы характерны относительная устойчивость регуляторных механизмов, более экономный режим функционирования сердечно-сосудистой системы и меньшая выраженность симпатического напряжения. У них вегетативная регуляция находится в состоянии функциональной компенсации: организм уже приспособлен к сниженному парциальному давлению кислорода, поэтому реакция автономной нервной системы менее напряженная.

Для жителей низменности более характерным был симпатикотонический тип вегетативной регуляции. Это может свидетельствовать о меньшей тренированности кислородтранспортных и регуляторных систем к гипоксическим воздействиям. У данной группы выявляются признаки напряжения адаптационно-компенсаторных механизмов: усиление симпатических влияний, снижение вагусного контроля и менее стабильный вегетативный баланс. Следовательно, жители низменности имеют более низкий исходный адаптационный резерв по сравнению с жителями среднегорья.

У жителей предгорья выявлялся смешанный или переходный тип вегетативной регуляции. С одной стороны, условия проживания в предгорной зоне могут способствовать частичной адаптации к изменяющимся климатогеографическим факторам, с другой – эта адаптация выражена не так значительно, как у жителей среднегорья. Поэтому у данной группы умеренное напряжение регуляторных систем: показатели вегетативного баланса ближе к компенсированному состоянию, но при этом сохраняются признаки функционального напряжения автономной регуляции.

Анализ показателей функционального состояния после курса ИГТ выявил, что уровень сатурации кислорода в покое увеличился во всех исследованных группах студентов, при этом во II и III группах он был достоверно ($p<0,01$) выше по сравнению с I группой (97,69±0,91%, 97,68±0,93%, 97,33±0,92% соответственно). В то же время минимальные значения SpO_2 при гипоксической нагрузке в группе проживающих в условиях среднегорья оставались значимо ($p<0,001$) выше по сравнению со II и III группами студентов (92,14±2,16%, 89,24±2,50%, 89,38±2,50% соответственно), что свидетельствует о сохранении более высокой гипоксической устойчивости у студентов, проживающих в условиях среднегорья.

ЧСС после ИГТ во всех трех группах студентов снизилась, значимо ($p<0,001$) более низкие значения регистрировались в I группе (67,94±3,11 уд/мин) по сравнению со II и III группами (72,48±3,52 уд/мин, 72,69±3,50 уд/мин). Похожая тенденция наблюдалась для показателей САД и ДАД в I группе студентов.

Таблица 2

Изменение показателей после гипоксической тренировки

Показатель	I группа	II группа	III группа	P< (I-II)	P< (I-III)
SpO_2 покой, %	97,33±0,92	97,69±0,91	97,68±0,93	0,003	0,004
SpO_2 мин, %	92,14±2,16	89,24±2,50	89,38±2,50	0,001	0,001
ЧСС, уд/мин	67,94±3,11	72,48±3,52	72,69±3,50	0,001	0,001
САД, мм рт. ст.	113,91±4,06	117,64±3,93	117,77±3,88	0,001	0,001
ДАД, мм рт. ст.	69,45±3,24	72,55±3,70	72,62±3,60	0,001	0,001
SDNN, мс	57,75±6,39	54,11±5,87	54,07±5,82	0,001	0,001
RMSSD, мс	38,44±5,65	35,50±5,35	35,54±5,37	0,001	0,001

Примечание: SpO_2 покой – сатурация артериальной крови кислородом в покое; SpO_2 миним – минимальная сатурация артериальной крови кислородом; ЧСС – частота сердечных сокращений; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; SDNN – стандартное отклонение нормальных интервалов; RMSSD – квадратный корень из среднего квадрата разностей между соседними нормальными интервалами.

ВСР после ИГТ увеличилась во всех трех группах обследованных студентов. Максимальные значения (p<0,001) регистрировались в I группе студентов, проживающих в условиях среднегорья, SDNN у них составил 57,75±6,39 мс в отличие от студентов II и III групп (54,11±5,87 мс и 54,07±5,82 мс). У студентов, проживающих в условиях среднегорья, RMSSD был значимо выше (38,44±5,65 мс) в сравнении с лицами, проживающими в условиях низменности и предгорья (35,50±5,35 мс и 35,54±5,37 мс) (табл. 2).

После курса ИГТ во всех группах отмечается улучшение показателей газообмена и вегетативной регуляции, при этом наиболее благоприятный функциональный профиль сохраняется у студентов, адаптированных к условиям среднегорья.

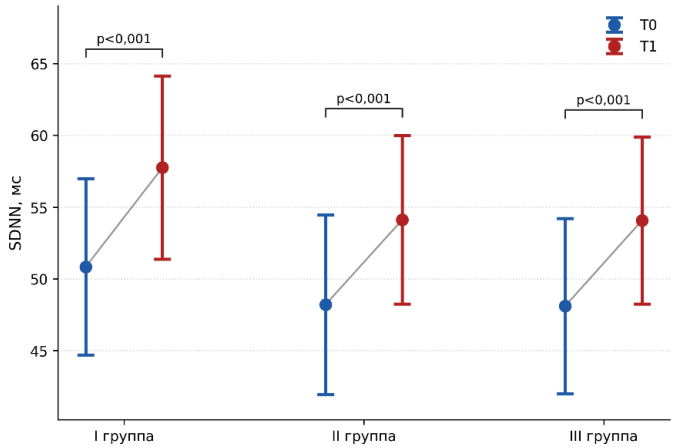


Рис. 1. Динамика показателя SDNN у студентов трех групп до (T0) и после (T1) ИГТ
Примечание: SDNN – стандартное отклонение нормальных интервалов; ИГТ – интервальная гипоксическая тренировка; p – уровень статистической значимости различий между T0 и T1; I группа – студенты, постоянно проживавшие в условиях среднегорья; II группа – студенты, проживающие в условиях равнинных районов; III группа – студенты, проживавшие в предгорной зоне.

Анализ динамики показателей ВСР выявил положительные изменения во всех группах после курса ИГТ. Установлено, что показатель SDNN увеличился во всех группах студентов, при этом наибольший прирост отмечен в I группе лиц, проживающих в условиях среднегорья (+6,92 мс), по сравнению со II и III группами студентов (+5,91 и +5,96 мс соответственно) (рис. 1).

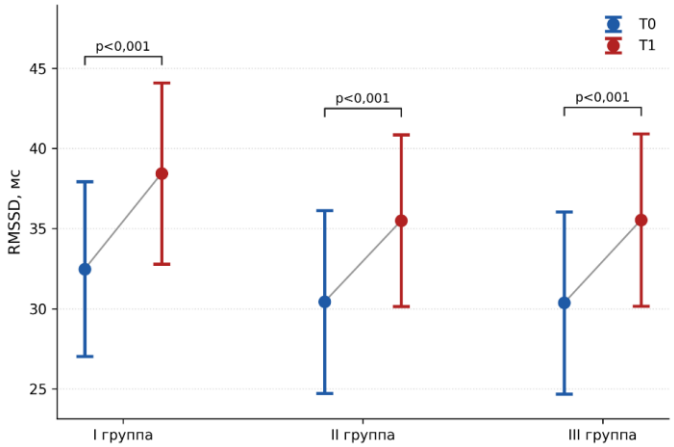


Рис. 2. Динамика показателя RMSSD у студентов трех групп до (T0) и после (T1) ИГТ
Примечание: RMSSD – квадратный корень из среднего квадрата разностей между соседними нормальными интервалами; ИГТ – интервальная гипоксическая тренировка; p – уровень статистической значимости различий между T0 и T1; I группа – студенты, постоянно проживавшие в условиях среднегорья; II группа – студенты, сформировавшиеся в условиях равнинных районов; III группа – студенты, проживавшие в предгорной зоне.

Похожая тенденция наблюдалась для показателя RMSSD; в I группе студентов рост составил +5,96 мс, во II и III группах прирост был менее выражен (+5,07 мс и +5,17 мс соответственно). Полученные данные свидетельствуют о более значительном усилении автономной регуляции у студентов, адаптированных к условиям среднегорья (рис. 2).

Отмечено снижение ЧСС во всех группах обследованных, наиболее выраженное в I группе студентов (-3,44 уд/мин), по сравнению со II (-2,00 уд/мин) и III группами (-1,79 уд/мин), что отражает формирование более экономичного режима функционирования сердечно-сосудистой системы (рис. 3).

Уровень SpO_2 в покое увеличился во всех группах обследованных студентов, наиболее выраженный рост наблюдался во II группе (+1,68%), тогда как в I и III группах прирост составил +0,87% и +1,29% соответственно. Минимальные значения SpO_2 при гипоксической нагрузке повысились во всех группах, однако максимальный прирост отмечен в I группе студентов (+4,10%; +3,09%; +3,06%). Наиболее выраженные изменения САД отмечены в I группе студентов (-3,26 мм рт. ст.), ДАД – во II группе обследованных (–1,93 мм рт. ст.).

ИГТ сопровождается улучшением автономной регуляции, повышением ВСР и оптимизацией сердечно-сосудистой функции во всех группах, при этом наиболее выраженные адаптационные изменения наблюдаются у лиц, проживающих в условиях среднегорья.

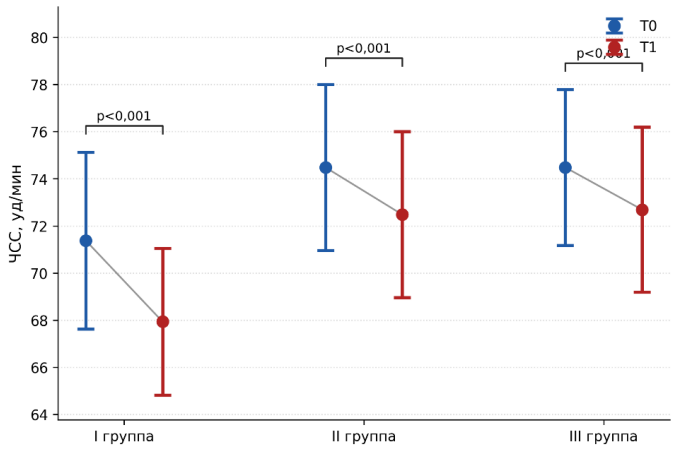


Рис. 3. Динамика ЧСС у студентов трех групп до (T0) и после (T1) ИГТ

Примечание: ЧСС – частота сердечных сокращений; ИГТ – интервальная гипоксическая тренировка; p – уровень статистической значимости различий между T0 и T1. I группа – студенты, постоянно проживавшие в условиях среднегорья, II группа – студенты, сформировавшиеся в условиях равнинных районов, III группа – студенты, проживавшие в предгорной зоне.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что проживание в условиях среднегорья сопровождается формированием устойчивого адаптационного фенотипа, характеризующегося более экономичным функционированием сердечно-сосудистой системы, большей устойчивостью к гипоксическому воздействию, которое проявляется увеличением SDNN и RMSSD, отражает усиление парасимпатического влияния и оптимизацию автономной регуляции. Полученные нами результаты согласуются с данными, опубликованными P. Chen, в работе которого показано, что гипоксическое воздействие вызывает значимые изменения ВСР и сопровождается перестройкой вегетативной регуляции организма [8]. Сходные тенденции описаны в исследованиях Y. Mao, который доказал, что гипоксия приводит к изменению симпатовагального баланса и снижению общей ВСР на ранних этапах воздействия ИГТ [9]. В то же время, по мере формирования адаптации происходит оптимизация регуляторных механизмов в связи с наличием специфических адаптационных

паттернов ВСР у лиц, длительно проживающих в условиях среднегорья [10]. Согласно классическим представлениям о роли вегетативной нервной системы в обеспечении адаптации к гипоксии, хроническое гипоксическое воздействие приводит к перестройке автономной регуляции и снижению функционального напряжения организма человека [11].

Высокие исходные значения SDNN и RMSSD у студентов I группы, проживающих в условиях среднегорья, свидетельствуют о более высоком уровне автономной регуляции, что может рассматриваться как маркер повышенного адаптационного потенциала. Снижение интегральных показателей у лиц, проживающих в среднегорной местности, отражает не дефицит функциональных резервов, а более экономичное функционирование регуляторных систем организма. Полученные данные следует учитывать при оценке функционального состояния организма, прогнозировании адаптационных возможностей и разработке индивидуализированных программ подготовки и реабилитации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке внутреннего гранта ФГБОУ ВО КБГУ им. Х.М. Бербекова, договор № 49, и программы развития «ПРИОРИТЕТ-2030».

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Financing. The study was conducted with the financial support of an internal grant from KBSU named after H.M. Berbekov (agreement no. 49) within the “Priority 2030” program.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Индивидуальная толерантность к гипоксии: индикаторы, прикладное значение и методы определения / А.А. Венерин, М.А. Запара, А.С. Михалищина [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. – 2025. – Т. 29. – № 1. – С. 57-72. DOI: 10.22363/2313-0245-2025-29-1-57-72.

2. Impact of high-altitude hypoxia on bone defect repair: a review of molecular mechanisms and therapeutic implications / P. Chen, Y. Liu, W. Liu, [et al.] // Frontiers in Medicine. – 2022. – Vol. 9. – P. 842800. DOI: 10.3389/fmed.2022.842800.

3. Зенько, М.Ю. Перекрестная адаптация: от Ф.З. Меерсона до наших дней. Часть 2. механизмы перекрестной адаптации / М.Ю. Зенько, Е.А. Рыбникова // Успехи физиологических наук. – 2022. – Т. 53. – № 4. – С. 62-70. DOI: 10.31857/S0301179822040087.

4. Role of HIF-1α-activated IL-22/IL-22R1/Bmi1 signaling modulates the self-renewal of cardiac stem cells in acute myocardial ischemia / W. Lee, S.L. Lin, C.S. Chiang [et al.] // Stem Cell Reviews and Reports. – 2024. – Vol. 20. – P. 2194-2214. DOI: 10.1007/s12015-024-10774-8.

5. Возможности интервальной гипоксии в терапии пациентов, страдающих хронической обструктивной болезнью легких / Е.С. Булка, В.В. Салухов, Д.В. Ковлен [и др.] // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2023. – Т. 25. – № 3. – С. 455-462. DOI: 10.17816/brmma472101.

6. Скорук, Н.В. Интервальная гипоксия как средство профилактики сердечно-сосудистых заболеваний у людей / Н.В. Скорук, Е.О. Родионов // Фармакоэкономика: теория и практика. – 2023. – Т. 11. – № 2. – С. 49. DOI: 10.30809/phe.2.2023.30.

7. Hypercapnic hypoxia as a rehabilitation method for patients after ischemic stroke / T.M. Alekseeva, M.P. Topuzova, V.P. Kulikov [et al.] // Neurological Research. – 2024. – Vol. 46. – P. 695-705. DOI: 10.1080/01616412.2024.2343510.

8. Hypoxia induces mitochondrial protein lactylation to limit oxidative phosphorylation / Y. Mao, J. Zhang, Q. Zhou [et al.] // Cell Research. – 2024. – Vol. 34. – P. 13-30. DOI: 10.1038/s41422-023-00864-6.

9. Влияние однократной интервальной гипоксической стимуляции на когнитивные функции здоровых добровольцев / А.С. Михалищина, Э.Д. Загайный, Я.В. Васина, О.С. Глазачев // Вестник психофизиологии. – 2023. – № 4. – С. 86-95. DOI: 10.34985/d2699-5404-1619-b.

10. Bae, T. Hypoxia, oxidative stress, and the interplay of HIFs and NRF2 signaling in cancer / T. Bae, S.P. Hallis, M.K. Kwak // Experimental & Molecular Medicine. – 2024. – Vol. 56. – P. 501-514. DOI: 10.1038/s12276-024-01180-8.

11. Hypoxia and brain aging: neurodegeneration or neuroprotection? / J. Burtscher, R.T. Mallet, M. Burtscher, G.P. Millet // Ageing Research Reviews. – 2021. – Vol. 68. – P. 101343. DOI: 10.1016/j.arr.2021.101343.

REFERENCES

1. Venerin A.A., Zapara M.A., Mikhalishchina A.S., Pupo Macharashvili D., Glazachev O.S. Individual tolerance to hypoxia: indicators, application and methods of determination. *RUDN Journal of Medicine*, 2025, vol. 29, no. 1, pp. 57-72. DOI: 10.22363/2313-0245-2025-29-1-57-72. (in Russ.)

2. Chen P., Liu Y., Liu W. et al. Impact of high-altitude hypoxia on bone defect repair: a review of molecular mechanisms and therapeutic implications. *Frontiers in Medicine*, 2022, vol. 9, p. 842800. DOI: 10.3389/fmed.2022.842800.

3. Zenko M.Yu. et al. Cross-Adaptation: From F.Z. Meerson to the Modern State of the Problem. Part 2.

Mechanisms of Cross-Adaptation. *Progress in Physiological Science*, 2022, vol. 53, no. 4, pp. 4-23. DOI: 10.31857/S0301179822040087. (in Russ.)
4. Lee W., Lin S.L., Chiang C.S. et al. Role of HIF-1α-activated IL-22/IL-22R1/Bmi1 signaling modulates the self-renewal of cardiac stem cells in acute myocardial ischemia. *Stem Cell Reviews and Reports*, 2024, vol. 20, pp. 2194-2214. DOI: 10.1007/s12015-024-10774-8.
5. Bulka E.S., Salukhov V.V., Kovlen D.V. et al. Possibilities of interval hypoxia in the treatment of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2023, vol. 25, no. 3, pp. 455-462. DOI: 10.17816/brmma472101. (in Russ.)
6. Skoruk N.V., Rodionov E.O. Intermittent hypoxia as a preventive measure against cardiovascular disease in humans. Pharmacoeconomics: theory and practice, 2023, vol. 11, no. 2, p. 49. DOI: 10.30809/phe.2.2023.30. (in Russ.)
7. Alekseeva T.M., Topuzova M.P., Kulikov V.P. et al. Hypercapnic hypoxia as a rehabilitation method for patients after ischemic stroke. *Neurological Research*, 2024, vol. 46, pp. 695-705. DOI: 10.1080/01616412.2024.2343510.
8. Mao Y., Zhang J., Zhou Q. et al. Hypoxia induces mitochondrial protein lactylation to limit oxidative phosphorylation. *Cell Research*, 2024, vol. 34, pp. 13-30. DOI: 10.1038/s41422-023-00864-6.
9. Mikhalishchina A.S., Zagayniy E.D., Vasina Y.V., Glazachev O.S. Effect of single interval hypoxic stimulation on cognitive functions of healthy volunteers. *Psychophysiology News*, 2023, no. 4, pp. 86-95. DOI: 10.34985/d2699-5404-1619-b. (in Russ.)
10. Bae T., Hallis S.P., Kwak M.K. Hypoxia, oxidative stress, and the interplay of HIFs and NRF2 signaling in cancer. *Experimental & Molecular Medicine*, 2024, vol. 56, pp. 501-514. DOI: 10.1038/s12276-024-01180-8.
11. Burtscher J., Mallet R.T., Burtscher M., Millet G.P. Hypoxia and brain aging: neurodegeneration or neuroprotection? *Ageing Research Reviews,* 2021, vol. 68, pp. 101343. DOI: 10.1016/j.arr.2021.101343.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Асият Гисаевна Шокуева – старший преподаватель кафедры нормальной и патологической физиологии человека Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: schokueva@yandex.ru.
Ирина Хасанбиевна Борукаева – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой нормальной и патологической физиологии человека Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: irborukaeva@yandex.ru.
Татьяна Борисовна Кипкеева – старший преподаватель кафедры нормальной и патологической физиологии человека Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: kipkeevatatyana70@mail.ru.
Фатима Валерьевна Шаваева – кандидат биологических наук, доцент кафедры нормальной и патологической физиологии человека Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: shavaevafv@mail.ru.
Лейла Казымовна Шерхова – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, геоэкологии и молекулярно-генетических основ живых систем Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: sherhova_l@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Asiyat G. Shokueva – Senior Lecturer of the Department of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: schokueva@yandex.ru.
Irina Kh. Borukaeva – Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: irborukaeva@yandex.ru.
Tatyana B. Kipkeeva – Senior Lecturer of the Department of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: kipkeevatatyana70@mail.ru.
Fatima V. Shavaeva – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: shavaevafv@mail.ru.
Leila K. Sherkhova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biology, Geoecology and Molecular-Genetic Foundations of Living Systems of the Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: sherhova_l@mail.ru.

Для цитирования: Сравнительная характеристика адаптационных изменений вегетативной нервной системы при интервальной гипоксической тренировке у лиц, проживающих в различных климатогеографических условиях / А.Г. Шокуева, И.Х. Борукаева, Т.Б. Кипкеева [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_21

For citation: Shokueva A.G., Borukaeva I.Kh., Kipkeeva T.B., Shavaeva F.V., Sherkhova L.K. Comparative characteristics of adaptive changes in the autonomic nervous system during interval hypoxic training in individuals living in different climatic and geographical conditions. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_21

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_22
УДК 159.91; 618.177-089.888.11; 612.821

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_22
UDC 159.91; 618.177-089.888.11; 612.821

ПСИХОЛОГО-ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДИКТОРЫ КОЛИЧЕСТВА ЦИКЛОВ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОГО ОПЛОДОТВОРЕНИЯ У ЖЕНЩИН

Д.В. Ясная, Л.А. Проскурякова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. ***Введение.*** В статье представлены результаты эмпирического исследования, направленного на установление психолого-психофизиологических предикторов количества циклов экстракорпорального оплодотворения у женщин. ***Методы.*** Проведено кросс-секционное исследование 120 женщин, применялись психологические (опросники) и психофизиологические (анализ электроэнцефалограммы, инструментальная диагностика исполнительных функций) методы. ***Результаты.*** Были выявлены предикторы количества циклов: диффузная асинхронная бета-активность (Exp(B)=6,6, p=0,03), частота (Exp(B)=2,04, p=0,006) и амплитуда альфа-ритма (Exp(B)=1,03, p=0,002), психоэмоциональный дистресс (Exp(B)=1,34, p=0,049), пропуски в серии «go/no-go» (Exp(B)=1,47, p=0,03), возраст (Exp(B)=1,16, p=0,001). ***Заключение.*** Комплексный подход позволяет прогнозировать траекторию лечения и разрабатывать персонализированные программы сопровождения.
Ключевые слова: бесплодие, экстракорпоральное оплодотворение, электроэнцефалография, исполнительные функции, стресс.

PSYCHOLOGICAL AND PSYCHOPHYSIOLOGICAL PREDICTORS OF THE NUMBER OF IN VITRO FERTILIZATION CYCLES IN WOMEN

D.V. Yasnaya, L.A. Proskuryakova
Kemerovo State University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** This article presents results of empirical research aimed at identifying psychological and psychophysiological predictors of the number of *in vitro* fertilization cycles in women. ***Methods.*** A cross-sectional study of 120 women was conducted using psychological (questionnaires) and psychophysiological (electroencephalogram analysis, imaging diagnostics of executive functions) methods. ***Results.*** Predictors of the number of cycles were identified: diffuse asynchronous beta activity (Exp(B)=6.6, p=0.03), alpha rhythm frequency (Exp(B)=2.04, p=0.006) and amplitude (Exp(B)=1.03, p=0.002), psychoemotional distress (Exp(B)=1.34, p=0.049), go/no-go misses (Exp(B)=1.47, p=0.03), and age (Exp(B)=1.16, p=0.001). ***Conclusion.*** The integrated psycho-psychophysiological approach enables prediction of treatment trajectory and development of personalized support programs.
Keywords: infertility, *in vitro* fertilization, electroencephalography, executive functions, stress.

Введение. Среди современных вызовов в области репродуктивного здоровья по-прежнему лидирующие позиции сохраняет проблема бесплодия. В среднем 15-20% супружеских пар во всем мире сталкиваются с этой трудностью и находятся в поиске эффективных решений [1]. Благодаря достижениям медицины в развитии и повышении доступности вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ), в частности экстракорпорального оплодотворения (ЭКО), многие пары обрели возможность стать родителями, в том числе и в случаях тяжелых форм нарушений [2]. Однако, применение ЭКО часто требует от пациентов готовности к нескольким попыткам для достижения желаемого результата. Исследования в этой области отмечают, что значительная часть женщин нуждается в 2-3 протоколах процедуры, а в некоторых случаях – в большем количестве циклов лечения [2, 3]. Научное внимание к женщинам в условиях применения ВРТ неслучайно. Именно они подвергаются гормональной стимуляции, инвазивным процедурам и большим физиологическим

рискам. По сравнению с мужчинами у женщин в процессе лечения диагностируется более высокий уровень тревоги и депрессии, а также отмечается их большая эмоциональная вовлеченность в переосмысление случившегося опыта и переживание ответственности за результат [4-6]. Все это в совокупности делает женщин более уязвимыми к накоплению эмоционального и физического напряжения. А необходимость нескольких попыток ЭКО провоцирует возникновение неблагоприятных психоэмоциональных состояний и снижает приверженность к лечению в целом. Неудачные попытки в процессе применения ВРТ усиливают переживания тревоги, депрессии, стыда, чувства безнадежности и утраты контроля над происходящим [6-8]. Женщины с повторными протоколами ЭКО отмечают признаки эмоционального истощения и снижения общего качества жизни, выражают сомнения в целесообразности продолжения лечения [4, 5].

В свою очередь, психоэмоциональное состояние пациенток, по данным научных исследований, является значимым фактором, связанным с эффективностью применения ВРТ. Психологический дистресс (высокие показатели стресса, депрессии и тревожности) статистически значимо коррелирует с ненаступлением клинической беременности после ЭКО в большом количестве исследований и систематических обзоров [1, 6, 9-11]. Таким образом, количество попыток лечения методом ЭКО, определяющих кумулятивную вероятность наступления беременности, вместе с этим являются и фактором, влияющим на субъективное состояние и мотивацию пациенток, а также и на результативность ЭКО в принципе.

Некоторые авторы подчеркивают роль хронического психологического стресса в возникновении и развитии эндокринных нарушений, нейроэндокринных и гормональных изменений, отмечая его проявление в перманентной активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси (ГГН-ось) и симпатической нервной системы, что, в свою очередь, оказывает влияние на репродуктивную функцию [12-14]. Эти положения актуализируют проведение исследований в ответ на необходимость дополнить клиническую перспективу не только психологическими измерениями, но и данными психофизиологических методик. Психологические исследования в данной области в основном опираются на опросники-самоотчеты, имеющие ряд ограничений: зависимость от рефлексивных способностей и готовности к самораскрытию, влияние социальной желательности, культурных норм и установок относительно материнства и «правильного» поведения в ситуации бесплодия. Кроме того, опросники отражают преимущественно декларативный, осознаваемый уровень переживаний и не дают непосредственного представления о состоянии регуляторных систем мозга, которые обеспечивают адаптацию к хроническому стрессу. Недостаточная представленность комплексных психолого-психофизиологических работ в современной науке определяет новизну настоящего исследования. В качестве психофизиологических методов, позволяющих получать данные о функциональном состоянии нервной системы в условиях эмоционального напряжения и принятия значимых решений, могут выступать электроэнцефалография (ЭЭГ), а также методики исследования состояния исполнительных функций. Проявления асинхронной бета-активности при анализе ЭЭГ ассоциируются с проявлением паттернов функционального напряжения, связанного с нарастанием коркового возбуждения и дефицитом избирательного торможения [15, 16], а хроническое эмоциональное напряжение сопровождается снижением эффективности рабочей памяти и изменениями параметров тормозного контроля [17-21]. В контексте ЭКО оценка данных параметров у пациенток с повторными циклами может отражать накопление физиологического истощения и напряжение регуляторных систем, не всегда проявляющееся в субъективных жалобах. В свете всего вышеизложенного, целью исследования было установление психологических и психофизиологических предикторов количества циклов экстракорпорального оплодотворения у женщин.

Методы и организация исследования. Проведено кросс-секционное исследование с участием 120 женщин, проходящих

лечение бесплодия методом ЭКО. Выборку исследования составили женщины, которые проходили лечение у врача-репродуктолога медицинской клиники семейного здоровья, являлись жительницами Кемеровской области – Кузбасса более 3-х лет, их средний возраст составил 34,45±4,25 года. Получено информированное согласие каждой женщины, подтверждающее их добровольное согласие на участие в исследовании. Итоговая выборка включала:

1) женщин с отсутствием предыдущих попыток ЭКО (n=69);

2) женщин с повторными попытками ЭКО (n=51).

Исследование проводилось до начала цикла ЭКО, все измерения осуществлялись в первой половине дня. Сбор данных проводился одномоментно.

Все исследуемые заполнили анкету, направленную на получение социально-демографических и клинико-анамнестических данных. Психофизиологическая оценка проводилась с применением ЭЭГ: применялась система ATES Diagnostic (Италия) по международной системе «10-20» (монополярный монтаж, референтный электрод Cz). Проводилась регистрация фоновой ЭЭГ (3 минуты, глаза закрыты), которая включала пробы с открыванием глаз, фотостимуляцией и гипервентиляцией. Наличие низкоамплитудной дизритмии с преобладанием десинхронизированной бета-активности интерпретировалось как показатель стрессового напряжения, отражающий преобладание восходящих активирующих влияний над тормозящими. Также применялись психофизиологические методики оценки тормозного контроля – парадигмы «go/go» и «go/no-go» [21]. В первой серии исследуемые отвечали нажатием кнопки на клавиатуре компьютера при появлении любого стимула на экране, во второй серии инструкция содержала условие не реагировать на определенные стимулы, на которые уже была выработана реакция в первом случае [20]. Методика оценки рабочей памяти (РП) содержала в себе три серии предъявления одного и того же набора стимулов в разной последовательности. Испытуемым было предложено выбирать из представляемых на экране стимулов те, что не были ранее выбраны в текущей серии, в случае ошибки начиналась следующая серия. Анализировалось количество правильно запомненных стимулов, а также механизмы работы РП.

Психологическая оценка проводилась с помощью методики «Шкала психологического стресса» (Psychological Stress Measure, PSM-25) в адаптации Н.Е. Водопьяновой, анализировался общий показатель психологического стресса; опросника «Тревожность и депрессия» К.К. Яхина, Д.М. Менделевича, результаты которого анализировались в соответствии с уровнями здоровья, неустойчивой адаптации и расстройства; опросника «Репродуктивные мотивы» И.С. Морозовой, К.Н. Белогай, Ю.В. Борисенко, Т.О. Отт, по итогам применения которого анализировалась степень выраженности 10 мотивов (конструктивных и деструктивных), выступающих причинами обзавестись детьми, а также приоритетные причины отказа от рождения ребенка.

Обработка первичных данных и статистическая обработка производились с помощью программных пакетов Microsoft Excel и SPSS Statistics 22.0.0. Был применен критерий Колмогорова-Смирнова для проверки нормальности распределения количественных данных. Описание проводилось с использованием медианы (Me) и квартилей (Q1; Q3), качественные признаки описывались с помощью абсолютных и относительных (в %) частот. Для сравнения выборок по количественным признакам применялся U-критерий Манна-Уитни, для сравнения данных, представленных в номинальных шкалах, применялся критерий χ^2 Пирсона. Для снижения размерности данных применялся факторный анализ (метод главных компонент), для идентификации предикторов количества циклов ЭКО использовался регрессионный анализ (отрицательная биноминальная регрессия). Статистически значимыми считались результаты при $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Проведенный качественный анализ позволил выявить, что для группы с первым циклом ЭКО характерно отсутствие предыдущих попыток, психических расстройств и расстройств поведения. В группе с повторным циклом ЭКО медиана количества предыдущих попыток составила 1 [1; 2], в

этой группе также отсутствуют психические расстройства и расстройства поведения. Не было выявлено различий между группами по характеру (p=0,86) и длительности бесплодия (p=0,056), индексу массы тела (ИМТ) (p=0,15), количеству потерь беременности (p=0,89) и абортов (p=0,58), наличию сопутствующих заболеваний: поликистоз яичников (p=0,08), миома (p=0,59), хронический аднексит (p=0,77), эндометрит (p=0,77), аденомиоз (p=0,08), гипотиреоз (p=0,28). Были выявлены статистически достоверные различия в возрасте – у женщин с повторным протоколом ЭКО он выше (p=0,01), а также в наличии диагноза «Снижение овариального резерва» – у женщин с повторным протоколом ЭКО он встречается чаще (p=0,03).

Для снижения размерности исходного набора данных, состоящего из 46 наблюдаемых переменных, и выявления лежащих в их основе латентных конструктов был применен исследовательский факторный анализ. Перед проведением анализа была оценена пригодность данных для факторного анализа, с помощью матрицы корреляции антиобразов (MSA) из итоговой модели были исключены переменные с низким MSA (<0,50). Статистика Кайзера-Мейера-Олкина (KMO) составила 0,784, что соответствует категории «хорошей» пригодности. Результаты теста сферичности Бартлетта оказались статистически значимыми (χ^2=1662,340, df=276, p<0,001), что подтверждает наличие значимых корреляций между переменными и пригодность данных для применения факторного анализа. Для извлечения факторов использовался метод анализа главных компонент с последующим ортогональным вращением Варимакс для обеспечения независимости и максимальной интерпретируемости факторов. Определение оптимального количества факторов основывалось на критерии Кайзера (собственные значения >1). На основании данных критериев было принято решение об извлечении 6 факторов.

Итоговая шестифакторная модель объяснила 68,9% общей дисперсии в данных. Первый фактор объяснил 18,1% дисперсии, второй фактор – 14,2%, третий – 13,3%, четвертый – 10,8%, пятый – 6,9%, шестой – 5,6%. Переменные, входящие в состав полученных факторов, отражены в таблице 1.

Таблица 1

Матрица факторных нагрузок

Переменные		Факторы					
		1	2	3	4	5	6
Мотивы беременности	Ради ребенка		0,821				
	От любимого человека		0,834				
	Соответствие ожиданиям семьи	0,498	0,638				
	Соответствие социальным ожиданиям	0,766					
	Протест	0,868					
	Сохранение отношений	0,483	0,703				
	Уход от настоящего	0,654	0,541				
	Получение мат.выгоды	0,812					
	Воплощение своих нереализованных стремлений через ребенка	0,651	0,614				
	Сохранение собственного здоровья	0,742					
Мотивы отказа от берем-ти	Материальные затруднения			0,849			
	Отношения с партнером			0,729			
	Ощущение ограничения свободы			0,786			
	Озабоченность здоровьем			0,826			
	Озабоченность внешностью	0,498		0,585			
	Психологический стресс				0,911		
	Тревожность				-0,912		
	Депрессия				-0,837		
	Число воспроизведенных элементов в 3-ей серии теста РП					0,796	
	Механизм РП					-0,751	
	Среднее время реакции в серии go/go					0,404	
	Пропуски в серии go/no-go						0,766

Далее нами был проведен регрессионный анализ, в который были включены новые переменные, образованные в результате применения метода главных компонент, а также остальные переменные, которые были исключены из факторной модели ввиду их низкого значения MSA. Итоговая модель отрицательной биноминальной регрессии продемонстрировала хорошую пригодность к данным. Показатели качества подгонки, такие как отношение отклонения к степеням свободы (Deviance/df=0,656) и отношение χ^2 к степеням свободы (χ^2/df=0,905), находились в пределах допустимых значений, указывая на адекватное описание наблюдаемой дисперсии. Общая значимость модели была подтверждена тестом правдоподобия (χ^2=51,11, df=6, p<0,001), что свидетельствует о том, что включенные предикторы в совокупности статистически значимо объясняют вариативность в количестве попыток ЭКО. В финальную модель вошли следующие переменные, показавшие статистически значимую связь с количеством попыток ЭКО (табл. 2).

Таблица 2

Оценки параметров отрицательной биномиальной регрессии для количества попыток ЭКО

Параметр	B	MSE(B)	Exp(B)	P<
Свободный член (константа – оценка логарифма ожидаемого среднего числа событий)	-16,1	3,82	1,023	0,000
Ирритативные изменения (диффузная асинхронная бета-активность) = 1[1]	1,89	0,89	6,6	0,03
Амплитуда альфа-ритма	0,03	0,008	1,03	0,002
Частота альфа-ритма	0,71	0,26	2,04	0,006
FAC 4 (психоэмоциональный дистресс)	0,29	0,15	1,34	0,049
FAC 6 (пропуски в серии «go/no-go»)	0,39	0,17	1,47	0,03
Возраст	0,15	0,04	1,16	0,001

Примечание: B – зависимая переменная – количество попыток ЭКО, тип модели – отрицательная биномиальная регрессия; MSE – среднеквадратическая ошибка; Exp – экспонента; [1] – для переменной «Ирритативные изменения (диффузная асинхронная бета-активность) референсной является категория «0».

Длительность бесплодия, ИМТ, характер бесплодия, потери беременности, аборты, сопутствующие заболевания, среднее время реакции и стандартное отклонение времени реакции в сериях go/go и go/no-go, пропуски в серии go/go, ошибки в серии go/no-go, а также факторы FAC 1-3 и FAC 5 не были статистически значимы в данной модели.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что значимыми предикторами количества попыток ЭКО у женщин выступают как психологические, так и психофизиологические параметры. Так, наиболее значимым предиктором, предсказывающим большее количество циклов, является наличие ирритативных изменений (диффузной асинхронной бета-активности) при анализе ЭЭГ (Exp(B)=6,6, p=0,03). Имеющаяся связь отражает, что более продолжительное лечение сопряжено с нарастанием стрессового напряжения, что проявляется в преобладании коркового возбуждения и дефиците избирательного торможения [15, 16]. Другими значимыми предикторами в полученной модели стали также частота (Exp(B)=2,04, p=0,006) и амплитуда альфа-ритма (Exp(B)=1,03, p=0,002). Такие характеристики альфа-ритма позволяют заключить, что большее количество попыток ассоциируется с относительно спокойным состоянием и высокой потенциальной скоростью обработки информации. При этом, в сочетании с имеющимися в модели параметрами наличия ирритативных изменений и пропусков в серии go/no-go (Exp(B)=1,47, p=0,03), также предсказывающих большее количество попыток, полученные данные могут свидетельствовать о наличии компенсаторных механизмов – стремлении поддерживать состояние покоя или сосредоточенности вопреки внутреннему напряжению.

В свою очередь, показатель пропусков в серии заданий «go/no-go» подчеркивает важность функции тормозного контроля и

избирательного внимания. Увеличение количества пропусков коррелирует с большим количеством попыток ЭКО. Следовательно, для повторных циклов свойственно снижение устойчивости внимания и эффективности контроля реакций. Полученные данные позволяют предположить два варианта поведенческой активности:

1) проявляется чрезмерная настойчивость при продолжении попыток, несмотря на снижение критичности к оценке собственных ресурсов;

2) импульсивные решения прекратить лечение под влиянием эмоциональных факторов.

Фактор «Психоэмоциональный дистресс», отражающий совокупность проявлений тревоги, депрессии и стресса, также является значимым предиктором, предсказывающим увеличение количества попыток ЭКО у женщин. Это согласуется с данными исследований, отмечающих, что при повторных неудачах ЭКО у женщин формируется устойчивый комплекс переживаний, который влияет как на субъективное качество жизни, так и на решения о продолжении или прекращении лечения [4-8]. Этот предиктор отражает двойственную связь: с одной стороны, более высокий уровень психоэмоционального дистресса связан с большей готовностью «идти до конца» несмотря на неудачи в лечении, с другой – с накоплением внутреннего напряжения, проявляющегося в неблагоприятных эмоциональных симптомах.

Возраст также оказался значимым предиктором, положительно коррелирующим с увеличением числа попыток ЭКО. Это, вероятно, отражает естественное снижение фертильности с возрастом и, следовательно, более высокую вероятность необходимости многократных циклов для достижения беременности, что также согласуется с данными исследований [22, 23].

В целом результаты исследования подчеркивают необходимость комплексного психолого-психофизиологического подхода к оценке и сопровождению женщин, проходящих лечение бесплодия методом ЭКО, для раннего выявления риска множественных попыток, своевременной психокоррекции и повышения приверженности лечению. Таким образом, результаты эмпирически подтверждают гипотезу и обогащают имеющиеся в науке данные: если большинство существующих работ фокусируется на психологических предикторах, то настоящее исследование демонстрирует комплексную психолого-психофизиологическую модель предикторов количества попыток ЭКО.

Заключение. Проведенное эмпирическое исследование позволило установить психологические и психофизиологические предикторы количества циклов экстракорпорального оплодотворения у женщин: большее количество циклов ЭКО статистически значимо предсказывают наличие диффузной асинхронной бета-активности (по результатам ЭЭГ), повышение амплитуды и частоты α-ритма, повышенный психоэмоциональный дистресс, пропуски в серии «go/no-go» (тормозный контроль) и увеличение возраста. Научная новизна исследования заключается в разработке комплексной психолого-психофизиологической модели количества попыток ЭКО, практическая значимость которой состоит в возможности использования выявленных предикторов, как основы дифференцированных программ психолого-психофизиологического сопровождения женщин в программах ЭКО, оптимизируя продолжительность лечения. Перспективы дальнейших исследований видятся в расширении возможностей применения психофизиологических методик на разных этапах протокола ЭКО, а также получаемых с их помощью данных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The effect of stress, anxiety and depression on in vitro fertilization outcome in Kazakhstani public clinical setting: a cross-sectional study / G. Bapayeva, G. Aimagambetova, A. Issanov [et al.] // Journal of Clinical Medicine. – 2021. – Vol. 10. – No. 5. DOI: 10.3390/jcm10050937.

2. The predicted probability of live birth in In Vitro Fertilization varies during important stages throughout the treatment: analysis of 114,882 first cycles / A. La Marca, M. Capuzzo, V. Donno [et al.] // Journal of Gynecology Obstetrics and Human Reproduction. – 2021. – Vol. 50. – No. 3. – P. 101878. DOI: 10.1016/j.jogoh.2020.101878.
3. Clinical Predictors of Successful Pregnancy After In Vitro Fertilization (IVF): A Comprehensive Systematic Review of Evidence / E.L. Mohamed Salih, A. Farah, H.M. Saeed Mohammed [et al.] // Cureus. – 2026. – No. 18. DOI: 10.7759/cureus.100734.
4. 'Your hopes can run away with your realistic expectations': a qualitative study of women and men's decision-making when undergoing multiple cycles of IVF / T. Copp, D. Kvesic , D. Lieberman [et al.] // Human Reproduction Open. – 2020. – Vol. 2020. – No. 4. – P. hoaa059. DOI: 10.1093/hropen/hoaa059.
5. The complex relationship between infertility and psychological distress (Review) / G. Simionescu, B. Doroftei, R. Maftei [et al.] // Experimental and Therapeutic Medicine. – 2021. – Vol. 21. – No. 4. – P. 306. DOI: 10.3892/etm.2021.9737.
6. The psychological impact of In Vitro Fertilization (IVF): a gender systematic review / M. Grammenou, V. Michou, A. Itziou [et al.] // Healthcare. – 2026. – Vol. 14. – No. 3. – P. 375. DOI: 10.3390/healthcare14030375.
7. Stress and Anxiety Scores in First and Repeat IVF Cycles: A Pilot Study / K. Turner, M.F. Reynolds-May, E.M. Zitek [et al.] // PLoS One. – 2013. – Vol. 8. – No. 5. – P. e63743. DOI: 10.1371/journal.pone.0063743.
8. Аникина, В.О. Эмоциональное состояние женщин, использующих вспомогательные репродуктивные технологии: обзор современных зарубежных исследований / В.О. Аникина, М.Е. Блох, С.С. Савенышева // Мир науки. Педагогика и психология. – 2020. – № 6. – С. 1-13.
9. The Association of Anxiety and Perceived Stress with In vitro Fertilization Outcomes in Infertile Women: A Cross-sectional Study / S. Abdoli, A.H. Gholami, S.Z. Masoumi [et al.] // Journal of human reproductive sciences. – 2025. – Vol. 18. – No. 1. – P. 1-8. DOI: 10.4103/jhrs.jhrs_168_24.
10. Effect of Stress on Each of the Stages of the IVF Procedure: A Systematic Review / A.T. Zanettoullis, G. Mastorakos, P. Vakas [et al.] // International journal of molecular sciences. – 2024. – Vol. 25. – No. 2. – P. 726. DOI: 10.3390/ijms25020726.
11. Ясная, Д.В. Психологические и психофизиологические факторы применения вспомогательных репродуктивных технологий в лечении инфертильности у женщин: систематический обзор / Д.В. Ясная // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Психология. – 2025. – Т. 54. – С. 90-102. DOI: 10.26516/2304-1226.2025.54.90.
12. Global research trends on infertility and psychology from the past two decades: a bibliometric and visualized study / H. Zhu, L. Shi, R. Wang [et al.] // Frontiers in Endocrinology. – 2022. – Vol. 13. DOI: 10.3389/fendo.2022.889845.
13. Lewinski, A. Female infertility as a result of stress-related hormonal changes / A. Lewinski, M. Brzozowska // Gynecological and Reproductive Endocrinology and Metabolism. – 2022. – Vol. 3. – P. 94-98. DOI: 10.53260/grem.22302035.
14. Филиппова, Г.Г. Стресс и нарушение репродуктивной функции / Г.Г. Филиппова // Антология российской психотерапии и психологии : материалы Международного конгресса Национальной саморегулируемой организации «Союз психотерапевтов и психологов», 15-18 ноября 2018 года / под ред. В.В Макарова, С.Ц. Камалова, А.Е. Булычева. – Москва. – 2018. – С. 69-72.
15. The neural correlates of psychosocial stress: A systematic review and meta-analysis of spectral analysis EEG studies / G. Vanhollebeke, S. De Smet, R. De Raedt [et al.] // Neurobiology of Stress. – 2022. – Vol. 18. – P. 100452. DOI: 10.1016/j.ynstr.2022.100452.
16. Лапин, И.А. ЭЭГ-маркеры депрессивных состояний / И.А. Лапин, М.В. Алфимова // Социальная и клиническая психиатрия. – 2014. – Т. 24. – № 4. – С. 81-89.
17. Электроэнцефалография : руководство / М.В. Александров, Л.Б. Иванов, С.А. Лытаев [и др.] / под ред. М.В. Александрова. – СПб: Изд-во «СпецЛит», 2019. – 200 с.
18. Величковский, Б.Б. Влияние рабочей памяти на эффективность саморегуляции поведения и копинга / Б.Б. Величковский // Психология стресса и совладающего поведения: ресурсы, здоровье, развитие: материалы IV Международной научной конференции, 22-24 сентября 2016 г.: в 2 т. / под ред. Т.Л. Крюкова, М.В. Сапоровская, С.А. Хазова. – Кострома: КГУ им. Н.А. Некрасова, 2016. – С. 25-27.
19. Hofman, W. Executive functions and self-regulation / W. Hofman, B.J. Schmeichel, A.D. Baddeley // Trends in Cognitive Science. – 2012. – Vol. 16. – P. 174-180. DOI: 10.1016/j.tics.2012.01.006.
20. Многомерный анализ показателей тормозного и автономного контроля при ортостазе и в эмоциональных ситуациях / С.Г. Кривощеков, Е.И. Николаева, Е.Г. Вергунов, А.Ю. Приходько // Физиология человека. – 2022. – № 48(1). – С. 26-37. DOI: 10.31857/S0131164621060059.
21. Разумникова, О.М. Онтогенез тормозного контроля когнитивных функций и поведения :

монография / О.М. Разумникова, Е.И. Николаева. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 159 с.
22. Retrospective cohort study on cumulative live birth rate of in vitro fertilization/intracytoplasmic sperm injection after multiple complete cycles in patients with diminished ovarian reserve / S. Xi, X. Yang, J. Shang, Q. Xue // BMC Pregnancy and Childbirth. – 2025. – Vol. 25(755). DOI: 10.1186/s12884-025-07839-y.
23. Cumulative live birth rates of 31 478 untested embryos from 11 463 women challenge traditional recurrent implantation failure definitions / L. Dhaenens, R. Colman, I. De Croo [et al.] // Human Reproduction. – 2025. – Vol. 40. – No. 5. – P. 818-833. DOI: 10.1093/humrep/deaf036.

REFERENCES

1. Bapayeva G., Aimagambetova G., Issanov A. et al. The effect of stress, anxiety and depression on in vitro fertilization outcome in Kazakhstani public clinical setting: a cross-sectional study. *Journal of Clinical Medicine*, 2021, vol. 10(5). DOI: 10.3390/jcm10050937.
2. La Marca A., Capuzzo M., Donno V. et al. The predicted probability of live birth in In Vitro Fertilization varies during important stages throughout the treatment: analysis of 114,882 first cycles. *Journal of Gynecology Obstetrics and Human Reproduction*, 2021, vol. 50(3), p. 101878. DOI: 10.1016/j.jogoh.2020.101878.
3. Mohamed Salih E.L., Farah A., Saeed Mohammed H.M. et al. Clinical Predictors of Successful Pregnancy After In Vitro Fertilization (IVF): A Comprehensive Systematic Review of Evidence. *Cureus*, 2026, vol. 18. DOI: 10.7759/cureus.100734.
4. Copp T., Kvesic D., Lieberman D. et al. 'Your hopes can run away with your realistic expectations': a qualitative study of women and men's decision-making when undergoing multiple cycles of IVF. *Human Reproduction Open*, 2020, vol. 2020(4), p. hoaa059. DOI: 10.1093/hropen/hoaa059.
5. Simionescu G., Doroftei B., Maftei R. et al. The complex relationship between infertility and psychological distress (Review). *Experimental and Therapeutic Medicine*, 2021, vol. 21, p. 306. DOI: 10.3892/etm.2021.9737.
6. Grammenou M., Michou V., Itziou A. et al. The psychological impact of In Vitro Fertilization (IVF): a gender systematic review. *Healthcare*, 2026, vol. 14(3), p. 375. DOI: 10.3390/healthcare14030375.
7. Turner K., Reynolds-May M.F., Zitek E.M. et al. Stress and Anxiety Scores in First and Repeat IVF Cycles: A Pilot Study. *PLoS One*. 2013, vol. 8. no. 5, p. e63743. DOI: 10.1371/journal.pone.0063743.
8. Anikina V.O., Blokh M.E., Savenysheva S.S. Emotional state of women using assisted reproductive technologies: a review of modern foreign studies. *World of Science. Pedagogy and Psychology*, 2020, no. 6, pp. 1-13. (in Russ.)
9. Abdoli S., Gholami A.H., Masoumi S.Z. et al. The Association of Anxiety and Perceived Stress with In Vitro Fertilization Outcomes in Infertile Women: A Cross-sectional Study. *Journal of Human Reproductive Sciences*, 2025, vol. 18, no. 1, pp. 1-8. DOI: 10.4103/jhrs.jhrs_168_24.
10. Zanettoullis A.T., Mastorakos G., Vakas P. et al. Effect of Stress on Each of the Stages of the IVF Procedure: A Systematic Review. *International journal of molecular sciences*, 2024, vol. 25, no. 2. DOI: 10.3390/ijms25020726.
11. Yasnaya D.V. Psychological and psychophysiological factors of the use of assisted reproductive technologies in the treatment of infertility in women: a systemic review. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Psychology*, 2025, vol. 54, pp. 90-102. DOI: 10.26516/2304-1226.2025.54.90. (in Russ.)
12. Zhu H., Shi L., Wang R. et al. Global research trends on infertility and psychology from the past two decades: a bibliometric and visualized study. *Frontiers in Endocrinology*, 2022, vol. 13. DOI: 10.3389/fendo.2022.889845.
13. Lewinski A., Brzozowska M. Female infertility as a result of stress-related hormonal changes. *Gynecological and Reproductive Endocrinology and Metabolism*, 2022, vol. 3, pp. 94-98. DOI: 10.53260/grem.22302035.
14. Filippova G.G. Stress and reproductive dysfunction. Anthology of Russian Psychotherapy and Psychology: Proceedings of the International Congress of the National Self-regulatory Organization "Union of Psychotherapists and Psychologists" (November 15-18, 2018). Makarov V.V, Kamalova S.Ts., Bulycheva A.E., ed. Moscow, 2018. pp. 69-72. (in Russ.)
15. Vanhollebeke G., De Smet S., De Raedt R. et al. The neural correlates of psychosocial stress: A systematic review and meta-analysis of spectral analysis EEG studies. *Neurobiology of Stress*, 2022, vol. 18, p. 100452. DOI: 10.1016/j.ynstr.2022.100452.
16. Lapin I.A., Alfimova M.V. EEG-markers for depressive conditions. *Sotsialnaya i klinicheskaya psikhiatria*, 2014, vol. 24, no. 4, pp. 81-89. (in Russ.)
17. Aleksandrov M.V. Electroencephalography: a guide. St. Petersburg, SpetsLit Publ, 2019, 200 p. (in Russ.)
18. Velichkovskiy B.B. Influence of working memory on the effectiveness of behavior self-regulation and coping. Psychology of stress and

coping behavior: resources, health, development: materials of the IV International Scientific Conference (September 22-24, 2016): in 2 vol. Kryukov T.L., Saporovskaya M.V., Khazova S.A., ed. Kostroma: KSU named after N.A. Nekrasov, 2016. pp. 25-27. (in Russ.)
19. Hofman W., Schmeichel B.J., Baddeley A.D. Executive functions and self-regulation. *Trends in Cognitive Science*, 2012, vol. 16, pp. 174-180. DOI: 10.1016/j.tics.2012.01.006.
20. Krivoshchekov S.G., Nikolaeva E.I., Vergunov E.G., Prihod'ko A.Yu. Multivariate analysis of indicators of inhibitory and autonomic control in orthostasis and emotional situations. *Human Physiology*, 2022, vol. 48, no. 1, pp. 26-37. DOI: 10.31857/S0131164621060059. (in Russ.)
21. Razumnikova O.M., Nikolaeva E.I. Ontogenesis of inhibitory control of cognitive functions and behavior: a monograph. Novosibirsk, NSTU Publ, 2021. 158 p. (in Russ.)
22. Xi S., Yang X., Shang J., Xue Q. Retrospective cohort study on cumulative live birth rate of in vitro fertilization/intracytoplasmic sperm injection after multiple complete cycles in patients with diminished ovarian reserve. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2025, vol. 25. DOI: 10.1186/s12884-025-07839-y.
23. Dhaenens L., Colman R., De Croo I. et al. Cumulative live birth rates of 31 478 untested embryos from 11 463 women challenge traditional recurrent implantation failure definitions. *Human Reproduction*, 2025, vol. 40, no. 5, pp. 818-833. DOI: 10.1093/humrep/deaf036.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Дарья Владимировна Ясная – старший преподаватель кафедры психологии и общей педагогики, Кемеровский государственный университет, Новокузнецк, e-mail: st1daria@ya.ru, ORCID: 0009-0004-0659-7183.
Лариса Александровна Проскурякова – доктор биологических наук, профессор кафедры психологии и общей педагогики, Кемеровский государственный университет, Новокузнецк, e-mail: al-lora@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9583-9161.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Daria V. Yasnaya – Senior Lecturer of the Department of Psychology and General Pedagogy, Kemerovo State University, Novokuznetsk, e-mail: st1daria@ya.ru, ORCID: 0009-0004-0659-7183.
Larisa A. Proskuryakova – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Psychology and General Pedagogy, Kemerovo State University, Novokuznetsk, e-mail: al-lora@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9583-9161.

Для цитирования: Ясная, Д.В. Психолого-психофизиологические предикторы количества циклов экстракорпорального оплодотворения у женщин / Д.В. Ясная, Л.А. Проскурякова // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_22

For citation: Yasnaya D.V., Proskuryakova L.A. Psychological and psychophysiological predictors of the number of in vitro fertilization cycles in women. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_22

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_23
УДК 615.83; 616.233-002.2

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_23
UDC 615.83; 616.233-002.2

ОТДАЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ САНАТОРНО-КУРОРТНОГО ЛЕЧЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ ОБСТРУКТИВНОЙ БОЛЕЗНЬЮ ЛЕГКИХ

И.А. Гришечкина[1], М.Ю. Яковлев[1,2]
[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия
[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Актуальным вопросом курортологии является определение оптимальных сроков санаторно-курортного лечения при хронической обструктивной болезни легких. ***Методы.*** В 2024-2025 гг. в Национальном медицинском исследовательском центре реабилитации и курортологии проведено проспективное рандомизированное клиническое исследование с участием 81 пациента с хронической обструктивной болезнью легких, период наблюдения – 10-12 месяцев. В зависимости от срока санаторно-курортного лечения (7, 14, 18 и 21 день) пациенты были разделены на 4 группы. Собирались отдаленные результаты санаторно-курортного лечения: число госпитализаций, частота вызовов бригад скорой помощи и обращений к пульмонологу или терапевту в связи с обострением болезни. ***Результаты.*** При сроках санаторно-курортного лечения 18 и 21 день в течение последующего года происходит снижение числа обострений, а при сроках санаторно-курортного лечения 14, 18 и 21 день – снижение числа госпитализаций в связи с обострением сопутствующих заболеваний, вызовов бригад скорой помощи и числа амбулаторных обращений в связи с обострением болезни ($p<0,05$ по критерию χ^2 Пирсона). ***Заключение.*** Сроки санаторно-курортного лечения 14, 18 и 21 день улучшают отдаленные результаты лечения хронической обструктивной болезни легких.
Ключевые слова: хроническая обструктивная болезнь легких, проспективное исследование, результаты лечения, госпитализация.

LONG-TERM OUTCOMES OF SPA TREATMENT OF VARIOUS DURATION FOR PATIENTS WITH CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE

I.A. Grishechkina[1], M.Yu. Yakovlev[1,2]
[1]National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia
[2]I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Abstract. ***Introduction.*** A pressing issue in balneology is determining the optimal duration of spa treatment for chronic obstructive pulmonary disease. ***Methods.*** In 2024–2025, a prospective, randomized clinical trial was conducted at the National Medical Research Center of Rehabilitation of Balneology. The trial included 81 patients with chronic obstructive pulmonary disease, and an observation period of 10-12 months. Depending on spa treatment the duration (7, 14, 18, and 21 days), patients were divided into 4 groups. Long-term outcomes of the study were collected, including the number of hospitalizations, frequency of ambulance calls, and visits to a pulmonologist or general practitioner due to disease exacerbations. ***Results.*** In case of 18- and 21-day spa treatment, the number of exacerbations decreases over the following year. In case of 14-, 18-, and 21-day spa treatment, the number of hospitalizations due to exacerbations of comorbidities, ambulance calls, and outpatient visits due to disease exacerbations decreases ($p<0.05$ according to the Pearson test). ***Conclusions.*** Spa treatment periods of 14, 18 and 21 days improve long-term results of chronic obstructive pulmonary disease treatment.
Keywords: chronic obstructive pulmonary disease, prospective study, treatment outcomes, hospitalization.

Введение. Согласно последнему отчету глобальной инициативы по хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) 2026 года [1], ХОБЛ является одной из основных причин смертности во всем мире. В Российской Федерации по данным популяционного эпидемиологического исследования, проведенного в рамках программы Глобального альянса по борьбе с хроническими респираторными заболеваниями, распространенность ХОБЛ в общей популяции составила 15,3% [2]. Показатель смертности от ХОБЛ в РФ в 2021 году составил более 30 на 100 тыс. населения для мужчин и около 20 на 100 тыс. для женщин. В РФ в 2021 году показатель, дающий представление о потерянных из-за связанной с ХОБЛ инвалидности годах жизни, составил около 800 на 100 тыс. населения для мужчин и около 250 на 100 тыс. населения для женщин [3].

Нужно отметить, что ХОБЛ хорошо поддается лечению и профилактике в том случае, если они начаты на ранних стадиях заболевания [1]. Это обуславливает поиск дальнейших путей совершенствования методов профилактики и лечения ХОБЛ, а также разработку новых моделей организации медицинской помощи, в том числе на санаторно-курортном этапе лечения, на который направляются пациенты с ранними стадиями заболевания [4].

В настоящее время одним из актуальных вопросов восстановительного лечения пациентов с ХОБЛ является вопрос об оптимальной продолжительности санаторно-курортного лечения (СКЛ), подтвержденного клинической эффективностью, в том числе и в отдаленной перспективе [5, 6].

Цель исследования – оценить отдаленные результаты СКЛ различной продолжительности (7, 14, 18 и 21 день) у пациентов с ХОБЛ.

Методы и организация исследования. Данная работа является частью открытого многоцентрового проспективного рандомизированого клинического исследования, выполненного в рамках государственного задания № 124081000006-8 «Научное обоснование оптимальных сроков санаторно-курортного лечения при различных классах заболеваний по МКБ-10 (МКБ-11)», проведенного в период с 1 августа 2024 года по 31 декабря 2025 года в санатории «Россия» (г. Ессентуки, Ставропольский край), санатории «Кавказ» и лечебно-реабилитационном клиническом центре «Курортная больница» (г. Кисловодск, Ставропольский край). В многоцентровое клиническое исследование было включено 100 пациентов с диагнозом «ХОБЛ легкой или среднетяжелой стадии, или в фазе ремиссии», установленным в соответствии с клиническими рекомендациями [7], из них 47 мужчин и 53 женщины (47,0% и 53,0% соответственно) в возрасте от 42 до 85 лет. Средний возраст пациентов составил 66,0 [59,0; 69,0] лет, средний стаж заболевания – 5,0 [3,0; 10,0] лет. Набор пациентов в исследование проводился профильными врачами-специалистами последовательно в соответствии с критериями включения, невключения и исключения. После получения информированного согласия на участие в исследовании и проведения скрининга пациенты на уровне контактного центра Национального медицинского исследовательского центра реабилитации и курортологии методом простой рандомизации распределялись на 4 исследуемые группы: группа сравнения 1 (ГС1) (n=20) находилась на СКЛ 7 дней; группа сравнения 2 (ГС2) (n=21) –14 дней; группа сравнения 3 (ГС3) (n=20) – 18 дней; группа сравнения 4 (ГС4) (n=20) – 21 день. До и после СКЛ выполнялось обследование, а через 10-12 месяцев – телефонный опрос с целью оценки отдаленных результатов СКЛ.

СКЛ пациентов зависело от длительности пребывания в санаторно-курортной организации (7, 14, 18 и 21 день) и включало ранее назначенную медикаментозную терапию, мероприятия по модификации образа жизни и проведение методик по стандартному единому протоколу СКЛ при ХОБЛ [8, 9].

При проведении данного блока работы использован дизайн проспективного рандомизированного клинического исследования, период наблюдения составил от 10 до 12 месяцев. У всех пациентов, участвовавших в многоцентровом исследовании и подписавших информированное согласие, было получено также согласие на телефонный опрос спустя 11 месяцев ± 1 месяц для сбора отдаленных результатов СКЛ. Информацию

согласился предоставить 81 пациент, остальные 19 пациентов по разным причинам отказались от участия в исследовании (отсутствие времени на опрос, отзыв согласия и т.д.).

Критерии включения: мужчины и женщины старше 18 лет с установленным диагнозом «ХОБЛ, легкого или среднетяжелого течения, или в фазе ремиссии, с дыхательной недостаточностью 0-1 стадии» согласно рекомендациям Российского респираторного общества [7, 10], прошедшие СКЛ длительностью 7, 14, 18 и 21 день и подписавшие информированное согласие пациента на участие в исследовании.

Критерии невключения: отказ подписать информированное согласие; пациенты, исключенные из многоцентрового рандомизированного исследования по любым причинам; пациенты с плохим знанием русского языка или не способные понять или ответить на вопросы, задаваемые в ходе телефонного опроса; повторное СКЛ в течение последнего года; участие в другом клиническом исследовании или клинической апробации в течение последнего года или рандомизация в другом клиническом исследовании, предшествующем телефонному опросу.

Критерии исключения: отзыв согласия на участие в исследовании; появление одного или нескольких критериев невключения пациента в исследование.

Опрос проводился несколькими интервьюерами – врачами, проводившими исследование пациента в период нахождения в санаторно-курортной организации. У пациентов были собраны следующие данные: жизненный статус пациента, число госпитализаций по неотложной помощи в связи с обострением ХОБЛ, частота вызовов бригад скорой помощи в связи с обострением ХОБЛ, госпитализации в связи с обострением сопутствующих заболеваний в течение года со схожими симптомами, частота обращений к пульмонологу или терапевту в связи с обострением заболевания (с целью коррекции базисной терапии).

Исследование было запланировано и проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией в редакции 2013 г. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом при Национальном медицинском исследовательском центре реабилитации и курортологии (протокол № 7 от 29.08.2024).

Статистическая обработка данных выполнялась с использованием методов описательной статистики, описаны абсолютные данные и частоты. Межгрупповое сравнение проведено с использованием критерия χ^2. Достоверность различий считалась установленной при $p<0,05$. Статистический анализ проводился с использованием пакета прикладных программ SPSS 23.

Результаты исследования и их обсуждение. При проведении вербально-коммуникативного обследования были собраны отдаленные результаты СКЛ у 81 пациента с ХОБЛ. Остальные пациенты по разным причинам (занятость, отзыв согласия и прочее) отказались от участия в исследовании. Данные вербально-коммуникативного исследования представлены в таблице.

Таблица

Отдаленные результаты лечения пациентов с ХОБЛ с различной продолжительностью СКЛ

Исследуемый параметр	ГС1, n=20	ГС2, n=21	ГС3, n=20	ГС4, n=20
Госпитализации в связи с обострением ХОБЛ, абс.,%	10 (50,0)	7 (33,3)	5 (25,0,0)*	5 (25,0,0)*
Частота вызовов бригад скорой помощи, в связи с обострением ХОБЛ, абс.,%	12 (63,2)	2 (9,5)*	0 (0,0)*	1 (5,0)*
Госпитализации в связи с обострением сопутствующих заболеваний, абс.,%	15 (75,0)	2 (9,5)*	0 (0,0)*	2 (10,0)*
Число обращений в связи с обострением ХОБЛ к пульмонологу или терапевту, абс.,%	10 (52,6)	2 (9,5)*	0 (0,0)*	1 (5,0)*

Примечания: ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких; СКЛ – санаторно-курортное лечение; ГС1 – группа сравнения 1, находилась на СКЛ 7 дней; ГС2 – группа сравнения 2, находилась на СКЛ 14 дней; ГС3 – группа сравнения 3, находилась на СКЛ 18 дней; ГС4 – группа сравнения 4, находилась на СКЛ 21 день; анализ различий произведен по χ^2 Пирсона; * – $p<0,05$

Таблица иллюстрирует, что в течение года часть пациентов (около 25,0%), страдающих ХОБЛ, в среднем от 1 до 3 раз в год госпитализировались в связи с обострением и от 1 до 4 раз вызывали бригаду скорой помощи для оказания неотложной помощи, а также от 2 до 5 раз обращались к пульмонологу или терапевту с подозрением на обострение ХОБЛ, в связи с чем проводилась коррекция принимаемой базисной терапии.

При сравнении отдаленных результатов лечения было отмечено, что увеличение продолжительности СКЛ статистически достоверно приводит к уменьшению числа госпитализаций в связи с обострением ХОБЛ (χ^2=13,68, p=0,004). При сравнении групп между собой было отмечено, что число госпитализаций при продолжительности СКЛ 7 и 14 дней статистически достоверно было выше, чем в остальных случаях (при сравнении ГС1 и ГС3 – χ^2=10,000, p=0,002, ГС1 и ГС4 – χ^2=5,267, p=0,022, ГС2 и ГС3 – χ^2=8,039, p=0,005, но при сравнении ГС2 и ГС4 – χ^2=3,255, p=0,072).

Было выявлено, что увеличение срока СКЛ статистически достоверно приводит к уменьшению числа обращений за неотложной помощью в связи с обострением ХОБЛ (χ^2=32,913, p<0,001). При сравнении групп между собой было отмечено, что число вызовов бригад скорой помощи в группе пациентов со сроком СКЛ 7 дней статистически достоверно было выше, чем в остальных случаях (при сравнении ГС1 и ГС3 – χ^2=18,246, p<0,001, ГС1 и ГС4 – χ^2=11,965, p<0,001, ГС1 и ГС2 – χ^2=15,506, p<0,001).

При оценке числа госпитализаций в связи с обострением сопутствующих заболеваний и числа обращений в связи с обострением ХОБЛ к пульмонологу и терапевту также выявлена статистически достоверная динамика (χ^2=42,630, p<0,001 и χ^2=38,960, p<0,001 соответственно). При сравнении групп между собой было отмечено, что число госпитализаций в связи с сопутствующими заболеваниями у пациентов со сроком СКЛ 7 дней статистически достоверно было выше, чем в остальных случаях (при сравнении ГС1 и ГС3 – χ^2=25,658, p<0,001, ГС1 и ГС4 – χ^2=18,837, p<0,001, ГС1 и ГС2 – χ^2=19,673, p<0,001). При сравнении групп между собой также было отмечено, что число обращений за специализированной помощью у пациентов с длительностью СКЛ 7 дней статистически достоверно было выше, чем в остальных группах (при сравнении ГС1 и ГС3 – χ^2=14,156, p<0,001, ГС1 и ГС2 – χ^2=8,827, p=0,003, ГС1 и ГС4 – χ^2=8,313, p=0,004).

Таким образом, срок СКЛ 18 дней приводит статистически достоверно к уменьшению последующих госпитализаций пациентов в связи с обострением заболевания, а срок СКЛ 14 дней – к уменьшению числа госпитализаций в связи с обострением сопутствующих заболеваний, вызовов бригад скорой помощи и числа обращений к терапевту или пульмонологу в связи с обострением ХОБЛ.

В соответствии с современной концепцией GETomics [1], ХОБЛ возникает в результате взаимодействия генетических факторов (G) и факторов окружающей среды (E), происходит в течение всей жизни индивидуума (T), которое повреждает респираторную систему и/или изменяет ее нормальные процессы развития или старения. Многие методы СКЛ способствуют снижению влияния факторов риска [4, 8], оказывают воздействие на патогенетические механизмы заболевания [10] и укрепляют центральные приспособительно-адаптационные реакции и местные механизмы защиты, усиливая их мощность, тем самым ускоряя процесс восстановления организма [11, 12], а также уменьшая частоту и тяжесть обострений ХОБЛ [9]. При этом частота обострений ХОБЛ является мощным предиктором прогрессирования заболевания [1].

В настоящее время отсутствуют данные об оптимальных сроках СКЛ при ХОБЛ, обоснованные с позиций доказательной медицины. При проведении легочной реабилитации у пациентов с ХОБЛ сформулировано эмпирическое правило, что оптимальной продолжительностью легочной реабилитации считается 12 сессий, обязательно включающих физические тренировки, проводимые 3 раза в неделю [4]. Наше исследование восполняет данный пробел.

Нами впервые было проведено открытое многоцентровое проспективное рандомизированое клиническое исследование, позволившее определить потребность в различных видах помощи в течение последующего года в зависимости от длительности СКЛ. Результаты, полученные нами, позволяют при сопоставлении с данными клинической эффективности непосредственных результатов СКЛ установить оптимальные его сроки для пациентов с ХОБЛ, а также на основе полученных данных в перспективе можно рассчитать клинико-экономическую эффективность СКЛ различной длительности (7, 14, 18 и 21 день). Результаты исследования будут полезны для практических врачей, организаторов здравоохранения и в учебном процессе профильных кафедр.

Заключение. В результате проведенного исследования было доказано, что пациенты со сроком СКЛ 18 и 21 день статистически достоверно реже сообщали о госпитализациях в круглосуточный стационар в связи с обострением ХОБЛ (χ^2=13,68, p=0,004), а также об уменьшении частоты обострений сопутствующих заболеваний (χ^2=42,630, p<0,001), вызовов бригад скорой помощи и амбулаторных посещений в связи с обострением ХОБЛ при продолжительности 14, 18 и 21 день в течение года после проведенного СКЛ (χ^2=42,630, p<0,001 и χ^2=38,960, p<0,001 соответственно).

Таким образом, было установлено, что срок СКЛ 14, 18 и 21 день оказывает влияние на исходы заболевания в течение последующего года после лечения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. 2026 GOLD Report and Pocket Guide / Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. – URL: https://goldcopd.org/2026-gold-report-and-pocket-guide/ (дата обращения: 14.04.2026).
2. Chronic respiratory diseases and risk factors in 12 regions of the Russian Federation / A.G. Chuchalin, N. Khaltaev, N.S. Antonov [et al.] // International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. – 2014. – Vol. 9. – P. 963-974. DOI: 10.2147/COPD.S67283.
3. Chronic respiratory diseases and health equity by 2050: a spotlight on chronic obstructive pulmonary disease and asthma in the WHO European Region / World Health Organization, Regional Office for Europe. – Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2025. – URL: https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2025-12340-52112-79990 (дата обращения: 09.06.2026).
4. Balneotherapy and hydrotherapy in chronic respiratory disease / N. Khaltaev, U. Solimene, F. Vitale, A. Zanasi // Journal of Thoracic Disease. – 2020 – Vol. 12. – No. 8. – P. 4459-4468. DOI: 10.21037/jtd-gard-2019-009.
5. Эффективность санаторно-курортного лечения различной продолжительности у взрослых пациентов с бронхиальной астмой: многоцентровое рандомизированное исследование / И.А. Гришечкина, Т.А. Князева, М.Ю. Яковлев [и др.] // Вестник восстановительной медицины. – 2025. – Т. 24. – № 6. – С. 8-17. DOI: 10.38025/2078-1962-2025-24-6-8-17.
6. Зубарева, Н.Н. Научные исследования и практические инструменты современной курортологии: вклад в реализацию национальных целей развития России в среднесрочной перспективе / Н.Н. Зубарева, Е.Г. Камкин // Вестник восстановительной медицины. – 2025. – Т. 24. – № 4. – С. 10-18. DOI: 10.38025/2078-1962-2025-24-4-10-18.
7. Авдеев, С.Н. Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ 2024). Клинические рекомендации (краткая версия) / С.Н. Авдеев, И.В. Лещенко, З.Р. Айсанов // Респираторная медицина. – 2025. – Т. 1. – № 2. – С. 5-16. DOI: 10.17116/respmed202510215.
8. Боголюбов, В.М. Физиотерапия и реабилитация / В.М. Боголюбов. – М. : БИНОМ, 2021. – 312 с.
9. Гришечкина, И.А. Сравнение результатов санаторно-курортного лечения различной продолжительности при хронической обструктивной болезни легких: многоцентровое исследование / И.А. Гришечкина, Т.А. Князева, М.Ю. Яковлев // Врач. – 2026. – Т. 37. – № 2. – С. 70-74. DOI: 10.29296/25877305-2026-02-14.
10. Чучалин, А.Г. Пульмонология. Национальное руководство. Краткое издание / А.Г. Чучалин. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 768 с.
11. Иммунологические аспекты физиотерапии по данным клинических исследований : обзор / Д.А. Вологжанин, А.С. Голота, А.-М.И. Игнатенко [и др.] // Вестник восстановительной медицины. – 2025. – Т. 24. – № 5. – С. 73-83. DOI: 10.38025/2078-1962-2025-24-5-73-83.
12. Организация персонифицированной траектории санаторно-курортного лечения пациентов фтизиатрического профиля на основе цифровых технологий / Л.В. Калинина, Н.Н. Зубарева, Т.В. Кончугова [и др.] // Russian journal of environmental and rehabilitation medicine. – 2026. – № 1. – С. 93-101.

REFERENCES
1. 2026 GOLD Report and Pocket Guide. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Available at: https://goldcopd.org/2026-gold-report-and-pocket-guide/ (accessed: 14.04.2026).
2. Chuchalin A.G., Khaltaev N., Antonov N.S. et al. Chronic respiratory diseases and risk factors in 12 regions of the Russian Federation. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 2014, vol. 9, pp. 963-974. DOI: 10.2147/COPD.S67283.
3. Chronic respiratory diseases and health equity by 2050: a spotlight on chronic obstructive pulmonary disease and asthma in the WHO European Region / World Health Organization, Regional Office for Europe. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2025. Available at: https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2025-12340-52112-79990 (accessed: 09.06.2026).
4. Khaltaev N., Solimene U., Vitale F. et al. Balneotherapy and hydrotherapy in chronic respiratory disease. *Journal of Thoracic Disease*, 2020, vol. 12, no. 8, pp. 4459-4468. DOI: 10.21037/jtd-gard-2019-009.
5. Grishechkina I.A., Knyazeva T.A., Yakovlev M.Yu. et al. Effectiveness of health-resort treatment of varying duration in adult patients with bronchial asthma: a multicenter randomized study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2025, vol. 24, no. 6, pp. 8-17. DOI: 10.38025/2078-1962-2025-24-6-8-177. (in Russ.)
6. Zubareva N.N., Kamkin E.G. Scientific research and practical tools of contemporary balneology: contribution to the implementation of Russia's national medium-term development goals. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2025, vol. 24, no. 4, pp. 10-18. DOI:10.38025/2078-1962-2025-24-4-10-18.(inRuss.)
7. Avdeev S.N., Leshchenko I.V., Aisanov Z.R. Chronic obstructive pulmonary disease (COPD 2024). Clinical guidelines (short version). *Journal of Respiratory Medicine*, 2025, vol. 1, no. 2, pp. 5-16. DOI: 10.17116/respmed202510215. (in Russ.)
8. Bobogyubov V.M. Physiotherapy and rehabilitation. Book II. Moscow: BINOM, 2021. 312 p. (in Russ.)
9. Grishechkina I.A., Knyazeva T.A., Yakovlev M.Yu. Comparison of the outcomes of spa treatment of varying duration for chronic obstructive pulmonary disease: a multicenter study. *Vrach*, 2026, vol. 37, no. 2, pp. 70-74. DOI: 10.29296/25877305-2026-02-14. (in Russ.)
10. Chuchalin A.G. Pulmonology. National leadership. Brief edition. Moscow: GEOTAR-Media, 2020. 768 p. (in Russ.)
11. Vologzhanin D.A., Golota A.S., Ignatenko A.-M.I. et al. Immunological aspects of physiotherapy according to the latest clinical studies: a review. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2025, vol. 24, no. 5, pp. 73-83. DOI: 10.38025/2078-1962-2025-24-5-73-83. (in Russ.)
12. Kalinina L.V., Zubareva N.N., Konchugova T.V. et al. The organization of a personalized trajectory for sanatorium treatment of patients with tuberculosis based on digital technologies. *Russian journal of environmental and rehabilitation medicine*, 2026, no. 1, pp. 93-101. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Ирина Александровна Гришечкина – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии, Москва, e-mail: GrishechkinaIA@nmicrk.ru.
Максим Юрьевич Яковлев – доктор медицинских наук, заместитель директора по стратегическому развитию, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии, Москва; профессор кафедры общей гигиены, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, e-mail: masdat@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Irina A. Grishechkina – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher of the Department for the Study of the Action Mechanisms of Physical Factors, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, e-mail: GrishechkinaIA@nmicrk.ru.
Maksim Yu. Yakovlev – Doctor of Medical Sciences, Deputy Director in Strategic Development, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology; Professor of the Department of General Hygiene, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, e-mail: masdat@mail.ru.

Для цитирования: Гришечкина, И.А. Отдаленные результаты санаторно-курортного лечения различной длительности пациентов с хронической обструктивной болезнью легких / И.А. Гришечкина, М.Ю. Яковлев // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_23

For citation: Grishechkina I.A., Yakovlev M.Yu. Long-term outcomes of spa treatment of various duration for patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_23

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_24
УДК 617.741-004.1-053.1

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_24
UDC 617.741-004.1-053.1

ЭВОЛЮЦИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ЛЕЧЕНИЮ И РЕАБИЛИТАЦИИ ДЕТЕЙ С ВРОЖДЕННОЙ КАТАРАКТОЙ

Е.А. Дугина[1], О.В. Попова[1,2], О.И. Борзунов[1,2], А.А. Федоров[2,3], Н.С. Борзунова[2]
[1]Государственное автономное учреждение здравоохранения Свердловской области «Многопрофильный клинический медицинский центр «Бонум», г. Екатеринбург, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Екатеринбург, Россия
[3]Федеральное бюджетное учреждение науки «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Актуальность проблемы врожденной катаракты обусловлена тем, что она является причиной детской слепоты и слабовидения, поэтому успешное восстановление зрительных функций при врожденной катаракте – результат сочетания хирургического лечения и последующей медицинской реабилитации. Целью работы стало эволюционное изучение подходов ведения детей с врожденной катарактой. ***Методы*** включали анализ публикаций в научных электронных базах, освещающих вопросы хирургического лечения и реабилитации врожденной катаракты у детей, с учетом их доказательного уровня. ***Результаты.*** Из общего объема изученных нами научных источников 25 полностью соответствовали тематике и показали, что лечение пациентов с врожденной катарактой прошло долгий хронологический путь – от эмпирического опыта до хирургии и ранней послеоперационной реабилитации, включающей инновационные аппаратные и методологические подходы и психологическую поддержку. ***Заключение.*** Анализ научных публикаций показал необходимость совершенствования хирургических вмешательств и разработки максимально ранней этапной послеоперационной медицинской реабилитации детей с врожденной катарактой, что обеспечивает устойчивый функциональный результат, социальную адаптацию и качество жизни ребенка.
Ключевые слова: врожденная катаракта, эволюция лечения, медицинская постоперационная реабилитация.

THE EVOLUTION OF HISTORICAL APPROACHES TO THE REHABILITATION OF CHILDREN WITH CONGENITAL CATARACT

E.A. Dugina[1], O.V. Popova[1,2], O.I. Borzunov[1,2], A.A. Fedorov[2,3], N.S. Borzunova[2]
[1]Multidisciplinary Clinical Medical Center “Bonum”, Ekaterinburg, Russia
[2]Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia
[3]Ekaterinburg Medical and Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers, Ekaterinburg, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The clinical significance of the issue of congenital cataract stems from its role as a cause of childhood blindness and low vision; consequently, the gradual restoration of visual function in congenital cataracts cases depends on surgical intervention and medical care. Aim – to examine the evolution of approaches to managing children with congenital cataract. ***Methods.*** Differential analysis methods were applied to data from electronic scientific databases regarding the surgical treatment and rehabilitation of congenital cataract in children, taking into account the level of evidence. ***Results.*** Of the scientific sources we reviewed, 25 were fully relevant to the topic; they demonstrated that the treatment of patients with congenital cataract has evolved significantly over time – progressing from empirical approaches to surgical intervention and early postoperative rehabilitation that incorporates innovative equipment, methodological approaches, and psychological support. ***Conclusion.*** The analysis of scientific publications highlights the need to refine surgical interventions and develop a phased, ultra-early postoperative medical rehabilitation program for children with congenital cataracts; such an approach ensures lasting functional outcomes, social adaptation, and a good quality of life for the child.
Keywords: congenital cataract, treatment evolution, medical postoperative rehabilitation.

Введение. Зрение, как неотъемлемая часть межличностных и социальных взаимодействий, играет ключевую роль во всех аспектах нашей жизни. С момента рождения ребенка зрительные функции имеют первостепенное значение для его развития, когнитивного и социального созревания [1].

По определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), слабовидение – это острота зрения с коррекцией на лучшем глазу от 0,05 до 0,1; социальная слепота – от 0,02 до 0,05; слепота – от проекции света до 0,02; полная слепота – отсутствие даже проекции света [2-4]. Благодаря этим критериям, в мире насчитывается порядка 45 млн слепых и 135 млн слабовидящих [5]. Среди них 1,5 млн случаев слепоты и 5 млн случаев слабовидения зарегистрировано у детей [6, 7]. Следует отметить, что из этого числа исключены случаи с низким зрением на одном глазу. По данным ВОЗ, термин «слепота» указывается в тех случаях, когда у ребенка острота зрения составляет менее 3/60 (по Г. Снеллену) в лучше видящем глазу, или он не способен считать пальцы при дневном свете на расстоянии трех метров наряду с ограничением поля зрения до 10° от точки фиксации [8]. Из 1,4 млн слепых детей во всем мире один миллион проживает в странах Азии [9], при этом 0,08% детской слепоты отмечено в регионах Юго-Восточной Азии [10]. Большая часть литературы по эпидемиологии детской слепоты основана на исследованиях групп населения, обучающихся в школах для детей с ограниченными возможностями или наблюдающихся в медицинских центрах [11].

Однако такой подход связан с риском недостаточного охвата и предвзятости, особенно в странах с низким уровнем дохода [12]. В современном мире каждую минуту слепнет один ребенок, и у этих детей впереди слепота на всю жизнь [13]. При этом продолжительность жизни слепых людей на треть меньше, чем у видящих [14].

В структуре инвалидности Российской Федерации по зрению среди детей первое место занимают аномалии рефракции (26,4%), врожденная катаракта (ВК) глаз (17,3%), ретинопатия недоношенных и другие заболевания сетчатки (16,6%), патология зрительного нерва (12,0%), травмы глаза (10,5%), пороки развития (5,3%) и глаукома (3,8%) [15]. Уровень заболеваемости офтальмопатологией, имеющей наибольшее значение с позиций офтальмохирургии (катаракта, миопия и глаукома), составляет 1,4-7,2 сл. на 1 000 населения, формируя основной контингент инвалидизации населения по зрению (94,7%) [16].

Актуальность проблемы ВК, т.е. помутнение хрусталика глаза, которое возникает при внутриутробном развитии или после рождения, обусловлена тем, что это ведущая причина детской слепоты и слабовидения. Такая патология встречается у 1-10 из 10 000 новорожденных и составляет более 50% всех врожденных глазных заболеваний. Рассматривая вызванную ВК проблему слабовидения и слепоты у детей, можно отметить, что на сегодняшний день успешное восстановление зрительных функций данной категории пациентов – результат сочетания хирургического лечения и последующей медицинской реабилитации, как итог длительной эволюции накопившихся медицинских знаний, различных технологий и понимания функционирования органа зрения [17].

Цель исследования: провести научный анализ эволюции подходов ведения детей с ВК, выделив основные сдвиги парадигм от хирургического лечения до постоперационной медицинской реабилитации.

Методы и организация исследования. В историческом аспекте выполнен анализ публикаций в научных электронных базах (eLibrary.ru, Cochrane Library, Physiotherapy Evidence Database/PEDro, National Library of Medicine National Institutes of Health/ PubMed), освещающих вопросы хирургического лечения и реабилитации ВК у детей с учетом их доказательного уровня.

Результаты исследования и их обсуждение. Всего проанализировано 307 научных источников. Из них 25 публикаций, которые соответствовали тематике запроса, показали, что лечение пациентов с ВК прошло долгий хронологический путь, выявили актуальность данной медико-социальной проблемы, связанной с серьезной угрозой полноценному развитию ребенка [18]. При этом хронологически можно выделить следующие этапы в подходах к терапии и медицинской реабилитации данной категории детей.

До XVIII в. Эмпирический опыт и отсутствие эффективных методов лечения ВК. Мнения историков расходятся, кому именно принадлежит историческое первенство в вопросе лечения катаракты. Так, на территориях Древнего Египта, Индии, Греции и Рима при раскопках были найдены специальные инструменты из различных материалов для этой манипуляции. Сохранились также и некоторые записи, упоминающие об операциях на глазах. Удивительно, но на протяжении долгих столетий врачи и лекари имели смутное представление не только о природе катаракты, но даже о самом хрусталике и его точном расположении. Например, римский офтальмолог Авл Корнелий Цельс, который практиковал медицину в начале христианской эры, обрисовывает строение глаза, располагая хрусталик по центру и сравнивая его с яичным белком. Куда позже в работах Леонардо да Винчи хрусталик по-прежнему описывался как жидкое тело, которое стоит ровно по центру глазного яблока [19].

Реабилитация как таковая в те времена отсутствовала, методов коррекции афакии или лечения обскурационной амблиопии (ОА) не существовало.

Исходы были крайне неблагоприятные, высокая частота возникновения инфекций приводила к эндофтальмитам, панофтальмитам, частым обширным кровоизлияниям, вторичной глаукоме и отслойке сетчатки. Дети с двусторонней ВК оставались слепыми, а в случае с односторонней ВК развивалась высокая амблиопия оперированного глаза. Хирургическая манипуляция была направлена лишь на удаление «помутнения» без полноценного восстановления зрительной функции.

XVIII-XIX века. Прогресс в хирургии ВК. Первый опыт экстракапсулярной экстракции катаракты проведен Жаком Давиэлем (1747), позже – интракапсулярной экстракции [20]. За счет данных техник удаление хрусталика стало более контролируемым. При этом хирург во время операции сталкивался с техническими сложностями из-за малого размера глаза. Послеоперационные осложнения также были распространены в связи с отсутствием основных понятий асептики и антисептики (период до Луи Пастера), что вело к высокой частоте возникновения инфекций. Эндофтальмиты, увеиты, вторичные катаракты также были частыми послеоперационными осложнениями. Коррекцию афакии выполняли очковыми линзами высокой диоптрийности (> +10,0 D). При этом стекла были тяжелыми, толстыми, вызывали сильные аберрации и анизейконию (особенно при односторонней афакии), делая их непригодными для детей.

Из-за отсутствия точного понимания, что такое амблиопия, и сроков начала послеоперационной реабилитации, хирургия катаракты часто откладывалась на годы, что усугубляло ОА. В то время сам феномен ОА и роль ранней зрительной стимуляции не осознавались как необходимая составная часть постоперационной реабилитации. Дети после технически «успешно» проведенной экстракапсулярной и интракапсулярной экстракции катаракты оставались функционально слепыми из-за отсутствия адекватной коррекции афакии и наличия ОА.

Начало – середина XX века. Появление осознания понятия амблиопии и первые реабилитационные подходы. Большой вклад в развитие реабилитации был привнесен работами Мариуса фон Зендена (1932) с пациентами, прооперированными по поводу ВК во взрослом возрасте, который эмпирически доказал связь длительной зрительной депривации с необратимыми нарушениями зрительного восприятия. Несмотря на анатомический успех операции это заложило основу понимания критического периода развития зрительного анализатора. [21].

В рассматриваемый период параллельно с развитием хирургической техники совершенствовалась методика аспирации катаракты через мини-доступ. Однако главными препятствиями на пути к достижению высоких функциональных результатов оставались высокая частота помутнения задней капсулы хрусталика (вторичная катаракта) и развитие послеоперационных увеитов у детей, которые зачастую нивелировали эффект от проведенного вмешательства. В это же время начали формироваться первые научные представления о плеоптике. В клиническую практику стало внедряться понимание необходимости раннего хирургического лечения (в первые месяцы жизни

при двусторонней катаракте, и максимально рано при односторонней) с целью минимизации риска развития ОА.

Первоначальные реабилитационные мероприятия были направлены на применение жестких контактных линз. Данный метод обеспечивал более физиологичную коррекцию (характеризующуюся меньшим увеличением изображения) по сравнению с очками, что имело особое значение при односторонней катаракте [19]. Тем не менее, использование жестких линз в младенческом возрасте было сопряжено с техническими сложностями, обусловленными малым диаметром роговицы и трудностями индивидуального подбора.

Лечение ОА традиционно начинается с прямой окклюзии (заклейки) парного, лучше видящего глаза, а также с методов стимуляции сетчатки лазером. Однако, как отмечается в литературе, применение только лазеротерапии является недостаточно эффективным и требует включения в схему лечения комплексных методов [22]. Это привело к осознанию важности командной работы: не только хирурга, но и врача-офтальмолога, оптометриста, отвечающего за подбор коррекции, и ортоптиста, в задачи которого входит лечение ОА и косоглазия с использованием специализированных офтальмологических тренажеров.

1970-е – 1990-е годы. Данный период характеризуется бурным развитием микрохирургии, широким внедрением в клиническую практику операционного микроскопа и микрохирургического инструментария. Микрохирургическая техника позволила безопасно удалять хрусталиковые массы, а также заднекапсулярные и витреальные помутнения. Активно внедрялись методы профилактики вторичной катаракты, была стандартизирована техника заднего капсулорексиса и передней витрэктомии у детей.

Началась эра имплантации интраокулярных линз (ИОЛ) в педиатрической практике. Первоначально имплантация проводилась у детей старшего возраста (преимущественно при односторонней катаракте) [20], однако впоследствии данная методика стала рутинной, распространившись и на категорию младенцев. Были разработаны современные гидрофобные ИОЛ, оснащенные ультрафиолетовым фильтром. В этот период сформировалось понятие об оптимальных сроках хирургического вмешательства (первые 4-6 недель жизни при двусторонней и первые 2-4 недели при односторонней ВК), а также началось совершенствование формул для педиатрии, позволяющих рассчитывать оптическую силу ИОЛ с учетом последующего роста глаза.

Применение эффективных стратегий профилактики и лечения послеоперационного воспаления, глаукомы и ВК позволило существенно снизить риск развития необратимых структурных изменений. Вследствие этого на первый план выдвинулась задача максимально полной реализации зрительного потенциала у прооперированных детей.

Развитие этапа реабилитации выразилось в совершенствовании методов коррекции зрения с использованием мягких контактных линз и модернизации конструкции очков для коррекции афакии. В лечении ОА были разработаны и систематизированы «правила» окклюзии (дозирование в зависимости от возраста и степени тяжести процесса), а также внедрены методы медикаментозной пенализации (атропинизация парного глаза) и методики засветов по Курту Кюпперсу в домашних условиях.

Дальнейшее совершенствование методов послеоперационной реабилитации [21] привело к пониманию важности оценки не только остроты, но и характера зрения у детей с ОА, причем особое значение приобрела проверка данных параметров как вдали, так и вблизи [23].

Таким образом, следует констатировать, что современные хирургические методики успешно устраняют анатомическую причину обскурационной амблиопии и должны применяться по показаниям в максимально ранние сроки. Анализ литературы показывает, что каждый из известных методов лечения ОА, имея свои преимущества и недостатки, воздействует в основном на какое-либо одно звено патологического процесса. Комплексное применение различных методик обеспечивает разностороннее влияние на зрительный анализатор и способствует более высокому эффекту растормаживания и стимуляции функций амблиопичного глаза. Неугасающий интерес

исследователей к данной проблеме и продолжающийся поиск оптимального пути ее решения свидетельствуют о ее высокой актуальности для современной офтальмологии [24].

Настоящее время. Ранняя послеоперационная реабилитация при ВК (ГАУЗ СО МКМЦ «Бонум»). Разработаны валидные офтальмологические шкалы для формирования протоколов медицинской реабилитации детей с ВК в ранний послеоперационный период. Доказана эффективность комплексного мультидисциплинарного подхода (врач-офтальмолог, врач физической реабилитационной медицины, врач-физиотерапевт, клинический психолог) в реабилитации данной категории пациентов. Так, впервые научно обоснована и апробирована стратегия начала реабилитации через 1 месяц после хирургического вмешательства у детей младшего возраста (с 4 мес. до 4 лет) с использованием офтальмологических ортоптических тренажеров с динамическим электрофизиологическим контролем состояния зрительного анализатора (зрительные вызванные потенциалы). Для данной категории пациентов эффективно применяются физические методы постоперационной реабилитации, массаж шейно-воротниковой зоны, психодиагностика и психокоррекция клиническим психологом ребенка и его семьи.

Заключение. История реабилитации детей с ВК – это история преодоления ограниченности знаний, технологических барьеров и смены парадигм в понимании развития зрительного анализатора от опасных и примитивных попыток удаления мутного хрусталика до высокоточной микрохирургии с имплантацией ИОЛ, от полного отсутствия реабилитации до комплексного мультидисциплинарного подхода – этот сложный путь кардинально изменил прогноз для пациентов с ВК.

Ключевыми факторами прогресса стали не столько хирургические инновации сами по себе, сколько фундаментальные открытия в области нейрофизиологии зрения (критические периоды, нейропластичность и т.п.), а также осознание необходимости раннего, комплексного и непрерывного подхода, активно вовлекающего семью в процесс восстановления зрительных функций. Современные протоколы оценки зрительных функций, позволяющие многим детям достичь хорошего функционального зрения, являются прямым следствием извлеченных исторических практик. Понимание этой эволюции необходимо для дальнейшего совершенствования реабилитационных стратегий и обеспечения их доступности. При этом совершенствуется лечение обскурационной амблиопии, минимизируется риск послеоперационной глаукомы, проводится обеспечение доступности высокотехнологичной помощи и долгосрочной поддержки семей, имеющих детей с ВК. Кроме того, решается вопрос по оптимизации расчета ИОЛ для растущего глаза. Следует помнить, что несвоевременное или неадекватное лечение/реабилитация приводят к развитию тяжелой необратимой ОА вследствие депривации зрительной коры в критические периоды ее формирования, т.е. к стойкому снижению зрительных функций. Современные подходы к постоперационной медицинской реабилитации, включающие коррекцию остаточной рефракции, активное лечение ОА и длительное наблюдение, позволяют достичь значительных функциональных результатов [25].

Таким образом, анализ публикаций в научных электронных базах показал глобальное перестроение в понимании ВК: от слепоты до состояния, поддающегося коррекции с достижением функционального зрения.

При этом прослеживается переход от фокуса, направленного на удаление мутного хрусталика, к важности как максимально раннего хирургического вмешательства в критические периоды развития зрительного анализатора, так и комплексного мультидисциплинарного подхода к медицинской реабилитации.

Достижение устойчивого функционального результата, социальной адаптации и улучшения качества жизни ребенка происходит за счет многоэтапного процесса, который включает оптическую коррекцию, лечение ОА и косоглазия, психолого-педагогическую поддержку и активное вовлечение семьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хамраева, Л.С. О структуре глазных заболеваний, приводящих к слепоте и слабовидению детей в различных странах мира / Л.С. Хамраева, Д.У. Нарзуллаева // Российский офтальмологический журнал. – 2023 – Т. 16. – № 4. – С. 165-169. DOI: 10.21516/2072-0076-2023-16-4-165-169.
2. Gilbert, C. Childhood blindness in the context of VISION 2020 – the right to sight / C. Gilbert, A. Foster // Bulletin of the World Health Organization. – 2001. – Vol. 79. – No. 3. – P. 227-232. DOI: 10.1590/S0042-96862001000300011.
3. Vaishali, K.V. Understanding definitions of visual impairment and functional vision / K.V. Vaishali, P. Vijayalakshmi // Community Eye Health. – 2020. – Vol. 33. – No. 110. – P. S16-S17.
4. Øien, T.B. A Study of Environmental Factors in Low Vision Rehabilitation / T.B. Øien //. Front Rehabil Sci. – 2022. – No. 16(3). – P. 829903. DOI: 10.3389/fresc.2022.829903.
5. Taylor, H.R. World blindness: a 21st century perspective / H.R. Taylor, J.E. Keeffe // British Journal of Ophthalmology. – 2001. – Vol. 85. –No. 3. – P. 261-266. DOI: 10.1136/bjo.85.3.261.
6. Плескова, А.В. Роговичная слепота у детей и пути ее профилактики / А.В. Плескова, А.В. Плесков // Российская педиатрическая офтальмология. – 2018. – Т. 13. – № 2. – С. 67-69. DOI: 10.18821/1993-1859-2018-13-2-67-69.
7. Gilbert, C.E. New issues in childhood blindness / C.E. Gilbert // Community Eye Health. – 2001. – Vol. 14. – No. 40. – P. 53-56.
8. Ocular Morbidity in Rural Communities in Imo State South East Nigeria / E. Ogbeanu Achigbu, K. Chukwuma Dike, A. Chinwe Uwakwem [et al.] // Open Journal of Ophthalmology. – 2016. – Vol. 6. – No. 3. – P. 184-190. DOI: 10.4236/ojoph. 2016.63026.
9. Dadapeer, K. Community ophthalmology / K. Dadapeer // Essential of Ophthalmology. – Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers, 2018. – P. 649-656.
10. Global data on visual impairment in the year 2002 / S. Resnikoff, D. Pascolini, D. Etya'ale [et al.] // Bulletin of the World Health Organization. – 2004. – Vol. 82. – No. 11. – P. 844-851.
11. Solebo, A.L. Epidemiology, aetiology and management of visual impairment in children / A.L. Solebo, J. Rahi // Archives of Disease in Childhood. – 2014. – Vol. 99. – P. 375-379. DOI: 10.1136/ archdischild-2012-303002.
12. Causes of severe visual impairment and blindness in children in the republic of Suriname / A.A. Heijthuijsen, V.A. Beunders, D. Jiawan [et al.] // British Journal of Ophthalmology. – 2013. – Vol. 97. – No. 6. – P. 812-815. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2011-301000.
13. Yorston, D. The global initiative vison 2020: the right to sight childhood blindness / D. Yorston // Community Eye Health. – 1999. – Vol. 12. – No. 31. – P. 44-45.
14. VISION 2020: The Right to Sight: A Global Initiative to Eliminate Avoidable Blindness / L. Pizzarello, A. Abiose, T. Ffytche [et al.] // Archives of Ophthalmology. – 2004. – Vol. 122. – No. 4. – P. 615-620. DOI: 10.1001/archopht.122.4.615.
15. Нероев, В.В. Особенности офтальмологической заболеваемости в Российской Федерации / В.В. Нероев // Материалы Международного офтальмологического конгресса «Белые ночи – 2024». – Санкт-Петербург, 2024.
16. Хамроева, Ю. Первичная глаукома / Ю. Хамроева, Б. Бузруков, О. Левченко // Каталог монографий. – 2014. – С. 65-78.
17. Global challenges in the management of congenital cataract / P.D. Lenhart, P. Courtright, M.E. Wilson [et al.] // Proceedings of the 4th International Congenital Cataract Symposium held on March 7, 2014, New York. – New York, 2014. – P. e1-e8.
18. The infant aphakia treatment study: design and clinical measures at enrollment / S.R. Lambert, E.G. Buckley, C. Drews-Botsch C. [et al.] // Archives of Ophthalmology. – 2010. – Vol. 128. – No. 1. – P. 21-27. DOI: 10.1001/archophthalmol.2009.344.
19. Надыргулова, А.Р. История развития хирургии катаракты. / А.Р. Надыргулова, О.А. Невейцева // Вестник Совета молодых ученых и специалистов Челябинской области. – 2016. – № 3. – С 56-57.
20. Особенности техники имплантации ИОЛ у детей первого года жизни с врожденными катарактами / Т.Б. Катаргина, А.В. Круглова, Л.А. Хватова [и др.] // Российская офтальмология онлайн. – 2008. – URL: https://eyepress.ru/material/osobennosti-tekhniki-implantatsii-iol-u-detey-pervogo-goda-zhizni-s-vrozhdennymi
21. Рожко, Ю.И. Амблиопия: этиопатогенез, диагностика, стратегии лечения : практическое пособие для врачей / Ю.И. Рожко, А.В. Яночкин, А.А. Рожко. – Гомель : ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», 2021. – 48 с.
22. Фабрикантов, О.Л. Сравнительная эффективность лазеров зеленого и красного диапазонов в плеоптическом лечении амблиопии / О.Л. Фабрикантов, Ю.В. Матросова // Вестник

Тамбовского государственного университета. – 2014. – Т. 19. – № 1. – С. 116-117.
23. Кутимова, В.Г. Оценка эффективности лечения обскурационной амблиопии у детей / В.Г. Кутимова, Е.Г. Полянская // Глаукома и другие проблемы офтальмологии : сборник научных трудов, посвященный 15-летию Тамбовского филиала ГУ МНТК «Микрохирургии глаза» им. акад. С.Н. Федорова / под. ред. В.А. Мачехина. – Москва, 2005. – С. 92-95.
24. Сорокина, Е.В. Современные методы лечения амблиопии / Е.В. Сорокина, В.Н. Красногорская // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2013. – № 48. – С. 59-62.
25. Хамраева, Л.С. Клиническая эффективность персонифицированного расчета интраокулярной линзы у детей с врожденной катарактой при риске аномального рефрактогенеза / Л.С. Хамраева, Н.Х. Латипова, Д.У. Нарзуллаева // Российский офтальмологический журнал. – 2023. – Т. 16. – № 1. – С. 101-106. DOI: 10.21516/2072-0076-2023-16-1-101-106.

REFERENCES

1. Khamrayeva L.S., Narzullayeva D.U. On the structure of eye diseases leading to blindness and low vision in children in various countries of the world. *Russian Ophthalmological Journal*, 2023, vol. 16, no. 4, pp. 165-169. (in Russ.)
2. Gilbert C., Foster A. Childhood blindness in the context of VISION 2020 – the right to sight. *Bulletin of the World Health Organization*, 2001, vol. 79, no. 3, pp. 227-232.
3. Vaishali K.V. Vijayalakshmi P. Understanding definitions of visual impairment and functional vision. *Community Eye Health*, 2020, vol. 33, no. 110, pp S16-S17.
4. Øien T.B. A Study of Environmental Factors in Low Vision Rehabilitation. Front Rehabil Sci, 2022, no. 16(3), p. 829903. DOI: 10.3389/fresc. 2022.829903.
5. Taylor H.R., Keeffe J.E. World blindness: a 21st century perspective. *Br J Ophthalmol*, 2001, vol. 85, no. 3, pp. 261-266. DOI: 10.1136/bjo.85.3.261
6. Pleskova A.V., Pleskov A.V. Corneal blindness in children and ways of its prevention. *Rossiyskaya pediatricheskaya oftal'mologiya (Russian pediatric ophthalmology)*, 2018, vol. 13, no. 2, pp. 67-69. (in Russ.)
7. Gilbert C.E. New issues in childhood blindness. *Community Eye Health*, 2001, vol. 14, no. 40, pp. 53-56.
8. Ogbeanu Achigbu E., Chukwuma Dike K., Chinwe Uwakwem A., Ogborogu, E.U., Chinenye Nkwogu V. Ocular Morbidity in Rural Communities in Imo State South East Nigeria. *Open Journal of Ophthalmology*, 2016, vol. 6, no. 3, 184-190. DOI: 10.4236/ojoph.2016.63026.
9. Dadapeer, K. Community ophthalmology. Essential of Ophthalmology. Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers, 2018. pp. 649-656.
10. Resnikoff S., Pascolini D., Etya'ale D. et al. Global data on visual impairment in the year 2002. *Bulletin of the World Health Organization*, 2004, vol. 82, no. 11, pp. 844-851.
11. Solebo, A.L., Rahi J. Epidemiology, aetiology and management of visual impairment in children. *Archives of Disease in Childhood*, 2014, vol. 99, pp. 375-379. DOI: 10.1136/archdischild-2012-303002.
12. Heijthuijsen A.A., Beunders V.A., Jiawan D. et al. Causes of severe visual impairment and blindness in children in the republic of Suriname. *British Journal of Ophthalmology*, 2013, vol. 97, no. 6, pp. 812-815. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2011-301000.
13. Yorston D. The global initiative vison 2020: the right to sight childhood blindness. *Community Eye Health*, 1999, vol. 12, no. 31, pp. 44-45.
14. Pizzarello L., Abiose A., Ffytche T. et al. VISION 2020: The Right to Sight: A Global Initiative to Eliminate Avoidable Blindness. *Arch Ophthalmol*, 2004, vol. 122, no. 4, pp. 615-620. DOI: 10.1001/archopht.122.4.615
15. Neroev V.V. Features of ophthalmological incidence in the Russian Federation. Materials of the International Ophthalmological Congress "White Nights – 2024". Saint Petersburg, 2024. (in Russ.)
16. Hamroeva Yu., Buzrukov B., Levchenko O. Primary glaukoma. A monograph catalogue. 2014. pp. 65-78 (in Russ.)
17. Lenhart P.D., Courtright P., Wilson M.E. et al. Global challenges in the management of congenital cataract. Proceedings of the 4th International Congenital Cataract Symposium held on March 7, 2014, New York. New York, 2014. pp. e1-e8.
18. Lambert S.R., Buckley E.G., Drews-Botsch C. et al. The infant aphakia treatment study: design and clinical measures at enrollment. *Arch Ophthalmol*, 2010, vol. 128, no. 1, pp. 21-27. DOI: 10.1001/ archophthalmol.2009.344.
19. Nadyrgulova A.R., Neveytseva O.A. History of cataract surgery. *Vestnik soveta molodykh uchyonykh i spetsialistov Chelyabinskoj oblasti*, 2016, no. 3, pp. 56-57. (in Russ.)
20. Katargina L.A., Kruglova T.B., Khvatova A.V. et al. Features of IOL implantation technique in infants with congenital cataracts. *Rossiyskaya oftalmologiya onlayn*, 2008. Available at: https://eyepress.ru/material/osobennosti-tekhniki-implantatsii-iol-u-detey-pervogo-goda-zhizni-s-vrozhdennymi (accessed 25.02.2026) (in Russ.)
21. Rozhko Yu.I., Yanochkin A.V., Rozhko A.A. Amblyopia: etiopathogenesis, diagnosis, treatment strategies: a practical guide for doctors. Gomel': Republican Scientific and Practical Center of Radiation Medicine and Human Ecology, 2021. 48 p. (in Russ.)

22. Fabrikantov O.L., Matrosova Yu.V. Comparative effectiveness of green and red range lasers in amblyopia pleoptic treatment. *Tambov University Review*, 2014, vol. 19, no. 1, pp. 116-117. (in Russ.)
23. Kutimova V.G., Polyanskaya E.G. Evaluation of the effectiveness of treatment of obscurational amblyopia in children. Collection of scientific works dedicated to the 15th anniversary of the Tambov branch of the S.N. Fyodorov Eye Microsurgery Complex. Machekhin V.A., ed. Moscow: 2005, pp. 92-95. (in Russ.)
24. Sorokina E.V., Krasnogorskaya V.N. Modern methods of amblyopia treatment. *Bulletin of physiology and pathology of respiration*, 2013, no. 48, pp. 59-62. (in Russ.)
25. Khamraeva L.S., Latipova N.Kh., Narzullaeva D.U. Clinical efficacy of individual intraocular lens calculation in children with congenital cataract at risk of abnormal refraction. *Russian Ophthalmological Journal*, 2023, vol. 16, no. 1, pp. 101-106. DOI: 10.21516/2072-0076-2023-16-1-101-106. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Елена Александровна Дугина – доктор медицинских наук, главный врач, Многопрофильный клинический медицинский центр «Бонум», Екатеринбург, e-mail: bonum@bonum.info, ORCID: 0000-0002-2502-2092.
Олеся Викторовна Попова – врач-офтальмолог, врач-физической и реабилитационной медицины, заведующий отделением медицинской реабилитации детей с заболеваниями органов чувств (зрения и слуха) детским офтальмологическим реабилитационным и детским сурдологическим реабилитационным отделением № 1, Многопрофильный клинический медицинский центр «Бонум», Екатеринбург, e-mail: popovaolesya20@yandex.ru, ORCID: 0009-0004-6251-9833.
Олег Игоревич Борзунов – доктор медицинских наук, доцент кафедры офтальмологии, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, e-mail: borzunov.o.i@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6046-8607.
Андрей Алексеевич Федоров – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры физической и реабилитационной медицины, Уральский Государственный медицинский университет, Екатеринбург; ведущий научный сотрудник отделения физических методов лечения, Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий, Екатеринбург, e-mail: fedorov@ymrc.ru, ORCID: 0000-0002-9695-2959.
Наталья Сергеевна Борзунова – кандидат медицинских наук, доцент кафедры урологии, нефрологии и трансплантологии, Екатеринбург, e-mail: masyaborzunova@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-4538-4656.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Elena A. Dugina – Doctor of Medical Sciences, Chief Physician, Multiprofile Clinical Medical Center “Bonum”, Ekaterinburg, e-mail: bonum@bonum.info, ORCID: 0000-0002-2502-2092.
Olesya V. Popova – Ophthalmologist, Physical Medicine and Rehabilitation Physician, Head of the Department of Medical Rehabilitation of Children with Sensory Processing Disorders (vision and hearing), Children’s Ophthalmological Rehabilitation and Children’s Sign Language Rehabilitation Department No. 1, Multiprofile Clinical Medical Center “Bonum”, Ekaterinburg, e-mail: popovaolesya20@yandex.ru, ORCID: 0009-0004-6251-9833.
Oleg I. Borzunov – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of the Ophthalmology Department, Ural State Medical University, Ekaterinburg, e-mail: borzunov.o.i@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6046-8607.
Andrey A. Fedorov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Ural State Medical University; Leading Researcher of the Physical Medicine Department, Ekaterinburg Medical Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers, Ekaterinburg, e-mail: fedorov@ymrc.ru, ORCID: 0000-0002-9695-2959.
Natalya S. Borzunova – Candidate of Medical Science, Associate Professor of the Department of Urology, Nephrology and Transplantology, Ural State Medical University, Ekaterinburg, e-mail: masyaborzunova@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-4538-4656.

Для цитирования: Эволюция исторических подходов к лечению и реабилитации детей с врожденной катарактой / Е.А. Дугина, О.В. Попова, О.И. Борзунов [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_24

For citation: Dugina E.A., Popova O.V., Borzunov O.I., Fedorov A.A., Borzunova N.S. The evolution of historical approaches to the rehabilitation of children with congenital cataract. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_24

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_25
УДК 615.834

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_25
UDC 615.834

ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

В.С. Нопина[1], В.В. Корнева[2], Ю.В. Корягина[2]
[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Статья посвящена комплексной оценке лечебно-оздоровительного и биоклиматического потенциала территории Воронежской области на примере санаторно-курортных учреждений ООО «Клинический санаторий им. Горького», ООО «Санаторий им. Ф.Э. Дзержинского» и ООО «Санаторий им. Цюрупы». ***Методы.*** Материалами исследования послужили результаты маршрутных ландшафтно-климатических наблюдений, справочные данные по климату, руководящие документы, государственные доклады и научные статьи. ***Результаты.*** По результатам проведенного анализа микроклиматические показатели на всех обследованных территориях находились в пределах нормы: средняя температура воздуха – 23,34-23,99 °С, относительная влажность – 63,8-74,6%, содержание кислорода – более 20,6%, концентрация CO_2не превышала 450 ppm. Выявлен благоприятный ионный режим (суммарный фон аэроионизации – 1133-1297 ион/см³ при низком коэффициенте униполярности 0,5-0,7), исключительно низкий уровень аэрозольного загрязнения (PM2,5 – 2,7 мкг/м³, PM10 – 4,0 мкг/м³) и фоновые значения мощности амбиентного эквивалента дозы γ-излучения (0,048-0,061 мкЗв/ч). Биоклиматический потенциал Воронежской области по модульной технологии достигает 1,85 балла из 3 возможных, что соответствует высокой категории медико-климатических условий и 1 рангу местности. ***Заключение.*** Полученные данные подтверждают благоприятные условия для проведения оздоровительных процедур с применением различных видов климатотерапии и обосновывают высокий ландшафтно-рекреационный потенциал Воронежской области для санаторно-курортного лечения и оздоровительного туризма.
Ключевые слова: Воронежская область, климат, микроклиматические показатели, биоклимат, лечебно-оздоровительный потенциал, санаторно-курортное лечение, оздоровительный туризм, климатотерапия.

THERAPEUTIC AND RECREATION POTENTIAL OF THE VORONEZH OBLAST

V.S. Nopina[1], V.V. Korneva[2], Yu.V. Koryagina[2]
[1]I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia
[2]North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The article is devoted to a comprehensive assessment of the therapeutic, recreation and bioclimatic potential of the Voronezh Oblast on the example of the Gorky Clinical Sanatorium, the F.E. Dzerzhinsky Sanatorium and the Tsyurupa Sanatorium. ***Methods.*** The study materials included the results of route landscape and climatic observations, reference data on climate, guidance documents, government reports and scientific articles. **Results.** According to the analysis, the microclimatic indicators in all the surveyed areas were within the normal values: average air temperature – 23.34-23.99 °C, relative humidity – 63.8-74.6%, oxygen content – over 20.6%, CO_2 concentration did not exceed 450 ppm. A favorable ionic mode was identified (total background air ionization – 1133-1297 ions/cm³ with a low unipolarity coefficient – 0.5-0.7), along with exceptionally low levels of aerosol pollution (PM2.5 – 2.7 μg/m³, PM10 – 4.0 μg/m³), and background values of the γ-radiation ambient dose equivalent rate (0.048-0.061 μSv/h). The bioclimatic potential of the Voronezh Oblast, according to the modular technology, reaches 1.85 points out of 3 possible, corresponding to a high category of medical and climatic conditions and a rank 1 area. ***Conclusion.*** The data obtained confirm favorable conditions for health treatment using various types of climate therapy and substantiate the high landscape and recreation potential of the Voronezh Oblast for spa treatment and recreational tourism.
Keywords: Voronezh Oblast, climate, microclimatic indicators, bioclimate, recreation potential, spa treatment, health tourism, climate therapy.

Введение. Природные лечебные ресурсы России (климатические условия, ландшафты, минеральные источники и грязи) играют ключевую роль в социально-экономическом развитии страны, являясь фундаментом для санаторно-курортного сектора и оздоровительного туризма [1-5]. Результативность реабилитационных и рекреационных мероприятий напрямую зависит от качества, состава и разнообразия этих факторов, а также от эффективности их комплексного применения для раскрытия биоклиматического потенциала конкретной территории [6].

Воронежская область, расположенная в центральной полосе Восточно-Европейской равнины в бассейне среднего течения реки Дон, является крупнейшим регионом Центрального федерального округа площадью 52,2 тыс. км² [7, 8]. Территория области занята черноземными степями и лесостепью, отличается уникальным географическим положением на стыке различных природных зон [9]. Основной природный лечебный фактор Воронежской области – умеренно-континентальный климат, благотворно влияющий на важнейшие органы и системы человека благодаря высокой прозрачности и чистоте воздуха, оптимальной влажности и температурному режиму [10, 11].

Климат Воронежской области формируется под влиянием умеренных, тропических и арктических воздушных масс в условиях равнинного рельефа, не оказывающего существенного барьерного воздействия на атмосферную циркуляцию [12]. Среднегодовая температура воздуха составляет 6,9 °С, средняя температура июля – 21,1 °С, января – около -6 °С; годовое количество осадков варьирует от 450 мм на юго-востоке до 550-600 мм на северо-западе [13, 14]. Продолжительность солнечного сияния достигает 1830 часов в год, что превышает аналогичные показатели Москвы (1500 ч) и Пятигорска (1780 ч) [15, 16]. Систематические наблюдения за климатическими параметрами осуществляются на 9 метеостанциях федерального уровня [17].

Изучение климатического потенциала Воронежской области приобретает особую актуальность в связи с подготовкой и выдачей специальных медицинских заключений на лечебный климат в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 27.05.2024 № 681 «О подготовке и выдаче специальных медицинских заключений».

Медико-географическая оценка климатической комфортности территории Воронежской области, проведенная И.В. Добрыниной, Л.М. Акимовым и С.А. Куролап, выявила четкую пространственную закономерность: уровень биоклиматической комфортности возрастает в направлении с северо-запада на юго-восток, достигая максимальных значений в южном и восточном секторах региона [10]. Пространственно-временная изменчивость биоклиматического потенциала (БКП) Центрального Черноземья, включая Воронежскую область, исследована Ж.А. Буряк и соавт., установившими рост БКП и увеличение его изменчивости за последние 10 лет на 25% [18].

Вместе с тем лечебно-климатический потенциал Воронежской области является недостаточно изученным и научно обоснованным. Комплексные микроклиматические исследования на территориях санаторно-курортных учреждений региона, включающие оценку аэроионного состава, аэрозольного загрязнения, радиационного фона и газовой компоненты приземной атмосферы, до настоящего времени носили фрагментарный характер. Клинические данные об эффективности лечебного климата Воронежской области при различных нозологиях также требуют систематизации и обобщения [19-23].

Цель исследования – комплексная оценка лечебно-климатического потенциала территории Воронежской области на основе микроклиматических наблюдений, биоклиматического анализа и клинических исследований функционального состояния пациентов, находящихся на санаторно-курортном лечении.

Методы и организация исследования. Методологическая база исследования включила контент-анализ профильной литературы, посвященной применению климатотерапии в реабилитационных программах на территории Воронежской области. Поиск источников осуществлялся через платформы Google Scholar, РИНЦ,

КиберЛенинка и архивы специализированных изданий.

Экспериментальные замеры проводились специалистами Центра медико-биологических технологий Северо-Кавказского федерального научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства России в период со 2 по 4 июня 2026 года на базе санаториев им. Цюрупы, им. Ф.Э. Дзержинского и им. Горького. В ходе работы оценивались микроклиматические показатели (температура, влажность, атмосферное давление), уровень гамма-излучения, концентрация аэрозольных частиц, содержание кислорода и углекислого газа (на высоте 1,5 м), а также плотность легких аэроионов обоих зарядов. Для сбора данных применялся комплекс приборов: МАС-01, РадиаСкан-801, САЧМ-4801-01, DT-1309 и ИКВ-8. Полученные результаты были обработаны методами описательной статистики и визуализированы в виде таблиц и диаграмм.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ микроклиматических показателей выявил отсутствие резкой изменчивости микроклимата как в пределах каждой территории, так и между санаториями: средняя температура воздуха варьировала в узком диапазоне 23,34-23,99 °С, что соответствует многолетней норме июля для Воронежской области (19,6-21,8 °С) с учетом дневного прогрева в часы наблюдений [13, 14]. Относительная влажность (63,8-74,6%) находилась в зоне комфорта и не создавала условий для перегрева организма, который, согласно классическим данным, развивается именно при сочетании высокой температуры с высокой влажностью [25, 26]. Атмосферное давление (750,0-755,0 гПа) соответствовало уровню, оцениваемому по модульной биоклиматической классификации как «особо благоприятный» для кислородообеспечения [26, 27]. Содержание кислорода в приземной атмосфере стабильно превышало 20,6%, а концентрация CO_2 (436,0-438,75 ppm) не выходила за порог чистого воздуха для открытых пространств (до 450 ppm), что свидетельствует о низком уровне загрязнения территорий выхлопными газами и хорошей аэрации парковых массивов. Полученные значения согласуются с выводами о высокой эколого-климатической комфортности Воронежской области [10, 28].

К числу наиболее выраженных оздоровительных свойств приземной атмосферы обследованных территорий относится благоприятный ионный режим. Суммарный фон аэроионизации составил 1133-1297 ион/см³ при стабильно низком коэффициенте униполярности ионов (КУИ) – 0,5-0,7 (среднее 0,6), что отражает преобладание легких отрицательных аэроионов (715-822 ион/см³) над положительными (418-475 ион/см³) и соответствует удовлетворительному качеству воздуха по критерию патогенности условий [26]. Именно легкие отрицательные ионы обеспечивают профилактический и терапевтический эффект при заболеваниях эндокринной системы, кожи и органов дыхания [29, 30]. Высокая ионизация на обследованных площадках обусловлена значительной озелененностью территорий: древесно-кустарниковая растительность, помимо генерации аэроионов, выделяет летучие фитонциды и фитоорганические вещества, снижающие содержание токсичных газов и обладающие антибактериальным действием [31-35]. Следует отметить, что по абсолютному уровню аэроионизации равнинные лесостепные территории Воронежской области несколько уступают предгорным курортам Кавказских Минеральных Вод, где фон достигает 1342-1575 ион/см³ за счет высотной поясности и близости горных лесных массивов [36, 37], вместе с тем значения КУИ и доля отрицательных ионов в Воронежской области находятся в том же благоприятном диапазоне, что делает приземную атмосферу обследованных санаториев полноценным лечебным фактором для аэротерапии.

Важным индикатором чистоты воздуха является концентрация взвешенных аэрозольных частиц. По результатам замеров на всех трех территориях уровни PM2,5 и PM10 в приземном слое соответствовали особо благоприятным условиям и были существенно ниже нормативных (рис. 1, 2).

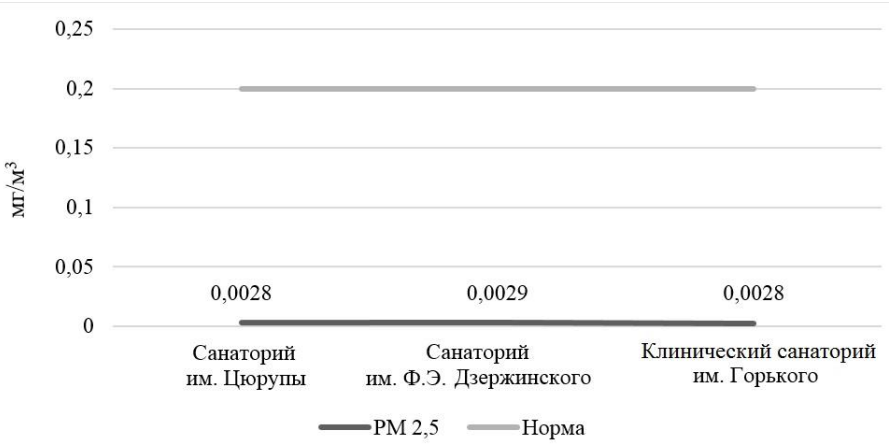


Рис. 1. Аэрозольное загрязнение приземной атмосферы частицами PM2,5 на территории санаториев Воронежской области

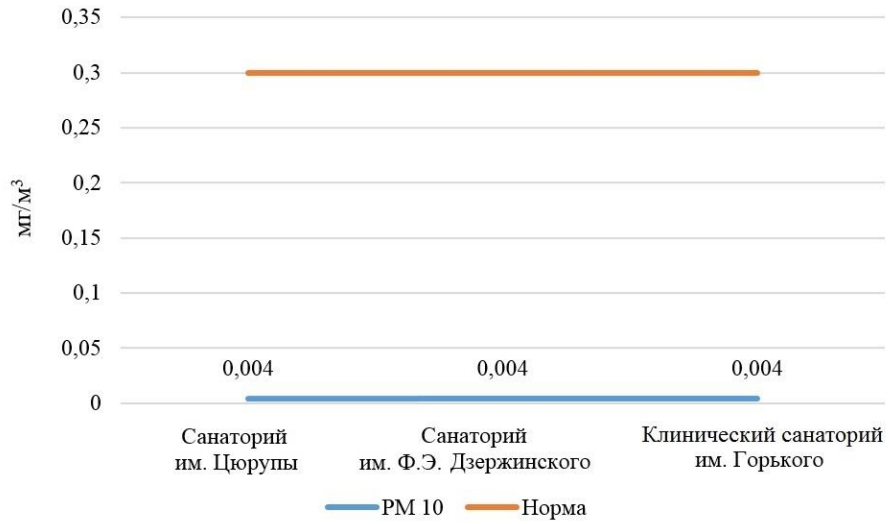


Рис. 2. Аэрозольное загрязнение приземной атмосферы частицами PM10 на территории санаториев Воронежской области

Средняя концентрация PM2,5 по региону составила 2,7 мкг/м³ (0,0028 мг/м³), PM10 – 4,0 мкг/м³ (0,004 мг/м³), то есть в десятки раз ниже предельно допустимых величин. Столь низкое содержание мелкодисперсной и биологически значимой фракции аэрозоля объясняется удаленностью санаториев от промышленных источников выбросов, обилием растительности, выступающей естественным фильтром, и хорошей проветриваемостью территорий. Низкий уровень PM2,5 имеет принципиальное значение для климатотерапии, поскольку частицы такого размера проникают в альвеолы легких и ограничивают лечебное действие воздушных ванн при патологиях дыхательной системы.

Радиационно-экологическое обследование показало, что мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) γ-излучения на открытых участках всех трех территорий находилась в пределах естественного фона и не превышала нормативных значений.

Средние величины составили: клинический санаторий им. Горького – 0,048 мкЗв/ч, санаторий им. Ф.Э. Дзержинского – 0,061 мкЗв/ч, санаторий им. Цюрупы – 0,053 мкЗв/ч (среднее по региону – 0,054 мкЗв/ч при норме не более 0,3-0,5 мкЗв/ч), что соответствует регионально установившемуся фону 0,06-0,10 мкЗв/ч и подтверждает отсутствие радиационного загрязнения обследованных площадок.

БКП территории является интегральной характеристикой, отражающей совокупную обеспеченность условий комфорта для организации различных видов климатолечения, климатопрофилактики, ландшафтотерапии, оздоровительного отдыха и туристической рекреации. Его величина

определяется доминирующими индикаторами биоклимата – модулями термического, радиационного, циркуляционного, влажностного режимов, природного кислородообеспечения и природной аэроионизации [26].

С учетом приведенных показателей биоклиматический потенциал территории Воронежской области по принятой в курортологии модульной технологии достигает 1,85 балла из 3 возможных, что соответствует высокой категории медико-климатических условий и 1 рангу местности по биоклиматическому потенциалу. Наиболее весомый вклад в итоговую оценку вносят модули природного кислородообеспечения (3,0 балла) и природной аэроионизации (2,7 балла), тогда как лимитирующими выступают индикаторы продолжительности зимнего периода (0 баллов) и числа дней с осадками ≥1,0 мм (0 баллов), отражающие континентальный характер климата и выраженную сезонность региона. Полученное значение БКП сопоставимо с показателями признанных лечебно-оздоровительных местностей: так, для территории города-курорта Минеральные Воды аналогичный расчет по модульной технологии дает 1,97 балл [37], а на территориях санаториев Железноводска фон аэроионизации достигает 1342-1575 ион/см³ при КУИ 0,63-1,28 [38], что лишь незначительно превышает региональные значения Воронежской области и подтверждает полноценный лечебный статус ее климата для равнинной лесостепной зоны.

Важным фактором, усиливающим лечебно-климатический потенциал на локальном уровне, выступает высокая озелененность территорий санаторно-курортных учреждений. Древесно-кустарниковая растительность, помимо генерации легких отрицательных аэроионов, выделяет летучие фитонциды и фитоорганические вещества, снижающие содержание токсичных газов в приземной атмосфере и обладающие антибактериальным действием [34], а также формирует особый микроклимат парковых зон и терренкуров, используемых для аэрофитотерапии и реабилитации пациентов с патологией органов дыхания [32, 35]. Именно сочетание этих локальных свойств с региональными климатическими предпосылками обеспечивает высокое значение модуля природной аэроионизации (2,7 балла) и подтверждает целесообразность использования обследованных территорий для круглогодичной климатоландшафтотерапии.

Заключение. Микроклиматические показатели на территориях санаторно-курортных учреждений ООО «Клинический санаторий им. Горького», ООО «Санаторий им. Ф.Э. Дзержинского» и ООО «Санаторий им. Цюрупы» находятся в пределах нормы и обусловливают благоприятные условия для проведения оздоровительных процедур с применением различных видов климатотерапии – аэротерапии, аэроионотерапии, аэрофитотерапии, гелиотерапии и терренкуротерапии. Отсутствие резкой изменчивости гигротермических показателей, высокое содержание кислорода, низкие концентрации углекислого газа и аэрозольных частиц, благоприятный ионный фон с преобладанием легких отрицательных аэроионов и фоновый уровень γ-излучения характеризуют обследованные территории как обладающие исключительно благоприятным микроклиматом для организации различных форм климатоландшафтотерапии.

БКП Воронежской области по модульной технологии достигает 1,85 балла из 3 возможных, что соответствует высокой категории медико-климатических условий и 1 рангу местности. Наиболее благоприятные условия для климатолечения сконцентрированы в южном и восточном секторах области, где размещены изученные санаторно-курортные учреждения; лимитирующие факторы (продолжительный зимний период, число дней с осадками, летние засухи) требуют дифференцированного выбора режимов климатолечения в зависимости от сезона и функционального состояния пациентов, а также проведения плановых мер профилактики возмущающего действия погоды у метеочувствительных лиц. Лицам, страдающим поллинозом, при планировании климатолечения целесообразно учитывать календарь цветения региональной флоры.

Таким образом, климат Воронежской области является лечебно-оздоровительным и обладает выраженными лечебными свойствами, подтвержденными как

многолетней практикой санаторно-курортного лечения, так и результатами проведенных микроклиматических и биоклиматических исследований. Для сохранения лечебных свойств климата и высокого ландшафтно-рекреационного потенциала территорий необходимо периодически проводить мониторинг окружающей среды.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корчажкина, Н.Б. Современное состояние и пути дальнейшего развития санаторно-курортного лечения в Российской Федерации / Н.Б. Корчажкина // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2012. – № 4. – С. 63-69.
2. Хан, М.А. Современные проблемы и перспективные направления развития детской курортологии и санаторно-курортного лечения / М.А. Хан, И.В. Погонченкова // Вестник восстановительной медицины. – 2018. – № 3(85). – С. 2-7.
3. Актуальные вопросы медицинской, социальной и экономической эффективности санаторно-курортного лечения / А.Н. Глухов, Н.В. Ефименко, А.С. Кайсинова, Е.Н. Чалая // Курортная медицина. – 2014. – № 1. – С. 2-15.
4. Губа, Д.В. Лечебно-оздоровительный туризм: курорты и сервис / Д.В. Губа, Ю.С. Воронов. – М.: Спорт, 2020. – 240 с.
5. Ефименко, Н.В. Лечебно-оздоровительный туризм в России и за рубежом с позиций курортной науки / Н.В. Ефименко, А.Н. Глухов // Курортная медицина. – 2012. – № 3. – С. 51-56.
6. Титкова, Н.Д. Методы оценки оздоравливающих факторов санаторно-курортной сферы / Н.Д. Титкова, С.В. Губкин // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2024. – Т. 22. – № 2. – С. 167-172.
7. Воронежская область (справка по схеме) / Официальный сайт МИД РФ. – URL: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/economic_diplomacy/vnesneekonomiceskie-svazi-subektov-rossijskoj-federacii/1436872/ (дата обращения: 29.07.2026).
8. Воронежская область: общие географические и исторические сведения / Официальный сайт Минприроды России. – URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/voronezhskaya_oblast/ (дата обращения: 29.07.2026).
9. Эколого-географический атлас-книга Воронежской области / В.И. Федотов, В.Б. Михно, Ю.В. Поросенков, С.А. Куролап. – Воронеж: Воронежское областное отделение РГО, 2013. – 512 с.
10. Добрынина, И.В. Медико-географическая оценка климатической комфортности территории Воронежской области / И.В. Добрынина, Л.М. Акимов, С.А. Куролап // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С. 120-128.
11. Пономаренко, Г.Н. Физическая и реабилитационная медицина. Национальное руководство / Г.Н. Пономаренко. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2024. – 912 с.
12. Гарькуша, Д.Н. Многолетние изменения температуры воздуха и количества атмосферных осадков в городе Воронеж / Д.Н. Гарькуша, В.В. Великохатская, А.С. Красюк // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 9(147). – С. 1-10.
13. Биоклиматические показатели индекса комфортности погоды территории Воронежской области за 2022-2026 гг. / Ю.В. Корягина, А.А. Никифоров, С.В. Нопин [и др.] // Свидетельство о гос. регистрации базы данных RU 2026622435, 27.05.2026.
14. Справочно-информационный портал «Погода и климат». Климатические таблицы. Данные для Воронежа. – URL: https://www.pogodaiklimat.ru/climate/34123.htm (дата обращения: 29.07.2026).
15. Чуйкова, А.А. Оценка динамики континентальности климата на территории Воронежской области / А.А. Чуйкова // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. – Воронеж, 2019. – Т. 1. – С. 322-325.
16. Вербицкая, М.В. Оценка изменений температуры воздуха и количества осадков в Воронеже за 2015-2016 годы / М.В. Вербицкая, Ю.К. Рубцова, В.И. Лукьяненко // Комплексные проблемы техносферной безопасности. – Воронеж, 2017. – Ч. I. – С. 161-165.
17. Акимов, Л.М. Пространственно-временные закономерности распределения климатических характеристик на территории Воронежской области / Л.М. Акимов // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С. 192-198.
18. Пространственно-временная изменчивость биоклиматического потенциала Центрального Черноземья / Ж.А. Буряк, О.А. Маринина, А.А. Крымская, Э.А. Терехин // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2024. – Т. 166. – № 1. – С. 126-144. DOI: 10.26907/2542-064X.2024.1.126-144.
19. Оценка эффективности реабилитационных программ лечения больных пожилого возраста с

артериальной гипертензией на санаторно-курортном этапе / В.А. Борисов, Г.Я. Клименко, Г.В. Попова, М.А. Кранина // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2014. – Т. 13. – № 1. – С. 196-202.
20. Кранина, М.А. Реабилитация больных пожилого возраста с артериальной гипертонией на санаторно-курортном этапе / М.А. Кранина // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2013. – Т. 12. – № 1. – С. 113-119.
21. Кранина, М.А. Научное обоснование выбора реабилитационной программы лечения больных пожилого возраста с артериальной гипертензией на санаторно-курортном этапе: дис. … канд. мед. наук / Марина Алексеевна Кранина. – Воронеж, 2014. – 140 с.
22. Борисов, В.А. Методы обеспечения эффективного выбора реабилитационных мероприятий для лиц пожилого возраста в санаторных условиях / В.А. Борисов, Г.В. Попова, М.А. Кранина // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2011. – Т. 10. – № 4. – С. 782-785.
23. Коваленко, Н.М. Природные лечебные факторы в курсе восстановительного лечения детей с патологией респираторной системы / Н.М. Коваленко, А.Ф. Неретина // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2011. – № 3. – С. 100-103.
24. Смирнов, А.А. Влияние высоких температур и влажности воздуха на скорость перегревания организма человека / А.А. Смирнов // Гигиена и санитария. – 1961. – № 10. – С. 20-23.
25. Поволоцкая, Н.П. Классификация погоды и оценка теплового состояния человека при климатолечении и отдыхе в районе КМВ / Н.П. Поволоцкая // Вопросы медицинской климатологии и климатотерапии больных на курортах. – Пятигорск: ПНИИКиФ, 1975. – С. 16-23.
26. Биоклиматический паспорт лечебно-оздоровительной местности. Методические рекомендации № 96/226 (утв. Минздравом России 07.02.1997).
27. Михайленко, В.И. Природно-ресурсный потенциал территории и природопользование: региональные аспекты: учебное пособие / В.И. Михайленко, А.В. Михайленко, Н.П. Поволоцкая. – Пятигорск: СевКавГТУ, РИА-КМВ, 2007. – 320 с.
28. Акимов, Е.Л. Геоэкологическая оценка климатической комфортности территории Центрального Черноземья: дисс. … канд. геогр. наук / Евгений Леонидович Акимов. – Воронеж, 2018. – 241 с.
29. Мещеряков, А.Ю. Оценка действия отрицательных аэроионов на человека в искусственных средах обитания / А.Ю. Мещеряков // Вестник научных конференций. – 2017. – № 2-1. – С. 98-102.
30. Дикова, О.В. Отрицательные аэроионы кислорода в лечении экземы / О.В. Дикова // Вестник новых медицинских технологий. – 2009. – Т. 16. – № 1. – С. 71-74.
31. Санаторий вошел в туристическую программу Бобровского района «Сельский туризм» // Минздрав Воронежской области. – URL: https://bobptd.zdrav36.ru/ (дата обращения: 29.07.2026).
32. Глаголева, Л.Э. Инновационное развитие эко-туризма на базе спортивно-оздоровительного комплекса «Сосновый бор» / Л.Э. Глаголева, О.В. Олейникова // Вестник ВГУИТ. – 2014. – № 2(60). – С. 287-292.
33. Литвинова, Л.И. Роль летучих фитонцидов растений в очищении атмосферного воздуха от некоторых токсичных выбросов предприятий и автотранспорта / Л.И. Литвинова // Гигиена и санитария. – 1982. – № 4. – С. 15-18.
34. Чубатова, С.А. Фитонциды: история и перспективы применения / С.А. Чубатова // Бактериология. – 2020. – Т. 5. – № 3. – С. 60-67.
35. Дорожкина, Е.А. Влияние растений на микроклимат помещений и организм человека / Е.А. Дорожкина // Символ науки. – 2015. – № 4. – С. 228-231.
36. Уйба, В.В. Биоклиматические ресурсы Кавказских Минеральных Вод / В.В. Уйба // Курортология Кавказских Минеральных Вод. – Пятигорск: ФГБУ ПГНИИК ФМБА России, 2010. – Т. 1. – С. 189-211.
37. Биоклиматические показатели индекса комфортности погоды города Минеральные Воды за 2021-2024 гг. / Ю.В. Корягина, М.Э. Краснопахтов, С.В. Нопин [и др.] // Свидетельство о гос. регистрации базы данных RU № 2025620646, 07.02.2025.
38. Нопина, В.С. Биоклиматический и ландшафтно-рекреационный потенциал города-курорта Железноводск с точки зрения занятий оздоровительными видами физической культуры / В.С. Нопина, А.П. Тычинина, О.Н. Акимкина // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2024. – Т. 3. – № 3(11). DOI: 10.24412/2782-6570-2024_03_03_4.

REFERENCES

1. Korchazhkina N.B. Current state and ways of further development of spa treatment in the Russian Federation. *Kremlin Medicine Journal*, 2012, no. 4, pp. 63-69. (in Russ.)
2. Khan M.A., Pogonchenkova I.V. Current problems and perspective directions of development of children's balneology and health resort treatment. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2018, no. 3(85), pp. 2-7. (in Russ.)

3. Glukhov A.N., Efimenko N.V., Kaisinova A.S., Chalaya E.N. Topical issues of medical, social and economic efficiency of spa treatment. *Resort medicine*, 2014, no. 1, pp. 2-15. (in Russ.)
4. Guba D.V., Voronov Yu.S. Medical and health improving tourism: resorts and service. Moscow: Sport, 2020. 240 p. (in Russ.)
5. Efimenko N.V., Glukhov A.N. Medical and health improving tourism in Russia and abroad from the standpoint of spa resort science. *Resort medicine*, 2012, no. 3, pp. 51-56. (in Russ.)
6. Titkova N.D., Gubkin S.V. Methods for assessing the health-improving factors of the sanatorium-resort sector. *Journal of the Grodno State Medical University*, 2024, vol. 22, no. 2, pp. 167-172. (in Russ.)
7. Voronezh oblast (reference sheet). Official website of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation. Available at: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/economic_diplomacy/vnesneekonomiceskie-svazi-subektov-rossijskoj-federacii/-1436872/ (accessed 29.07.2026). (in Russ.)
8. Voronezh Oblast: general geographical and historical information. Official website of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation. Available at: https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/voronezhskaya_oblast/ (accessed 29.07.2026). (in Russ.)
9. Fedotov V.I., Mikhno V.B., Porosenkov Yu.V., Kurolap S.A. Ecological and geographical atlas of the Voronezh Oblast. Voronezh: RGS Voronezh Oblast Department, 2013. 512 p. (in Russ.)
10. Dobrynina I.V., Akimov L.M., Kurolap S.A. Medical and geographical assessment of climatic comfort of the Voronezh Oblast. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 2013, no. 1, pp. 120-128. (in Russ.)
11. Ponomarenko G.N. Physical and rehabilitation medicine. National guidelines. Moscow: GEOTAR‑Media, 2024. 912 p. (in Russ.)
12. Garkusha D.N., Velikokhatskaya V.V., Krasyuk A.S. Long-term changes in air temperature and precipitation in Voronezh. *International Research Journal*, 2024, no. 9(147), pp. 1-10. (in Russ.)
13. Koryagina Yu.V., Nikiforov A.A., Nopin S.V. et al. Bioclimatic indices of the weather comfort index of the Voronezh Oblast for 2022-2026. Certificate for the database registration RU 2026622435, 2026. (in Russ.)
14. Reference and information portal "Weather and Climate". Climatic tables. Data for Voronezh. Available at: https://www.pogodaiklimat.ru/climate/34123.htm (accessed 29.07.2026). (in Russ.)
15. Chuykova A.A. Assessment of the changes in climate continentality of the Voronezh Oblast. In: Global climate changes: regional effects, models, forecasts. Voronezh, 2019, vol. 1, pp. 322-325. (in Russ.)
16. Verbitskaya M.V., Rubtsova Yu.K., Lukyanenko V.I. Assessment of changes in air temperature and precipitation in Voronezh for 2015-2016. In: Complex Problems of the Technosphere Safety. Voronezh, 2017. Part I. pp. 161-165. (in Russ.)
17. Akimov L.M. Space-time patterns of distribution of climatic characteristics in the Voronezh oblast territory. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya, 2013, no. 1, pp. 192-198. (in Russ.)
18. Krymskaya A.A., Terekhin E.A. Spatiotemporal variability of the bioclimatic potential in the central Chernozem Region. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2024, vol. 166, no. 1, pp. 126-144. DOI: 10.26907/2542-064X.2024.1.126-144. (in Russ.)
19. Borisov V.A., Klimenko G.Ya., Popova G.V., Kranina M.A. An estimation of efficiency of rehabilitation programs of treatment of elderly people with the arterial hypertension at the sanatorium stage. *Systems analysis and control in biomedical systems*, 2014, vol. 13, no. 1, pp. 196-202. (in Russ.)
20. Kranina M.A. Rehabilitation of patients of advanced age with the arterial hypertension at the sanatorium stage. *Systems analysis and control in biomedical systems*, 2013, vol. 12, no. 1, pp. 113-119. (in Russ.)
21. Kranina M.A. Scientific substantiation of the choice of a rehabilitation program for the treatment of elderly patients with arterial hypertension at the spa stage: an author's dissertation. Voronezh, 2014. 140 p. (in Russ.)
22. Borisov V.A., Popova G.V., Kranina M.A. A method of providing an effective choice of rehabilitation measures for the elderly in the sanatorium conditions. *Systems analysis and control in biomedical systems*, 2011, vol. 10, no. 4, pp. 782-785. (in Russ.)
23. Kovalenko N.M., Neretina A.F. Natural curative factors in the course of restorative treatment of children with diseases of the respiratory system. *Journal of Volgograd State Medical University*, 2011, no. 3, pp. 100-103. (in Russ.)
24. Smirnov A.A. The effect of high temperature and air humidity on the rate of human body overheating. *Hygiene and Sanitation*, 1961, no. 10, pp. 20-23. (in Russ.)
25. Povolotskaya N.P. Weather classification and assessment of the thermal state of a person during climate therapy and recreation in the CMW region. In: Issues of medical climatology and climate therapy of patients at resorts. Pyatigorsk: Pyatigorsk Research Centre of Balneology and Physiotherapy, 1975. pp. 16-23. (in Russ.)
26. Bioclimatic passport of health and recreation areas. Methodological guidelines No. 96/226 (approved by the Ministry of Health of the Russian Federation, 07.02.1997). (in Russ.)

27. Mikhaylenko V.I., Mikhaylenko A.V., Povolotskaya N.P. Natural resource potential of the territory and nature management: regional aspects: a textbook. Pyatigorsk: SevKavSTU, RIA-KMV, 2007. 320 p. (in Russ.)
28. Akimov E.L. Geoecological assessment of climatic comfort of the Central Chernozem territory: an author's dissertation. Voronezh, 2018. 241 p. (in Russ.)
29. Meshcheryakov A.Yu. Assessment of the effect of negative air ions on a person in man-made environments. *Bulletin of Scientific Conferences*, 2017, no. 2-1, pp. 98-102. (in Russ.)
30. Dikova O.V. The negative air ions of oxygen in treatment of eczema. *Journal of New Medical Technologies*, 2009, vol. 16, no. 1, pp. 71-74. (in Russ.)
31. The sanatorium joined the tourism program of the Bobrovsky district "Rural tourism". Ministry of Health of the Voronezh Oblast. Available at: https://bobptd.zdrav36.ru/ (accessed 29.07.2026). (in Russ.)
32. Glagoleva L.E., Oleinikova O.V. Innovative development of ecotourism based on sports and fitness complex "Sosnovy bor". *Siberian Journal of Tourism and Economic*, 2014, no. 2(60), pp. 287-292. (in Russ.)
33. Litvinova L.I. Role of volatile plant phytoncides in cleansing the atmospheric air from some toxic emissions of enterprises and motor transport. *Hygiene and Sanitation*, 1982, no. 4, pp. 15-18. (in Russ.)
34. Chubatova S.A. Phytoncides: history and application prospects. *Bacteriology*, 2020, vol. 5, no. 3, pp. 60-67. (in Russ.)
35. Dorozhkina E.A. Effect of plants on the microclimate of premises and the human body. *Symbol of Science*, 2015, no. 4, pp. 228-231. (in Russ.)
36. Ujba V.V. Bioclimatic resources of the Caucasian Mineral Waters. In: Balneology of the Caucasian Mineral Waters. Pyatigorsk: Pyatigorsk State Research Institute of Balneology, 2010. Vol. 1, pp. 189-211. (in Russ.)
37. Koryagina Yu.V., Krasnoplakhtov M.E., Nopin S.V. et al. Bioclimatic indices of the weather comfort index of Mineralnye Vody for 2021-2024. Certificate for the database registration RU 2025620646, 07.02.2025. (in Russ.)
38. Nopina V.S., Tychinina A.P., Akimkina O.N. Bioclimatic, landscape and recreationalpotential of Zheleznovodsk from the point of health physical culture. *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*, 2024, vol. 3, no. 3(11). DOI: 10.24412/2782-6570-2024_03_03_4. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Вероника Сергеевна Нопина – студент, институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России, Москва, e-mail: vernopina@yandex.ru.
Виктория Витальевна Корнева – научный сотрудник центра медико-биологических технологий Северо-Кавказского федерального научно-клинического центра Федерального медико-биологического агентства России, Ессентуки, e-mail: korneva-tori@mail.ru.
Юлия Владиславовна Корягина – доктор биологических наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий Северо-Кавказского федерального научно-клинического центра Федерального медико-биологического агентства России, Ессентуки, e-mail: nauka@skfmba.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Veronika S. Nopina – Student, N.V. Sklifosovskij Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, e-mail: vernopina@yandex.ru.
Viktoria V. Korneva – Researcher of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: korneva-tori@mail.ru.
Yulia V. Koryagina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: nauka@skfmba.ru.

Для цитирования: Нопина, В.С. Лечебно-оздоровительный потенциал территории Воронежской области / В.С. Нопина, В.В. Корнева, Ю.В. Корягина // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_25

For citation: Nopina V.S., Korneva V.V., Koryagina Yu.V. Therapeutic and recreation potential of the Voronezh Oblast. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_25

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_26
УДК 616.411-089.87-06:616.36:612.397.2

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_26
UDC 616.411-089.87-06:616.36:612.397.2

ВЛИЯНИЕ СПЛЕНЭКТОМИИ И РЕЗЕКЦИИ СЕЛЕЗЕНКИ НА АКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ФЕРМЕНТОВ ПЕЧЕНИ

Р.И. Рагимова, Г.С. Рагимов, Н.Г. Мазанова, Р.Г. Рагимов, Ф.З. Алиярова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Махачкала, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Современные успехи в изучении физиологии организма показали, что селезенка играет существенную роль в обменных процессах (минеральном, обмене углеводов, холестерина и железа, образовании билирубина), стимулирует синтез белков. Наряду с участием в кроветворении, иммунной защите и системе гемостаза, она выполняет метаболическую и гормональную функции в организме. Селезенка также косвенным образом влияет и на функционирование печени. ***Методы.*** На 44 кроликах породы шиншилла с массой тела от 1,5 до 3,0 кг проведено изучение некоторых показателей активности ферментов печени после удаления и резекции селезенки. Для статистического анализа использовали непараметрические критерии. ***Результаты.*** Удаление селезенки приводит к статистически достоверному снижению активности некоторых ферментов печени: кислая, щелочная фосфатазы и аспартат-, аланинаминотрансферазы до 3-х недель после операции с последующим восстановлением. В течение 3-х недель после резекции 1/3 и 2/3 селезенки наблюдали повышение уровня данных ферментов с развитием синдрома цитолиза и дальнейшей тенденцией к нормализации. ***Заключение.*** Полученные данные подтверждают целесообразность сохранения селезенки при ее повреждениях.
Ключевые слова: спленэктомия, резекция, влияние, ферменты, активность, печень.

THE EFFECT OF SPLENECTOMY AND SPLEEN RESECTION ON THE ACTIVITY OF CERTAIN LIVER ENZYMES

R.I. Ragimova, G.S. Ragimov, N.G. Mazanova, R.G. Ragimov, F.Z. Aliarova
Dagestan State Medical University, Makhachkala, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Modern advances in the body physiology study have shown that the spleen plays a significant role in metabolic processes (mineral metabolism, carbohydrate metabolism, cholesterol and iron metabolism, and bilirubin formation), and stimulates protein synthesis. In addition to its involvement in hematopoiesis, immune defense, and the hemostatic system, the spleen also performs metabolic and hormonal functions in the body. The spleen also indirectly affects the liver functioning. ***Methods.*** On 44 chinchilla rabbits with a body weight of 1.5 to 3.0 kg, some indicators of liver enzyme activity were studied after splenectomy and resection of the spleen. Nonparametric criteria were used for statistical analysis. ***Results.*** Removal of the spleen leads to a statistically significant decrease in the activity of certain liver enzymes, such as acid and alkaline phosphatases, as well as aspartate and alanine aminotransferases, up to 3 weeks after surgery, followed by recovery. During the 3 weeks following resection of 1/3 and 2/3 of the spleen, an increase in the levels of these enzymes was observed, leading to the development of cytolysis syndrome and a subsequent trend towards normalization. ***Conclusion.*** The data obtained confirm the expediency of preserving the spleen in case of its damage.
Keywords: splenectomy, resection, effect, enzymes, activity, liver.

Введение. Стремление к максимальному сохранению функции поврежденного органа является одной из актуальных задач современной хирургии. Повреждение селезенки при травме составляет 13-45% всех травм и занимает одно из ведущих мест в абдоминальной хирургии [1-7]. Современные успехи в изучении физиологии организма показали, что селезенка играет существенную роль в обменных процессах (минеральном, обмене углеводов, холестерина и железа, образовании билирубина), стимулирует синтез белков [8]. Наряду с участием в кроветворении, иммунной защите и системе гемостаза [9-11], она выполняет метаболическую и гормональную функции

в организме [12]. Селезенка также косвенным образом влияет и на функционирование печени. По данным [11, 13-17], в раннем послеоперационном периоде после удаления селезенки у экспериментальных животных наблюдается воспалительное повреждение печени, которое проявляется нарушениями функциональных показателей печени.

Исследований по влиянию удаления и резекции селезенки на активность некоторых ферментов печени в доступной литературе нами не обнаружено.

Цель исследования: изучить активность некоторых ферментов печени при удалении и резекции селезенки.

Методы и организация исследования. Все процедуры проводились в соответствии с этическими стандартами, утвержденными законодательством Российской Федерации, принципами Базельской декларации в соответствии с европейской конвенцией о защите животных и рекомендациями комитета по биоэтике Дагестанского государственного медицинского университета. Исследования проводили на 44 кроликах породы шиншилла с массой тела от 1,5 до 3,0 кг в 4-х сериях: в первой серии (n=13) – спленэктомия, во второй серии (n=13) резецировали 1/3 селезенки, в третьей серии (n=13) – 2/3 селезенки, 4-я серия (n=5) – контроль.

Методика эксперимента. Все операции выполняли под местной анестезией после премедикации. За 35-40 минут до начала операции делали внутримышечно дроперидол (0,15 мг на 1 кг), калипсол (0,1 мл на 1 кг веса животного) и атропин (0,1-0,5% мл подкожно). В первой серии опытов (n=13) производили спленэктомию. Брюшную полость вскрывали верхнесрединным разрезом. Селезенку выводили в операционную рану. Перевязав все сосуды, идущие к селезенке, пересекали их и удаляли орган. Во второй серии (n=13), перевязав сосуды, идущие к удаляемой части, резецировали 1/3 селезенки. Соответственно производили и резекцию 2/3 органа в третьей серии (n=13). Четвертая серия (n=5) – контроль. Вскрывали брюшную полость, выводили в рану селезенку и обратно погружали ее в брюшную полость, стенку которой зашивали. Животных содержали в одинаковых условиях под наблюдением до 2 месяцев. Изучали показатели активности некоторых ферментов печени. У всех животных до операции, а затем и в динамике через 1, 3, 8 недель определяли следующие показатели: активность кислой фосфатазы (КФ), щелочной фосфатазы (ЩФ), аспартатаминотрансферазы (АсАТ) и аланинаминотрансферазы (АлАТ). Активность ферментов определяли по наборам фирмы «ЛАХЕМА» (Чехия).

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета статистических программ Statistica. Определяли следующие статистические показатели для нормально распределенного признака: среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (±σ), ошибку среднего арифметического (±m). Достоверность различий определяли при помощи критерия Стьюдента (t) с поправкой Бонферрони и Тьюки. Статистически значимыми считались значения при $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. *Кислая фосфатаза (КФ).* Динамическое изучение активности ферментов печени в крови у оперированных животных показало, что на 7-е сутки после спленэктомии выявили значимое снижение активности КФ в 1,4 раз до 31,0±3,82 мккат/л (контроль – 43,73±4,65 мккат/л). (табл. 1). Спустя 3 недели выявили дальнейшее ($p<0,05$) снижение показателя активности КФ на 54,8% до 19,75±3,94 мккат/л. К 2-м месяцам в динамике активность КФ составила 29,64±4,67 мккат/л, что значимо ($p<0,05$) выше в 1,5 раз по сравнению с 3 неделей после операции с дальнейшей тенденцией к восстановлению.

Как видно из данных, представленных в таблице 1, спустя 1 неделю после резекции 1/3 селезенки наблюдали статистически значимое повышение активности КФ на 46,6% до 64,12±4,12 мккат/л (контроль – 43,73±4,65 мккат/л). На 3-й неделе в динамике после операции выявили ($p>0,05$) снижение показателя КФ на 9,03% до 58,33±3,46 мккат/л. К 2-м месяцам наблюдали ($p<0,05$) снижение активности кислой фосфатазы на 17,92% до 47,88±5,17 мккат/л.

На 7-е сутки после резекции 2/3 селезенки наблюдали значимое повышение активности КФ на 42,5% до 68,87±6,63

мккат/л (контроль – 43,73±4,65 мккат/л). Через 3 недели активность КФ составила 86,77±4,67 мккат/л, что значимо выше в 1,25 раз по сравнению с 1-й неделей после операции (табл. 1). К 2-м месяцам в динамике послеоперационного периода отмечали (p<0,05) снижение на 33,4% до 56,02±5,32 мккат/л.

Таблица 1

Сравнительная оценка показателей активности кислой фосфатазы у животных после операции на селезенке, M±m (n=13), мккат/л

№ п/п	Серии опытов	До операции	После операции		
			1 неделя	3 недели	8 недель
1	Спленэктомия	43,73±4,65	31,0±3,82*	19,75±3,94*	29,64±4,67*
2	Резекция 1/3 селезенки	43,73±4,65	64,12±4,12*	58,33±3,46	47,88±5,17*
3	Резекция 2/3 селезенки	43,73±4,65	68,87±6,63*	86,77±4,67*	56,02±5,32*

Примечание: * – сравнение величин в динамике послеоперационного периода, p<0,05.

Щелочная фосфатаза (ЩФ). Как видно из данных, представленных в таблице 2, на 7-е сутки после спленэктомии отмечено значимое снижение активности ЩФ в 1,97 раз до 0,202±0,029 мккат/л. (контроль – 0,399±0,025 мккат/л.). Через 3 недели после операции выявили дальнейшее (p<0,05) снижение активности ЩФ на 44,56% до 0,112±0,005 мккат/л. В динамике послеоперационного периода к 2-м месяцам наблюдали статистически значимое снижение активности щелочной фосфатазы в 1,6 раз до 0,071±0,02 мккат/л.

Через неделю после резекции 1/3 селезенки отмечено статистически значимое повышение активности ЩФ на 15,04% до 0,459±0,029 мккат/л. (контроль – 0,399±0,025 мккат/л.). Спустя 3 недели после операции наблюдали (p>0,05) повышение показателя активности щелочной фосфатазы на 13,94% до 0,523±0,015 мккат/л (табл. 2). К 60 дню в динамике послеоперационного периода выявили (p>0,05) снижение активности ЩФ на 4,59% до 0,499±0,026 мккат/л.

Как видно из данных, представленных в таблице 2, у экспериментальных животных после резекции 2/3 селезенки через 7 дней наблюдали значимое повышение активности ЩФ в 1,57 раз до 0,482±0,061 мккат/л (контроль –0,399±0,025 мккат/л.). Спустя 3 недели после операции показатель щелочной фосфатазы составил 0,549±0,027 мккат/л., что значимо (p<0,05) выше на 13,9% по сравнению с 1 неделей после операции. К 2-м месяцам после операции показатель ЩФ составил 0,503±0,04 мккат/л, что значимо (p<0,05) выше по сравнению с дооперационным показателем на 26,06%.

Таблица 2

Сравнительная оценка показателей активности щелочной фосфатазы у животных после операции на селезенке, M±m (n=13), мккат/л

№ п/п	Серии опытов	До операции	После операции		
			1 неделя	3 недели	8 недель
1	Спленэктомия	0,399±0,025	0,202±0,029*	0,112±0,005*	0,071±0,020*
2	Резекция 1/3 селезенки	0,399±0,025	0,459±0,029*	0,523±0,015*	0,499±0,026
3	Резекция 2/3 селезенки	0,399±0,025	0,482±0,061*	0,549±0,027*	0,503±0,04*

Примечание: * – сравнение величин в динамике послеоперационного периода, p<0,05.

Аспартатаминотрансфераза (АсАТ). Как видно из данных, представленных в таблице 3, у экспериментальных животных после удаления селезенки на 7-е сутки наблюдали значимое снижение активности АсАТ в 1,58 раз до 0,51±0,025 мккат/л (контроль – 0,81±0,185 мккат/л). Через 3 недели в динамике послеоперационного периода установлено некоторое (p=0,731) повышение показателя АсАТ на 2,94% до 0,525±0,15 мккат/л по сравнению с 7 днем после операции. Спустя 2 месяца после удаления селезенки активность АсАТ составила 0,87±0,08 мккат/л, что значимо (p<0,05) выше на 34,29% в динамике по сравнению с 3 неделей после операции.

Как видно из таблицы 3, через неделю при резекции 1/3 селезенки отмечено (p>0,05) повышение активности АсАТ на 1,1% до 0,826±0,017 мккат/л. (контроль – 0,817±0,0185 мккат/л). Спустя 3 недели в динамике послеоперационного периода наблюдали статистически значимое повышение активности АсАТ в 1,47 раз до 1,22±0,087 мккат/л. К двум месяцам после операции выявили незначительное снижение активности АсАТ до 1,209±0,09 мккат/л.

Таблица 3

Сравнительная оценка показателей активности аспартатаминотрансферазы у животных после операции на селезенке, M±m (n=13), мккат/л

№ п/п	Серии опытов	До операции	После операции		
			1 неделя	3 недели	8 недель
1	Спленэктомия	0,81±0,185	0,510±0,025*	0,525±0,15	0,87±0,08*
2	Резекция 1/3 селезенки	0,817±0,185	0,826±0,17	1,22±0,087*	1,209±0,09
3	Резекция 2/3 селезенки	0,81±0,185	1,31±0,086*	2,027±0,114*	1,435±0,11*

Примечание: * – сравнение величин в динамике послеоперационного периода, p<0,05.

В 3-й серии опытов на 7-й день при резекции 2/3 селезенки отмечено значимое повышение активности АсАТ на 38,28% до 1,31±0,086 мккат/л (контроль – 0,815±0,185 мккат/л). Через 3 недели выявили дальнейшее статистически значимое повышение активности АсАТ в 1,54 раз в динамике до 2,027±0,114 мккат/л. (табл. 3). Спустя 8 недель в динамике наблюдали значимое (p<0,05) снижение показателя АсАТ на 29,21% до 1,435±0,11 мккат/л по сравнению с результатами 3-й недели после операции.

Аланинаминотрансфераза (АлАТ). Как видно их данных, представленных в таблице 4, на 7 сутки после спленэктомии выявили значимое снижение активности АлАТ на 46,14% до 0,550±0,042 мккат/л. (контроль – 1,021±0,09 мккат/л). Спустя 3 недели показатель активности АлАТ составил 0,832±0,022 мккат/л, что значимо (p<0,05) выше в 1,51 раз по сравнению с 7-м днем после операции. Отмечено дальнейшее (p<0,05) повышение активности АлАТ на 19,83% в динамике к 2-м месяцам после операции, что составило 0,997±0,17 мккат/л (p=0,003) с дальнейшей тенденцией к восстановлению.

Спустя неделю после резекции 1/3 селезенки наблюдали значимое повышение активности АлАТ в 1,4 раз до 1,43±0,118 мккат/л (контроль – 1,021±0,09 мккат/л) (табл. 4). Через 3 недели в динамике после операции выявили (p>0,05) повышение активности АлАТ на 7,27% до 1,535±0,140 мккат/л. В динамике послеоперационного периода на 8-й неделе активность АлАТ составила 1,343±0,13 мккат/л, что ниже на 12,51% в динамике.

Таблица 4

Сравнительная оценка показателей активности аланинаминотрансферазы у животных после операции на селезенке, M±m (n=13), мккат/л

№ п/п	Серии опытов	До операции	После операции		
			1 неделя	3 недели	8 недель
1	Спленэктомия	1,021±0,09	0,550±0,042*	0,832±0,022*	0,997±0,17*
2	Резекция 1/3 селезенки	1,021±0,09	1,43±0,118*	1,535±0,140	1,343±0,13
3	Резекция 2/3 селезенки	1,021±0,09	1,249±0,12*	2,625±0,086*	1,83±0,112*

Примечание: * – сравнение величин в динамике послеоперационного периода, p<0,05.

На 7-е сутки после резекции 2/3 селезенки наблюдали значимое повышение (p<0,05) активности АлАТ на 22,3% до 1,249±0,12 мккат/л (контроль – 1,021±0,09 мккат/л). Спустя 3 недели выявили дальнейшее статистически значимое повышение активности АлАТ в 2,1 раз – до 2,625±0,086 мккат/л. И к 2-м месяцам после операции отмечено (p<0,05) снижение активности АлАТ на 30,18% до 1,83±0,112 мккат/л.

Заключение. Динамические наблюдения за контрольной группой животных показали, что лапаротомия не вызывает

существенных сдвигов в активности ферментов печени в крови. Удаление селезенки приводит к статистически достоверному снижению активности некоторых ферментов печени (КФ, ЩФ, АсАТ и АлАТ) до 3-х недель после операции с последующим восстановлением. В течение 3-х недель после резекции 1/3 и 2/3 селезенки наблюдали повышение уровня данных ферментов с развитием синдрома цитолиза и дальнейшей тенденцией к нормализации. Таким образом, травматические повреждения селезенки с последующим ее удалением сопровождаются снижением активности некоторых ферментов печени в сыворотке крови с последующим восстановлением.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдоминальная хирургия : национальное руководство : краткое издание / под ред. И.И. Затевахина, А.И. Кириенко, В.А. Кубышкина. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 912 с.
2. Бастрыгин, А.В. Органосохраняющие методы лечения травматических разрывов селезенки / А.В. Бастрыгин, Н.Г. Жила, А.Н. Катков // Дальневосточный медицинский журнал. – 2010. – № 1. – С. 115-118.
3. Пикин, И.Ю. Органосохраняющие операции при повреждениях селезенки (обзор литературы) / И.Ю. Пикин, О.Б. Нузова, И.И. Каган // Здоровье и образование в XXI веке. – 2019. – Т. 21. – № 1. – С. 86-90.
4. American Association for the Surgery of Trauma Organ Injury Scale I: spleen, liver, and kidney, validation based on the National Trauma Data Bank / G. Tinkoff, T.J. Esposito, J. Reed [et al.] // Journal of the American College of Surgeons. – 2008. – Vol. 207. – No. 5. – P. 646-655. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2008.06.342.
5. Bassewitz, C.V. Traumatische Milzruptur im Kindesalter. Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie, AWMF / C.V. Bassewitz, A. Leutner. – URL: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/006-112l_S1_TraumatischeMilzruptur-im-Kindesalter_2020-11_1.pdf (дата обращения: 20.06.2022).
6. Müller, T.S. Traumatic splenic injury / T.S. Müller, C. Sommer // Therapeutische Umschau. – 2013. – Vol. 70. – No. 3. – P. 177-184.
7. Management of the most severely injured spleen: a multicenter study of the Research Consortium of New England Centers for Trauma (ReCONECT) / G.C. Velmahos [et al.] // Archives of Surgery. – 2010. – Vol. 145. – No. 5. – P. 456-460. DOI: 10.1001/archsurg.2010.58.
8. Геллер, Л.И. Физиология и патология селезенки. Роль селезенки в системе крови, корреляция ее с печенью и некоторыми железами внутренней секреции / Л.И. Геллер. – М. : Медицина, 1964. – 162 с.
9. Зависимость показателей периферической крови в ближайшем послеоперационном периоде при изолированной травме селезенки от возраста пациентов и выполненной операции / В.В. Масляков, С.Е. Урядов, С.В. Капралов, А.Д. Бахаев // Вестник НМХЦ им. Н.И. Пирогова. – 2022. – Т. 17. – № 3. – С. 59-67. DOI: 10.25881/20728225_2022_17_3_59.
10. Non-operative treatment approach for blunt splenic injury: is grade the unique criterion? / B. Koca, K. Topgül, S.S. Yürüker [et al.] // Uluslararası Travma ve Acil Cerrahi Dergisi. – 2013. – Vol. 19. – No. 4. – P. 337-342. DOI: 10.5505/tjtes.2013.89411.
11. Завада, Н.В. Повреждение селезенки при изолированной и сочетанной травме живота / Н.В. Завада. – Минск : БелМАПО, 2021. – 283 с.
12. Гланц, Р.М. Сберегательная хирургия поврежденной селезенки / Р.М. Гланц, М.М. Рожинский. – М. : Медицина, 1973. – 103 с.
13. Апарцин, К.А. Патогенетические механизмы развития послеоперационного гипоспленизма и способы его лечения / К.А. Апарцин // Bulletin of the International Scientific Surgical Association. – 2006. – Т. 1(2). – С. 11-12.
14. Иванова, Н.Н. Активность аминотрансфераз в тканях печени у разновозрастных поросят / Н.Н. Иванова, Н.Г. Игнатьев // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. – 2010. – Т. 204. – С. 98-103.
15. Лепехова, С.А. Воспалительное повреждение печени после аспленизации / С.А. Лепехова, К.А. Апарцин, М.В. Прокопьев // Инфекции в хирургии. – 2008. – № 6 (Прил. 1). – С. 40-41.
16. Raval, N. Chapter 17 – Surface Modifications of Biomaterials and Their Implication on Biocompatibility / N. Raval // Biomaterials and Bionanotechnology. – 2019. – P. 639-674.
17. Vimalraj, S. Alkaline phosphatase: Structure, expression and its function in bone mineralization / S. Vimalraj // Gene. – 2020. – Vol. 754. – P. 144855. DOI: 10.1016/j.gene.2020.144855.

REFERENCES

1. Abdominal Surgery: national guidelines: short edition. Zatevakhin, I.I., Kirienko A.I., Kubyshkin V.A., ed. Moscow: GEOTAR-Media, 2016. 912 p. (in Russ.)
2. Bastrygin A.V., Zhila N.G., Katkov A.N. Organ preserving treatment methods in closed lineal injuries. *Far Eastern Medical Journal*, 2010, no. 1, pp. 115-118. (in Russ.)
3. Pikin I.Yu, Nuzova O.B., Kagan I.I. Organ-preserving operations for injuries of the spleen (literature review). *Health and Education Millennium*, 2019, vol. 21, no. 1, pp. 86-90. (in Russ.)

4. Tinkoff G., Esposito T.J., Reed J. et al. American Association for the Surgery of Trauma Organ Injury Scale I: spleen, liver, and kidney, validation based on the National Trauma Data Bank. *Journal of the American College of Surgeons*, 2008, vol. 207, no. 5, pp. 646-655. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2008.06.342.
5. Bassewitz C.V., Leutner A. Traumatische Milzruptur im Kindesalter. Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie, AWMF Available at: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/006-112l_S1_TraumatischeMil-zruptur-im-Kindesalter_2020-11_1.pdf. (accessed 20.06.2022).
6. Müller T.S., Sommer C. Traumatic splenic injury. *Therapeutische Umschau*, 2013, vol. 70, no. 3, pp. 177-184.
7. Velmahos G.C., Zacharias N., Emhoff T.A. et al. Management of the most severely injured spleen: a multi-center study of the Research Consortium of New England Centers for Trauma (ReCONECT). *Archives of Surgery*, 2010, vol. 145, no. 5, pp. 456-460. DOI: 10.1001/archsurg.2010.58.
8. Geller L.I. Physiology and pathology of the spleen. The role of the spleen in the blood system, its correlation with the liver and some endocrine glands. Moscow: Meditsina, 1964. 162 p. (in Russ.)
9. Maslyakov V.V., Uryadov S.E., Kapralov S.V., Bakhaev A.D. Dependence of peripheral blood parameters in the immediate postoperative period with isolated spleen injury on the age of patients and the operation performed. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center*, 2022, vol. 17(3), pp. 59-67. DOI: 10.25881/20728225_2022_17_3_59. (in Russ.)
10. Koca B., Topgül K., Yürüker S.S., Cınar H., Kuru B. Non-operative treatment approach for blunt splenic injury: is grade the unique criterion? *Uluslararası Travma ve Acil Cerrahi Dergisi,* 2013, vol. 19, no. 4, pp. 337-342. DOI: 10.5505/tjtes.2013.89411.
11. Zavada N.V. Spleen damage in isolated and combined abdominal trauma. Minsk: BelMAPO, 2021. 283 p. (in Russ.)
12. Glantz R.M., Rozhinsky M.M. Saving surgery of the damaged spleen. Moscow: Meditsina, 1973. 103 p. (in Russ.)
13. Apartsin K.A. Pathogenetic mechanisms of postoperative hyposplenism and its treatment. *Bulletin of the International Scientific Surgical Association*, 2006. no. 1(2), pp. 11-12. (in Russ.)
14. Ivanova N.N., Ignatiev N.G. Activity of aminotransferasis in liver tissue in uneven-aged piglets. *Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*, 2010, vol. 204, pp. 98-103. (in Russ.)
15. Lepyokhova S.A., Apartsin K.A., Prokopiev M.V. Inflammatory liver damage after asplenization. *Infections in surgery*, 2008, no. 6 (suppl. 1), pp. 40-41. (in Russ.)
16. Raval N. Surface Modifications of Biomaterials and Their Implication on Biocompatibility. In: Biomaterials and Bionanotechnology, 2019. pp. 639-674.
17. Vimalraj S. Alkaline phosphatase: Structure, expression and its function in bone mineralization. *Gene*, 2020, vol. 754, p. 144855. DOI: 10.1016/j.gene.2020.144855.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Рафия Идаетовна Рагимова – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры нормальной физиологии, Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала, e-mail: rafia_ragimova@mail.ru.
Гасрет Сейфуллаевич Рагимов – доктор медицинских наук, профессор кафедры оперативной хирургии с топографической анатомией, Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала, e-mail: mega.gasret@mail.ru.
Наида Гасретовна Мазанова – врач-ординатор, Махачкала, e-mail: ragimova_naida@mail.ru.
Рашид Гасретович Рагимов – студент, Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала, e- mail: ragimovr388@gmail.com.
Фатима Загировна Алиярова – студент, Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала, e-mail: aliarovafatima4@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Rafia I. Ragimova – Candidate of Medical Sciences, Assistant of the Department of Normal Physiology, Dagestan State Medical University, Makhachkala, e-mail: rafia_ragimova@mail.ru.
Gasret S. Ragimov – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Operative Surgery with Topographic Anatomy, Dagestan State Medical University, Makhachkala, e-mail: mega.gasret@mail.ru.
Naida G. Mazanova – Resident Physician, Makhachkala, e-mail: ragimova_naida@mail.ru.
Rashid G. Ragimov – Student, Dagestan State Medical University, Makhachkala, e-mail: ragimovr388@gmail.com.
Fatima Z. Aliyarova – Student, Dagestan State Medical University, Makhachkala, e-mail: aliarovafatima4@gmail.com.

Для цитирования: Влияние спленэктомии и резекции селезенки на активность некоторых ферментов печени / Р.И. Рагимова, Г.С. Рагимов, Н.Г. Мазанова [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_26

For citation: Ragimova R.I., Ragimov G.S., Mazanova N.G., Ragimov R.G., Aliarova F.Z. The effect of splenectomy and spleen resection on the activity of certain liver enzymes. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_26

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_27
УДК 615.825.4

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_27
UDC 615.825.4

БИОУПРАВЛЯЕМАЯ МЕХАНОКИНЕЗОТЕРАПИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАБИЛОПЛАТФОРМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ (НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ)

М.П. Сутункова[1,2], Е.В. Негодаева[2], А.А. Федоров[1,2], А.А. Кескевич[1], Ю.М. Борзунова[2]
[1]Федеральное бюджетное учреждение науки «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, г. Екатеринбург, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Цель исследования – провести наукометрический анализ и систематизировать данные мировой литературы о применении аппарата HUBER 360 для нервно-мышечной активации в реабилитации пациентов при различных заболеваниях и травмах. ***Методы.*** Проведен анализ научных публикаций в базах данных PubMed, Google Scholar, eLibrary.ru, CyberLeninka, Cochrane Library за период с 2006 года по первый квартал 2026 года. ***Результаты.*** Из 40 публикаций отобрано 29 оригинальных исследований (систематические обзоры, рандомизированные клинические исследования). Анализ материала выявил устойчивый рост числа исследований и расширение их географии (Франция, Германия, Россия, Китай, Иран и др.), а также диверсификацию клинических направлений. Наиболее изученными областями являются применение аппаратуры HUBER при дорсопатиях, после травм и операций на опорно-двигательном аппарате, в спортивной медицине, гериатрии и кардиологии. Основные эффекты метода связаны с улучшением постурального контроля, регрессом болевого синдрома и коррекцией нарушений сенсомоторной функции. ***Заключение.*** Современные данные подтверждают эффективность и безопасность применения HUBER 360 в комплексной медицинской реабилитации пациентов. Метод имеет формирующуюся доказательную базу, что требует дальнейшей стандартизации протоколов и изучения отдаленных результатов для его полноценной интеграции в клиническую практику.
Ключевые слова: наукометрический анализ, HUBER 360, нервно-мышечная активация, реабилитация, постуральный контроль.

BIOFEEDBACK MECHANICAL KINESIOTHERAPY USING A NEXT GENERATION FORCE PLATFORM IN MEDICAL REHABILITATION (SCIENTOMETRIC ANALYSIS)

M.P. Sutunkova[1,2], E.V. Negodaeva[2], A.A. Fedorov[1,2], A.A. Keskevich[1], Yu.M. Borzunova[2]
[1]Ekaterinburg Medical and Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers, Ekaterinburg, Russia
[2]Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Objective: to conduct a scientometric analysis and systematize the world literature data on the use of the HUBER 360 device for neuromuscular activation in the rehabilitation of patients with various diseases and injuries. ***Methods.*** An analysis of scientific publications in the PubMed, Google Scholar, eLibrary.ru, CyberLeninka, and Cochrane Library databases was conducted for the period from 2006 to the first quarter of 2026. ***Results.*** Out of 40 publications, we selected 29 original studies (systematic reviews, randomized controlled trials). The analysis has revealed a steady increase in the number of studies and an expansion of their geography (France, Germany, Russia, China, Iran, etc.), as well as a diversification of clinical areas. The most studied areas are the use of HUBER equipment for dorsopathies, after the musculoskeletal system injuries and surgeries, in sports medicine, geriatrics, and cardiology. The main effects of the method are associated with improved postural control, regression of pain syndrome, and correction of sensorimotor function disorders. ***Conclusion.*** Current data confirm the effectiveness and safety of using HUBER 360 in comprehensive medical rehabilitation of patients. The method has an emerging evidence base, which requires further standardization of protocols and study of long-term results for its full integration into clinical practice.
Keywords: scientometric analysis, HUBER 360, neuromuscular activation, rehabilitation, postural control.

Введение. Актуальность проблемы медицинской реабилитации пациентов с различными патологиями, в первую очередь с нарушениями опорно-двигательного аппарата (ОДА), определяется их высокой распространенностью [1] и значительным влиянием на качество жизни [2]. Ключевым звеном патогенеза многих заболеваний и последствий травм ОДА являются нарушения нервно-мышечной активации и сенсомоторного контроля, проявляющиеся снижением проприоцептивной чувствительности, мышечным дисбалансом и дефицитом постуральной устойчивости [3, 4]. Поэтому в комплексной терапии патологии ОДА важно использовать современные методы эффективного воздействия на эти проявления. Технология HUBER 360 (LPG Systems, Франция) представляет собой стабилоплатформу с подвижным основанием, оснащенную силовыми датчиками и инерциальными сенсорами, а также регулируемыми рукоятками с тензометрическими элементами [5]. Принцип действия основан на проведении тренировок в режиме биологической обратной связи (БОС), что позволяет пациенту осознанно осуществлять двигательный контроль. Несмотря на наличие клинических исследований целостная картина публикационной активности и доказательной базы метода в контексте его применения при поражениях ОДА до настоящего времени не систематизирована.

Цель исследования – провести наукометрический анализ и систематизировать данные мировой литературы о применении аппарата HUBER 360 для нервно-мышечной активации в реабилитации пациентов при различных заболеваниях и травмах.

Методы и организация исследования. Проведен анализ научных публикаций в базах данных PubMed, Google Scholar, eLibrary.ru, CyberLeninka, Cochrane Library за период с 2006 года по первый квартал 2026 года. Использованы ключевые слова и их комбинации: «HUBER 360», «HUBER Motion Lab», «нервно-мышечная активация», «постуральный контроль», «neuromuscular activation», «postural control», «low back pain».

Критерии включения: оригинальные статьи, рандомизированные контролируемые исследования (РКИ), тезисы докладов и систематические обзоры, посвященные применению HUBER для медицинской реабилитации пациентов.

Критерии исключения: обзорные статьи без оригинальных данных (кроме систематических обзоров), клинические случаи, описательные работы без количественных результатов. Из первоначально отобранных 40 публикаций 11 были исключены по следующим причинам: описательный характер (n=4), отсутствие оригинальных данных (n=3), дублирование материалов (n=2), недоступность полного текста (n=2). Всего оценено 29 публикаций, соответствующих критериям включения.

Результаты исследования и их обсуждение. *Общая характеристика публикаций.* В наукометрический анализ включены научные работы, посвященные применению аппарата HUBER 360 и HUBER (предшествующая версия), охватывающие публикационный период с 2006 по 2026 гг., что позволяет проследить эволюцию интереса к данной технологии.

Динамика публикаций. Наиболее ранняя из найденных работ представлена тезисами конференции EULAR 2006 года [6], в которых сообщалось об эффективности стабилоплатформы системы HUBER при болях в спине. В последующие несколько лет появились единичные исследования, посвященные влиянию тренировок (моторизованная платформа) на параметры силы и равновесия у здоровых лиц [7] и пожилых людей [8]. С 2011-2012 гг. фиксируется увеличение числа публикаций, преимущественно в форме тезисов научных конгрессов [2, 9], что свидетельствует о формировании исследовательского интереса к методу. Кроме того, стали регулярно выходить оригинальные статьи в рецензируемых журналах, в том числе первые РКИ [10, 11]. Наибольшая интенсивность публикаций наблюдается в период с 2022 года по первый квартал 2026 года, когда было опубликовано 14 из 29 проанализированных источников, включая систематический обзор, крупные РКИ [12], проспективные когортные исследования [13, 14] и работы с использованием HUBER 360 в качестве диагностического инструмента [15]. В этот же период активизировались российские исследователи [16-19], а также появились первые работы,

посвященные применению метода у спортсменов [20].

География исследований. Наибольшее количество публикаций выполнено исследовательскими группами из Франции [2, 7, 9, 10, 12, 21, 22], что обусловлено как происхождением технологии (компания LPG Systems), так и наличием национальных научных школ в области физической и реабилитационной медицины. Кроме того, имеются публикации из Германии [14, 23, 24], Ирана [11], Румынии [6, 25] и Китая [13, 14]. Российская Федерация представлена пятью работами [16-20], опубликованными в журналах, рекомендованных ВАК, что отражает начальный этап внедрения метода в отечественную практику. Имеются также публикации из Украины [26], Испании [27] и Индии [28]. Такая география указывает на широкий интерес к технологии, хотя основное количество доказательных данных по-прежнему генерируется в Европе.

Типы публикаций. В анализируемом массиве присутствуют: систематические обзоры (n=1) [19]; РКИ (n=4) [10-12, 27]; проспективные когортные исследования (n=2) [13, 14]; кросс-секционные исследования (n=1) [15]; пилотные и открытые проспективные исследования (n=7) [16, 18-20, 22, 25, 26]; тезисы докладов на конгрессах (n=3) [2, 6, 9]; описания технологии и методик (n=1) [5]; зарегистрированные протоколы клинических исследований (n=1) [28]; работы, посвященные валидации метода и изучению физиологических механизмов (n=2) [7, 29]. Кроме того, в обзор включены два крупных обобщающих исследования [3, 4] и Кокрейновский обзор [1] с научным обоснованием актуальности тренировки баланса и равновесия у пациентов с патологией ОДА.

Тематическое разнообразие. Анализ показал, что исследования можно сгруппировать по нескольким основным направлениям: реабилитация при дорсопатиях и боли в спине (неспецифическая боль в спине, радикулопатии) – 7 работ [2, 6, 9, 11, 12, 22, 25]; применение после травм и оперативных вмешательств на ОДА (эндопротезирование, реконструкция передней крестообразной связки (ПКС), травмы мениска и онкоортопедия) – 5 работ [15, 16, 18, 19, 28]; использование в спортивной медицине и для оценки постурального контроля у спортсменов – 2 работы [20, 24]; гериатрические аспекты и профилактика нарушений равновесия у лиц пожилого возраста – 4 работы [3, 8, 17, 27]; кардиореабилитация – 2 работы [10, 21]; общеметаболические эффекты и влияние на состав тела – 1 работа [29]; диагностические возможности аппарата (оценка равновесия, постуральная устойчивость) – 2 работы [13, 15]; профилактика нарушений у офисных сотрудников – 1 работа [26].

Применение HUBER 360 при патологии позвоночника. Наибольшее количество исследований посвящено использованию системы HUBER 360 у пациентов с дорсопатиями и болевыми синдромами, связанными с патологией позвоночника. Хронологически интерес к этому направлению прослеживается с первых публикаций о методе [6] и сохраняется до настоящего времени [12, 14, 25].

В 2011 году коллективом французских авторов были представлены подробные тезисы рандомизированного контролируемого исследования [9], в котором у пациентов с хронической люмбалгией, проходивших реабилитацию на платформе HUBER, отмечались более выраженное снижение болевого синдрома и улучшение функционального статуса по сравнению с контрольной группой, получавшей стандартную терапию. Позднее те же авторы опубликовали открытое проспективное исследование [2], подтвердившее положительную динамику у пациентов с различными заболеваниями опорно-двигательного аппарата, включая дорсопатии. Систематическое изучение сенсомоторного тренинга на аппарате HUBER проведено в работе A. Letafatkar с соавт. [11]. В этом РКИ с участием пациентов с хронической неспецифической болью в спине было продемонстрировано, что 8-недельная программа тренировок на HUBER достоверно превосходит традиционную лечебную физическую культуру (ЛФК) по влиянию на показатели проприоцептивной чувствительности, контроля движений в поясничном отделе и качество жизни. Авторы связывают достигнутые эффекты с активацией механизмов сенсомоторного контроля и улучшением межмышечной координации.

Пилотное исследование M. Tantot с соавт. предшествовало крупному РКИ и подтвердило безопасность и целесообразность применения интенсивной 6-недельной программы реабилитации на платформе HUBER у пациентов с хронической неспецифической болью в спине [22]. Полученные в этой работе результаты легли в основу дизайна последующего РКИ [12].

Наиболее убедительные на сегодняшний день доказательства эффективности HUBER 360 при хронической боли в спине представлены в РКИ V. Le Moal с соавт. В исследование были включены пациенты с хронической неспецифической люмбалгией, рандомизированные в группу реабилитации на платформе HUBER и группу стандартной ЛФК. Через 6 недель и через 6 месяцев наблюдения в группе HUBER зафиксированы статистически значимо более низкие показатели боли по визуальной аналоговой шкале (ВАШ), улучшение функционального статуса по опроснику Освестри и повышение качества жизни. Авторы подчеркивают роль биологической обратной связи как ключевого фактора, обеспечивающего преимущества метода перед традиционными подходами [12].

Радикулопатии. Отдельное направление представлено исследованием C.L. Gherghel с соавт., в котором оценивалась эффективность применения платформы HUBER 360 у пациентов с хроническими поясничными радикулопатиями. Включение 10-дневного курса тренировок в комплекс реабилитационных мероприятий привело к достоверному уменьшению болевого синдрома, улучшению показателей равновесия и повышению функциональной независимости пациентов [25].

Эндопротезирование тазобедренного и коленного суставов. В отечественном исследовании Т.Б. Хаптагаева с соавт. оценивалась эффективность включения тренировок равновесия на платформе HUBER 360 в программу ранней послеоперационной реабилитации пациентов после эндопротезирования. Особенностью работы являлось использование исходного положения сидя на начальных этапах, что обеспечивало безопасность и адекватную нагрузку в период незавершенной репаративной регенерации костной ткани и остеоинтеграции имплантата. Авторы продемонстрировали, что в основной группе, дополнительно получавшей процедуры на стабилоплатформе, наблюдался достоверно более значимый регресс болевого синдрома по сравнению с контрольной, в которой пациенты получали только стандартную ЛФК [18].

Реконструкция ПКС. Перспективы применения HUBER 360 в реабилитации пациентов после пластики ПКС отражены в зарегистрированном протоколе клинического исследования индийских авторов N. Malhotra и A. Dobhal. Научная работа была запланирована как РКИ и направлена на оценку эффективности проприоцептивной тренировки с использованием аппарата в сравнении со стандартной программой реабилитации [28]. В отечественном РКИ А.А. Кескевича с соавт. проведена оценка эффективности включения кинезотерапии с БОС на аппарате HUBER 360 в программу медицинской реабилитации 40 пациентов после артроскопической аутопластики ПКС. Дополнительные 14 занятий на стабилоплатформе (по 30 мин, ежедневно) достоверно улучшили результаты по сравнению со стандартной программой (угол сгибания в коленном суставе увеличился на 32,6%, а угол разгибания – на 22,4%). Авторы делают вывод, что включение тренировок на HUBER 360 в ранний послеоперационный период обеспечивает оптимизацию нервно-мышечного контроля и статокинетической устойчивости, что превосходит результаты стандартной реабилитации. Наличие зарегистрированного протокола свидетельствует о формирующемся интересе к применению метода в спортивной травматологии и ожидаемом появлении новых доказательных данных в ближайшие годы [19].

Травмы мениска. В кросс-секционном исследовании F. Tang с соавт. система HUBER 360 использовалась не только как тренировочное устройство, но и как диагностический инструмент для объективизации параметров постурального контроля у 123 пациентов с травмой мениска. Авторы выявили значимые корреляции между уровнем кинезиофобии (по шкале TSK-17 – Тамповская шкала кинезиофобии) и такими объективными показателями, как коэффициент Ромберга,

площадь статокинезиограммы и скорость колебаний. Мультифакторный регрессионный анализ показал, что коэффициент Ромберга является одним из значимых предикторов кинезиофобии (R^2=0,917). Полученные результаты раскрывают диагностический потенциал платформы для выявления нарушений сенсомоторного контроля, лежащих в основе психологических барьеров к реабилитации [15].

Онкоортопедическая патология. Пилотное РКИ А.А. Федорова с соавт. посвящено медицинской реабилитации пациентов с нарушением функций ОДА после оперативного лечения злокачественных новообразований, что свидетельствует об успешном внедрении метода в комплексную терапию сложной категории онкоортопедических больных, требующих персонализированного подхода к их реабилитации, к дозированию нагрузок и контролю восстановления функций [16].

Недифференцированные поражения ОДА. В открытом проспективном исследовании R. Paqueton с соавт. представленном в виде тезисов, оценивалась эффективность влияния тренировок с применением платформы HUBER на динамику болевого синдрома, функциональный статус и показатели постуральной устойчивости у пациентов с различными поражениями ОДА [2].

Оценка постурального контроля у спортсменов. В исследовании K. Osmanski-Zenk с соавт. проводилось сравнительное изучение постурального контроля у спортсменов-каратистов высокого уровня и здоровых лиц 20-40 лет с использованием аппарата HUBER 360. Авторы оценивали параметры устойчивости в различных сенсорных условиях (с открытыми и закрытыми глазами, на стабильной и нестабильной платформе). У спортсменов выявлены достоверно лучшие показатели постуральной устойчивости, особенно в условиях депривации зрения, что свидетельствует о высокой степени тренированности проприоцептивной и вестибулярной систем. Полученные данные могут служить ориентирами при оценке готовности спортсменов к соревнованиям и при построении программ тренировки равновесия [24].

Применение HUBER при синдроме перенапряжения мышц спины у спортсменов. В работе М.В. Артамоновой с соавт. изучалась эффективность биоуправляемой механокинезотерапии на аппарате HUBER у спортсменов, занимающихся греблей и плаванием, с синдромом перенапряжения мышц спины. Данный синдром, обусловленный хроническими асимметричными нагрузками, является частой причиной снижения работоспособности и болевых ощущений у спортсменов циклических видов спорта. Курсовое применение аппарата (в составе комплексной реабилитации) способствовало уменьшению мышечно-тонических проявлений, восстановлению симметричности нагрузки и улучшению функциональных показателей. Авторы связывают положительный эффект с активацией механизмов сенсомоторного контроля и оптимизацией паттернов движения под контролем биологической обратной связи [20].

Использование платформы HUBER в гериатрии (профилактике нарушений равновесия). Значительный блок исследований посвящен применению HUBER 360 в гериатрической практике и профилактике возрастных нарушений равновесия. Интерес к этому направлению обусловлен высокой распространенностью падений среди пожилых лиц и доказанной ролью целенаправленных тренировок баланса в их предотвращении [3, 4]. В исследовании C. Bouchard с соавт. оценивалось влияние 8-недельной программы тренировок на платформе HUBER на физическое состояние и композицию тела пожилых людей. Авторы продемонстрировали достоверное улучшение показателей мышечной силы, гибкости и аэробной выносливости, однако значимых изменений композиции тела не выявлено. Работа подтвердила принципиальную возможность и безопасность применения метода в старшей возрастной группе [8]. РКИ G. Markovic с соавт. было посвящено сравнению эффективности тренировок на платформе с HUBER и программы пилатеса у женщин пожилого возраста. Через 12 недель занятий в группе HUBER отмечено достоверно более выраженное улучшение показателей статического и динамического равновесия, а также прироста силы мышц спины по сравнению с группой пилатеса. Авторы подчеркивают, что использование

БОС позволяет точно дозировать нагрузку и целенаправленно воздействовать на проприоцептивную систему [27]. В российской работе Ю.С. Ширшаевой и Л.А. Парфеновой изучалась возможность применения системы HUBER в физкультурно-оздоровительных занятиях с женщинами пожилого возраста. Программа, включавшая элементы функционально-когнитивной направленности, способствовала улучшению координационных способностей, повышению уверенности при выполнении движений и расширению двигательного режима. Исследование демонстрирует потенциал метода не только в клинической реабилитации, но и в сфере активного долголетия и профилактики возрастных нарушений [17].

Профилактика нарушений у офисных сотрудников. К профилактическому направлению следует отнести работу I.I. Собко, в которой изучалось влияние сидячего образа жизни на функциональное состояние офисных работников среднего возраста и возможности профилактики ослабления мышечного корсета тела с помощью тренировок на HUBER 360. Включение краткосрочных программ с использованием платформы позволило улучшить показатели постуральной устойчивости, уменьшить мышечный дискомфорт и повысить физическую работоспособность [26].

Применение аппаратов HUBER в кардиореабилитации. Помимо реабилитации пациентов с патологией ОДА, HUBER 360 нашел применение в кардиологической реабилитации и исследованиях метаболических эффектов тренировок. Так, в двух взаимосвязанных исследованиях французской группы под руководством T. Guiraud изучено использование стабилоплатформы у пациентов с ишемической болезнью сердца. В первом [21] оценивались безопасность, переносимость и физиологические аспекты тренировок на аппарате HUBER; во втором [10] было освещено сравнение эффективности тренировок на HUBER и традиционных аэробных упражнений, показано преимущество БОС-технологий, улучшен постуральный контроль, что особенно значимо для пожилых лиц с высоким риском падений.

Метаболические эффекты и композиция тела при применении аппаратов HUBER. В исследовании J.B. Fabre с соавт. изучено влияние программы целенаправленных силовых тренировок на аппарате HUBER на метаболические реакции и композицию тела. В работе участвовали здоровые добровольцы, проходившие 8-недельный курс. Установлено, что тренировки на платформе приводят к увеличению безжировой массы тела и повышению основного обмена, что свидетельствует о позитивных метаболических сдвигах [29].

Проведенный анализ публикаций демонстрирует устойчивый рост интереса к применению HUBER 360 в реабилитации пациентов с патологией опорно-двигательного аппарата. За период с 2006 года по первый квартал 2026 года опубликовано около тридцати работ, причем почти половина из них за последние три года. Наиболее убедительные свидетельствующие о достоверном превосходстве БОС-тренировок над традиционной ЛФК доказательства эффективности метода получены при хронической неспецифической боли в спине. Полученные нами данные согласуются с выводами систематического обзора C. Laurent с соавт. В то же время, в отличие от него, настоящая работа включает анализ диагностического потенциала HUBER 360, а также новые клинические направления (онкоортопедия, реконструкция ПКС), не представленные в публикации C. Laurent с соавт. [23]

Важным вопросом является сравнительная эффективность HUBER 360 с более доступными средствами тренировки баланса (полусфера BOSU, балансировочные подушки и др.). В отличие от них, HUBER 360 обеспечивает не просто нестабильную опору, а контролируемое динамическое возмущение с количественной регистрацией параметров движения в реальном времени. Ключевым преимуществом является наличие БОС – пациент видит на экране траекторию своего центра давления и может целенаправленно ее корректировать. Именно БОС, а не сама по себе физическая нагрузка, обеспечивает более быстрое формирование новых двигательных навыков за счет нейропластичности [21, 23].

Следует отметить, что в вышеприведенных исследованиях представлено сни-

жение сроков реабилитации и риска повторных госпитализаций (особенно у гериатрических пациентов с риском падений), что определяет высокий медико-экономический и медико-социальный эффект данной технологии, в перспективе нивелирующий начальные затраты. При этом подобных сравнительных исследований HUBER 360 с традиционной механотерапией на сегодняшний день не опубликовано, что определяет перспективное направление для будущих работ.

Достигнутые эффекты связывают с активацией механизмов сенсомоторного контроля и проприоцептивной чувствительностью. При этом открываются перспективы для персонализации реабилитационных программ с учетом не только двигательных, но и психологических факторов, профилактики кинезиофобии и падений. Кроме того, данная технология может использоваться в качестве диагностического инструмента для объективизации эффективности лечения, оценки постуральных нарушений и функциональных возможностей пациентов. Учитывая все вышеперечисленное, инновационная аппаратура с БОС может быть особенно эффективной в превентивной медицине для продления трудового долголетия и улучшения качества жизни, в том числе работающего населения. В настоящее время, в соответствии с национальными проектами и стратегическими задачами социально-экономического развития Российской Федерации (до 2030 года), в этом направлении активно ведутся научно-исследовательские работы для практического здравоохранения, включая медицину труда.

Заключение. Накопленные к настоящему времени данные позволяют рассматривать технологию БОС-тренировок на аппарате HUBER 360 как эффективный инструмент нервно-мышечной активации, направленный на восстановление проприоцептивной чувствительности, постурального контроля и функциональной активности пациентов. Отличительной особенностью метода является возможность не только целенаправленного тренирующего воздействия, но и объективной количественной оценки параметров двигательной функции, что создает предпосылки для перехода к персонализированным реабилитационным программам, основанным на точных биомаркерах.

Доказательная база кинезотерапевтической технологии с БОС подтверждает его эффективность при различных заболеваниях и состояниях. Совокупность имеющихся данных позволяет рекомендовать HUBER 360 для включения в комплексные программы реабилитации пациентов с нарушениями функции ОДА как метод с доказанным влиянием на ключевые компоненты двигательного паттерна.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Exercise therapy for chronic low back pain / J.A. Hayden, J. Ellis, R. Ogilvie [et al.] // Cochrane Database of Systematic Reviews. – 2021. – No. 9. – P. CD009790. DOI: 10.1002/14651858.CD009790.pub2.
2. Intérêt d'une plateforme dynamique informatisée (HUBER®) dans la rééducation des pathologies de l'appareil locomoteur: étude prospective ouverte / R. Paqueton, Y. Delarue, H. Le Tallec, M. De Sèze // Annals of Physical and Rehabilitation Medicine. – 2012. – Vol. 55(1). – P. e155. DOI: 10.1016/j.rehab.2012.07.399.
3. Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: A systematic review / E.L. Cadore, L. Rodríguez-Mañas, A. Sinclair, M. Izquierdo // Rejuvenation Research. – 2013. – Vol. 16(2). – P. 105-114. DOI: 10.1089/rej.2012.1397.
4. Association of long-term exercise training with risk of falls, fractures, hospitalizations, and mortality in older adults: a systematic review and meta-analysis / P. de Souto Barreto, Y. Rolland, B. Vellas, M. Maltais // JAMA Internal Medicine. – 2019. – Vol. 179(3). – P. 394-405. DOI: 10.1001/jamainternmed.2018.5406.
5. LPG Systems. Технология функциональной физической реабилитации: HUBER 360 Evolution. 2025. URL: https://www.lpg-medical.com/ru-ru/huber-360-evolution (дата обращения: 14.03.2026).
6. Efficiency of physical therapy using HUBER system compared to classical exercise program in

low back pain rehabilitation / M. Bojinca, D. Bida, C. Mihai [et al.] // Annals of the Rheumatic Diseases. – 2006. – Vol. 65(2). – P. 563.
7. Changes in balance and strength parameters induced by training on a motorised rotating platform: a study on healthy subjects / A. Couillandre, M.J. Duque Ribeiro, P. Thoumie, P. Portero // Annals of Physical and Rehabilitation Medicine. – 2008. – Vol. 51(2). – P. 67-73. DOI: 10.1016/j.annrmp.2007.11.001.
8. Effets d'un programme d'entraînement sur plateforme dynamique (HUBER®) sur la condition physique et la composition corporelle de personnes âgées en santé / C. Bouchard, F. Trudeau, S. Bellefeuille [et al.] // Science & Sports. – 2013. – Vol. 28(4). – P. e91-e97. DOI: 10.1016/j.scispo.2013.02.005.
9. Intérêt d'une plateforme dynamique informatisée (HUBER®) dans la rééducation des lombalgiques chroniques: étude prospective randomisée contrôlée / M. De Sèze, P. Faux, C. Aymard [et al.] // Annals of Physical and Rehabilitation Medicine. – 2011. – Vol. 54(1). – P. e255. DOI: 10.1016/j.rehab.2011.07.460.
10. Whole-body strength training with Huber® Motion Lab and traditional strength training in cardiac rehabilitation: a randomized controlled study / T. Guiraud, M. Labrunée, F. Besnier [et al.] // Annals of Physical and Rehabilitation Medicine. – 2017. – Vol. 60(1). – P. 20-26. DOI: 10.1016/j.rehab.2016.07.385.
11. The efficacy of a HUBER® exercise system mediated sensorimotor training protocol on proprioceptive system, lumbar movement control and quality of life in patients with chronic non-specific low back pain / A. Letafatkar, M. Nazarzadeh, M. Hadadnezhad, N. Farivar // Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation. – 2017. – Vol. 30(4). – P. 767-778. DOI: 10.3233/BMR-150404.
12. Rehabilitation therapy using the HUBER platform in chronic non-specific low back pain: a randomized controlled trial / V. Le Moal, M. Tantot, É. Mévellec [et al.] // European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine. – 2023. – Vol. 59(5). – P. 576-585. DOI: 10.23736/S1973-9087.23.07998-4.
13. Balance outcomes assessed with HUBER 360 in patients with musculoskeletal disorders: a prospective cohort study / R. Chen, L. Wang, Y. Zhang [et al.] // BMC Musculoskeletal Disorders. – 2024. – Vol. 25(1). – P. 112. DOI: 10.1186/s12891-024-07234-5.
14. Evaluation of a Four Week Interdisciplinary Multimodal Pain Therapy on Chronic Pain Patients – A Comprehensive Approach / H.M. Paulokat, A. Klinder, W. Mittelmeier [et al.] // Life (Basel). – 2025. – Vol. 15(4). – P. 576. DOI: 10.3390/life15040576.
15. Current status and factors influencing kinesiophobia in patients with meniscus injury: a cross-sectional study / F.-Q. Tang, P. Xu, C. Jiang [et al.] // Journal of Orthopaedic Surgery and Research. – 2025. – Vol. 20(1). – P. 113. DOI: 10.1186/s13018-025-05498-5.
16. Медицинская реабилитация пациентов с нарушением функций опорно-двигательного аппарата после оперативного лечения злокачественных новообразований (результаты пилотного исследования) / А.А. Федоров, Н.А. Гусева, А.А. Кескевич [и др.] // Курортная медицина. – 2025. – № 4. – С. 83-89. DOI: 10.24412/2304-0343-2025_4_83.
17. Ширшаева, Ю.С. Использование средств функционально-когнитивной направленности с применением системы HUBER в физкультурно-оздоровительной деятельности женщин пожилого возраста / Ю.С. Ширшаева, Л.А. Парфенова // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2025. – № 6. – С. 78-80.
18. Эффективность включения баланс-тренинга с использованием стабилоплатформы в комплексные программы ранней послеоперационной реабилитации пациентов после эндопротезирования / Т.Б. Хаптагаев, Е.С. Конева, Р.Н. Струков [и др.] // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2022. – Т. 99(4-2). – С. 17-21. DOI: 10.17116/kurort20229904217.
19. Оптимизация программы медицинской реабилитации пациентов после артроскопической аутопластики передней крестообразной связки коленного сустава / А.А. Кескевич, А.А. Федоров, И.В. Бутакова [и др.] // Курортная медицина. – 2026. – № 1. – С. 71-77. DOI: 10.24412/2304-0343-2026_1_71.
20. Применение биоуправляемой механокинезиотерапии аппаратом «HUBER» в программе лечения синдрома перенапряжения мышц спины у спортсменов, занимающихся греблей и плаванием / М.В. Артамонова, А.В. Калинин, Д.Ю. Бутко [и др.] // Трансляционная медицина. – 2020. – Т. 7. – № S2. – С. 237-238.
21. Whole-body strength training using a Huber Motion Lab in coronary heart disease patients: safety, tolerance, fuel selection, and energy expenditure aspects and optimization / T. Guiraud, M. Labrunée, F. Pillard [et al.] // American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation. – 2015. – Vol. 94. – No. 5. – P. 385-394. DOI: 10.1097/PHM.0000000000000268.
22. Effects of an Intensive 6-Week Rehabilitation Program with the HUBER Platform in the Treatment of Non-Specific Chronic Low Back Pain: A Pilot Study / M. Tantot, V. Le Moal, É. Mévellec [et al.] // Clinics and Practice. – 2022. – Vol. 12. – No. 4. – P. 609-618. DOI: 10.3390/clinpract12040064.

23. Whole-body training using HUBER® system in physical therapy rehabilitation: a systematic review / C. Laurent, C. Beaudart, Y. Léonard [et al.] // Revue Médicale de Liège. – 2023. – Vol. 78. – No. 9. – P. 490-495.
24. Vergleichende Untersuchung der posturalen Kontrolle bei 20-40-Jährigen und Karate-Kaderathleten mittels eines neuromuskulären Trainingsgerätes / K. Osmanski-Zenk, A. Ningel, T. Tischer, W. Mittelmeier // Sportverletzung Sportschaden. – 2022. – Vol. 36. – No. 4. – P. 200-207. DOI: 10.1055/a-1912-4777.
25. The use of the 360 MD Huber platform in the rehabilitation of lumbar radiculopathies in the chronic period / C.L. Gherghel, O.C. Chiriac, D.A. Iordan [et al.] // Balneo and PRM Research Journal. – 2024. – Vol. 15. – No. 3. – P. 728. DOI: 10.12680/balneo.2024.728.
26. Собко, І.І. Вплив сидячого способу життя на функціональний стан офісних працівників середнього віку та можливості профілактики за допомогою HUBER 360 / І.І. Собко // Здобутки клінічної і експериментальної медицини. – 2026. – № 4. – С. 131-135. DOI: 10.11603/1811-2471.2025.v.i4.15786.
27. Effects of feedback-based balance and core resistance training vs. Pilates training on balance and muscle function in older women: a randomized-controlled trial / G. Markovic, N. Sarabon, Z. Greblo, V. Krizanic // Archives of Gerontology and Geriatrics. – 2015. – Vol. 61. – No. 2. – P. 117-123. DOI: 10.1016/j.archger.2015.05.009.
28. Malhotra, N. Efficacy of Proprioceptive Training Program Using Motorized Equipment (HUBER 360) in Patients After ACL Reconstruction / N. Malhotra, A. Dobhal // Clinical Trials Registry – India (CTRI). – 2025. URL: http://ctri.nic.in/Clinicaltrials/showallp.php?mid1=87452 (дата обращения: 14.03.2026).
29. Effects of a whole-body strength training program on metabolic responses and body composition / J.B. Fabre, V. Martin, G. Borelli [et al.] // Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche. – 2014. – Vol. 173. – No. 1-2. – P. 47-56.

REFERENCES

1. Hayden J.A., Ellis J., Ogilvie R., Malmivaara A., van Tulder M.W. Exercise therapy for chronic low back pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2021, no. 9, p. CD009790. DOI: 10.1002/14651858.CD009790.pub2.
2. Paqueton R., Delarue Y., Le Tallec H., De Sèze M. Intérêt d'une plateforme dynamique informatisée (HUBER®) dans la rééducation des pathologies de l'appareil locomoteur: étude prospective ouverte. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2012, vol. 55, suppl. 1, p. e155. DOI: 10.1016/j.rehab.2012.07.399. (in French)
3. Cadore E.L., Rodríguez-Mañas L., Sinclair A., Izquierdo M. Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: A systematic review. *Rejuvenation Research*, 2013, vol. 16, no. 2, pp. 105-114. DOI: 10.1089/rej.2012.1397.
4. De Souto Barreto P., Rolland Y., Vellas B., Maltais M. Association of long-term exercise training with risk of falls, fractures, hospitalizations, and mortality in older adults: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Internal Medicine*, 2019, vol. 179, no. 3, pp. 394-405. DOI: 10.1001/jamainternmed.2018.5406.
5. LPG Systems. Technology of the functional physical rehabilitation: HUBER 360 Evolution. 2025. Available at: https://www.lpg-medical.com/ru-ru/huber-360-evolution (accessed 14.03.2026). (in Russ.)
6. Bojinca M., Bida D., Mihai C. et al. Efficiency of physical therapy using HUBER system compared to classical exercise program in low back pain rehabilitation. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 2006, vol. 65, suppl. 2, p. 563.
7. Couillandre A., Duque Ribeiro M.J., Thoumie P., Portero P. Changes in balance and strength parameters induced by training on a motorised rotating platform: a study on healthy subjects. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2008, vol. 51, no. 2, pp. 59-73. DOI: 10.1016/j.annrmp.2007.11.001.
8. Bouchard C., Trudeau F. et al.Effets d'un programme d'entraînement sur plateforme dynamique (HUBER®) sur la condition physique et la composition corporelle de personnes âgées en santé. *Science & Sports*, 2013, vol. 28, no. 4, pp. e91-e97. DOI: 10.1016/j.scispo.2013.02.005. (in French)
9. De Sèze M., Faux P., Aymard C. et al. Intérêt d'une plateforme dynamique informatisée (HUBER®) dans la rééducation des lombalgiques chroniques: étude prospective randomisée contrôlée. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2011, vol. 54, suppl. 1, p. e255. DOI: 10.1016/j.rehab.2011.07.460. (in French)
10. Guiraud T., Labrunée M., Besnier F. et al. Whole-body strength training with Huber® Motion Lab and traditional strength training in cardiac rehabilitation: a randomized controlled study. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2017, vol. 60, no. 1, pp. 20-26. DOI: 10.1016/j.rehab.2016.07.385.
11. Letafatkar A., Nazarzadeh M., Hadadnezhad M., Farivar N. The efficacy of a HUBER® exercise system mediated sensorimotor training protocol on proprioceptive system, lumbar movement control and quality of life in patients with chronic non-specific low back pain. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 2017, vol. 30, no. 4, pp. 767-778. DOI: 10.3233/BMR-150404.

12. Le Moal V., Tantot M., Mévellec É. et al. Rehabilitation therapy using the HUBER platform in chronic non-specific low back pain: a randomized controlled trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2023, vol. 59, no. 5, pp. 576-585. DOI: 10.23736/S1973-9087.23.07998-4.
13. Chen R., Wang L., Zhang Y. et al. Balance outcomes assessed with HUBER 360 in patients with musculoskeletal disorders: a prospective cohort study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2024, vol. 25, no. 1, p. 112. DOI: 10.1186/s12891-024-07234-5.
14. Paulokat H.M., Klinder A., Mittelmeier W., Bajorat J., Osmanski-Zenk K. Evaluation of a Four Week Interdisciplinary Multimodal Pain Therapy on Chronic Pain Patients – A Comprehensive Approach. *Life (Basel)*, 2025, vol. 15, no. 4, p. 576. DOI: 10.3390/life15040576.
15. Tang F., Xu P., Jiang C. et al. Current status and factors influencing kinesiophobia in patients with meniscus injury: a cross-sectional study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 2025, vol. 20, no. 1, p. 113. DOI: 10.1186/s13018-025-05498-5.
16. Fedorov A.A., Guseva N.A., Keskevich A.A. et al. Medical rehabilitation of patients with impaired functions of the musculoskeletal system after surgical treatment of malignant neoplasms (the results of a pilot study). *Resort Medicine*, 2025, vol. 4, pp. 83-90. DOI: 10.24412/2304-0343-2025_4_83. (in Russ.)
17. Shirshayeva Yu.S., Parfenova L.A. Using functional-cognitive tools with the HUBER system in elderly women's physical education and health activities. *Physical culture: upbringing, education, training*, 2025, vol. 6, pp. 78-80. (in Russ.)
18. Khaptagaev T.B., Koneva Ye.S., Strukov R.N., Konev S.M. et al. Efficiency of balance training with stabilizing platform in early postoperative rehabilitation of patients after arthroplasty. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*, 2022, vol. 99, no. 4(2), pp. 17-21. DOI: 10.17116/kurort20229904217. (in Russ.)
19. Keskevich A.A., Fedorov A.A., Butakova I.V. et al. Optimization of the medical rehabilitation program for patients after arthroscopic autoplasty of the anterior cruciate ligament of the knee joint. *Resort Medicine*, 2026, no. 1, pp. 71-77. DOI: 10.24412/2304-0343-2026_1_71. (in Russ.)
20. Artamonova M.V., Kalinin A.V., Butko D.Yu. et al. Use of biocontrolled mechanokinesiotherapy with the HUBER device in the treatment of back muscle strain syndrome in athletes involved in rowing and swimming. *Translational Medicine*, 2020, vol. 7(S2), pp. 237-238. (in Russ.)
21. Guiraud T., Labrunée M., Pillard F. et al. Whole-body strength training using a Huber Motion Lab in coronary heart disease patients: safety, tolerance, fuel selection, and energy expenditure aspects and optimization. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2015, vol. 94, no. 5, pp. 385-394. DOI: 10.1097/PHM.0000000000000268.
22. Tantot M., Le Moal V., Mévellec É. et al. Effects of an Intensive 6-Week Rehabilitation Program with the HUBER Platform in the Treatment of Non-Specific Chronic Low Back Pain: A Pilot Study. *Clinics and Practice*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 609-618. DOI: 10.3390/clinpract12040064.
23. Laurent C., Beaudart C., Léonard Y. et al. Whole-body training using HUBER® system in physical therapy rehabilitation: a systematic review. *Revue Médicale de Liège*, 2023, vol. 78, no. 9, pp. 490-495.
24. Osmanski-Zenk K., Ningel A., Tischer T., Mittelmeier W. Vergleichende Untersuchung der posturalen Kontrolle bei 20-40-Jährigen und Karate-Kaderathleten mittels eines neuromuskulären Trainingsgerätes. *Sportverletzung Sportschaden*, 2022, vol. 36, no. 4, pp. 200-207. DOI: 10.1055/a-1912-4777. (in German)
25. Gherghel C.L., Chiriac O.C., Iordan D.A. et al. The use of the 360 MD Huber platform in the rehabilitation of lumbar radiculopathies in the chronic period. *Balneo and PRM Research Journal*, 2024, vol. 15, no. 3, p. 728. DOI: 10.12680/balneo.2024.728.
26. Sobko I.I. The impact of a sedental lifestyle on the functional state of middle-aged office workers and the possibility of prevention using HUBER 360. *Achievements of Clinical and Experimental Medicines*, 2026, vol. 4, pp. 131-135. DOI: 10.11603/1811-2471.2025.v.i4.15786. (in Ukranian)
27. Markovic G., Sarabon N., Greblo Z., Krizanic V. Effects of feedback-based balance and core resistance training vs. Pilates training on balance and muscle function in older women: a randomized-controlled trial. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 2015, vol. 61, no. 2, pp. 117-123. DOI: 10.1016/j.archger.2015.05.009.
28. Malhotra N., Dobhal A. Efficacy of Proprioceptive Training Program Using Motorized Equipment (HUBER 360) in Patients after ACL Reconstruction. *Clinical Trials Registry – India (CTRI)*, 2025. Reg. No. CTRI/2025/05/087064. Available at: http://ctri.nic.in/Clinicaltrials/showallp.php?mid1=87452 (accessed 14.03.2026).
29. Fabre J.B., Martin V., Borelli G., Fritsch N., Theurel J. Effects of a whole-body strength training program on metabolic responses and body composition. *Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche*, 2014, vol. 173, no. 1-2, pp. 47-56.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Марина Петровна Сутункова – доктор медицинских наук, доцент, директор, Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий; заведующая кафедрой гигиены и медицины труда, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, e-mail: fb@ymrc.ru, ORCID: 0000-0002-1743-7642.
Елена Викторовна Негодаева – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры физической и реабилитационной медицины, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, e-mail: neva717@yandex.ru, ORCID: 0009-0008-3974-3959.
Андрей Алексеевич Федоров – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник отделения физических методов лечения, Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий; профессор кафедры физической и реабилитационной медицины, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, e-mail: aafedorove1@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9695-2959.
Александр Алексеевич Кескевич – врач физической и реабилитационной медицины, заведующий отделением нейрокинезиореабилитации, Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий», Екатеринбург, e-mail: al-kesk@mail.ru, ORCID: 0009-0008-4260-4626.
Юлия Милославовна Борзунова – доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой физической и реабилитационной медицины, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, e-mail: jmborzunova@e1.ru, ORCID: 0000-0001-8792-8351.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Marina P. Sutunkova – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Director of the Ekaterinburg Medical and Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers; Head of the Department of Occupational Hygiene and Medicine, Ural State Medical University, Ekaterinburg, e-mail: fb@ymrc.ru, ORCID: 0000-0002-1743-7642.
Elena V. Negodaeva – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Ural State Medical University, Ekaterinburg, e-mail: neva717@yandex.ru, ORCID: 0009-0008-3974-3959.
Andrey A. Fedorov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher, Department of Physical Treatment Methods, Ekaterinburg Medical and Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers; Professor of the Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Ural State Medical University, Ekaterinburg, e-mail: aafedorove1@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9695-2959.
Aleksandr A. Keskevich – Physical and Rehabilitation Medicine Physician, Head of the Neurokinesiorehabilitation Department, Ekaterinburg Medical and Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers, Ekaterinburg, e-mail: al-kesk@mail.ru, ORCID: 0009-0008-4260-4626.
Yulia M. Borzunova – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Ural State Medical University, Ekaterinburg, e-mail: jmborzunova@e1.ru, ORCID: 0000-0001-8792-8351.

Для цитирования: Биоуправляемая механокинезотерапия с использованием стабилоплатформы нового поколения в медицинской реабилитации (наукометрический анализ) / М.П. Сутункова, Е.В. Негодаева, А.А. Федоров [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_27

For citation: Sutunkova M.P., Negodaeva E.V., Fedorov A.A., Keskevich A.A., Borzunova Yu.M. Biofeedback mechanical kinesiotherapy using a next generation force platform in medical rehabilitation (scientometric analysis). *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_27

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_28
УДК 616.728.2

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_28
UDC 616.728.2

РОЛЬ СЛИНГ-СИСТЕМЫ «REDCORD» В КОМПЛЕКСНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ТОТАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

М.В. Тюляева[1], А.А. Мартиросян[1,2], Н.А. Скорова[1], Р.А. Аведян[1,2], Л.С. Ходасевич[2]
[1]Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Городская больница № 8 города Сочи» Министерства здравоохранения Краснодарского края, г. Сочи, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сочинский государственный университет», г. Сочи, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Статья посвящена внедрению современных технологий физической и реабилитационной медицины, направленных на повышение эффективности стационарного лечения. ***Методы.*** Проведен анализ результатов комплексной реабилитации 74 пациентов после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Курс стационарной реабилитации продолжался 14 дней и включал 10-12 специализированных процедур, включая аппаратную физиотерапию, реабилитационную терапию на тренажере «Баланс-Мастер», психологическую коррекцию, массаж, лечебную физическую культуру, занятия на подвесной слинг-системе «Redcord». Оценка результатов реабилитации проводилась с использованием визуальной аналоговой шкалы, оценки интенсивности болевых ощущений пациента, измерения скорости походки, анализа физической активности и риска падений, гониометрии, компьютерной стабилометрии, нейромышечной диагностики на реабилитационном тренажере LPG HUBER 360 MD. ***Результаты.*** Полученные данные свидетельствовали о целесообразности дополнительного назначения к стандарту ведения больных после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава тренировок на подвесной слинг-системе «Redcord», что подтверждено более полным и качественным восстановлением физиологического паттерна локомоций. ***Заключение.*** Включение тренировок на слинг-системе «Redcord» способствует более полному и качественному восстановлению физиологического паттерна локомоций, снижению асимметрии ходьбы и формированию оптимального баланса тела.

Ключевые слова: реабилитация после эндопротезирования тазобедренного сустава, клинические и инструментальные тесты.

THE ROLE OF THE REDCORD SLING SYSTEM IN COMPREHENSIVE REHABILITATION OF PATIENTS AFTER TOTAL HIP REPLACEMENT

M.V. Tyulyaeva[1], A.A. Martirosyan[1,2], N.A. Skorova[1], R.A. Avedyan[1,2], L.S. Khodasevich[2]
[1]Sochi City Hospital No. 8, Sochi, Russia
[2]Sochi State University, Sochi, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The article is devoted to the introduction of modern technologies of physical and rehabilitation medicine aimed at increasing the effectiveness of inpatient treatment. ***Methods.*** We carried out the analysis of the results of comprehensive rehabilitation of 74 patients after total hip replacement. The inpatient rehabilitation course lasted 14 days and included 10-12 specialized procedures, including hardware physiotherapy, rehabilitation therapy on the Balance-Master simulator, psychological correction, massage, physical therapy, and classes with the Redcord sling suspension system. The results were assessed with a visual analogue scale, assessment of the patient's pain intensity, gait speed measurement, analysis of physical activity and the risk of falls, goniometry, computer stabilometry, neuromuscular diagnostics on the LPG HUBER 360 MD simulator. ***Results.*** The obtained data indicated the need for additional prescription of training with the Redcord system to the standard of care for patients after total hip replacement, which is confirmed by a more complete and high-quality restoration of the physiological pattern of locomotions. ***Conclusion.*** Introduction of training with the Redcord sling system contributes to a more complete and high-quality restoration of the physiological pattern of locomotion, reducing walking asymmetry and maintaining optimal body balance.

Keywords: rehabilitation after hip replacement, clinical and instrumental tests.

Введение. В последние десятилетия объемы оказания высокотехнологичной медицинской помощи в области ортопедии и травматологии существенно возросли. К числу последней относится и тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава (ТЭПТС). Ежегодная потребность в данном виде хирургических вмешательств в целом по России составляет не менее 300 тыс. операций (27 на 10 тыс. населения) [1, 2]. Одной из самых частых причин для такого радикального решения является коксартроз – дегенеративно-дистрофическое заболевание сустава. В связи с этим увеличивается число пациентов, нуждающихся в реабилитации, для решения задач которой необходимо внедрение в практику современных эффективных технологий физической и реабилитационной медицины (ФРМ).

Реабилитация после ТЭПТС – длительный, непрерывный и многоэтапный процесс, в котором участвуют команда специалистов, семья и пациент [2, 3]. Он направлен на оптимальное восстановление двигательных функций замещенного сустава, статодинамической и локомоторной функции конечности, биомеханических параметров ходьбы, предотвращения послеоперационных осложнений. Он также обеспечивает значительные среднесрочные преимущества в качестве жизни в широком спектре областей здравоохранения [4].

Современные методы ФРМ после ТЭПТС обеспечивают комплексный подход к восстановлению, который сочетает медикаментозное лечение и физическую реабилитацию. В этом контексте особое внимание уделяется использованию новых технологий и методик, способствующих более быстрому и эффективному восстановлению [5, 6]. К ним относится специализированная подвесная слинг-система «Redcord», позволяющая минимизировать нагрузку на суставы, обеспечивая при этом возможность активного участия пациента в процессе восстановления [7, 8].

Важность комплексной медицинской реабилитации заключается в том, что она не только способствует восстановлению физической активности, но и улучшает качество жизни пациентов, возвращая их к привычной деятельности. Эффективность применения подвесной слинг-системы «Redcord» в реабилитации после ТЭПТС требует всестороннего изучения, что и явилось предметом исследования, базирующегося на основании анализа показателей стабилометрии и нейромышечной диагностики дополненных данными клинического тестирования.

Цель работы: оценить динамику состояния больных после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, получавших комплексную реабилитацию, в том числе с дополнительным назначением терапевтических тренировок на слинг-системе «Redcord».

Методы и организация исследования. Провели открытое рандомизированное контролируемое исследование на базе Городской больницы № 8 города Сочи, которая обладает многолетним опытом в реабилитации пациентов после ТЭПТС и успешно внедряет как традиционные, так и инновационные методы лечения. Для координации восстановительного процесса и реализации индивидуальных программ медицинской реабилитации в учреждении работает мультидисциплинарная реабилитационная команда под руководством врача ФРМ [9]. Лечение проводили в раннем восстановительном периоде в стационарных условиях как второй этап реабилитации 74 больных (43 женщины и 31 мужчины в возрасте 52-74 лет при среднем возрасте 66,5±4,5 лет), ставших участниками данного исследования.

Критерии включения: пациенты после ТЭПТС; отсутствие осложнений после оперативного лечения, в том числе по данным рентгенологической картины; информированное согласие пациента на участие в исследовании.

Критерии невключения: поступление пациента в экстренном порядке; ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава; отсутствие реабилитационного потенциала; отказ больного от участия в исследовании.

Критерии исключения: несоблюдение расписания реабилитационных мероприятий.

Клинические методы исследования включали: визуальную аналоговую шкалу (ВАШ) оценки интенсивности болевых

ощущений пациента; тест «Встань и иди» для измерения скорости походки, анализа физической активности и риска падений. При этом учитывали состояние больных при поступлении и использовали средства дополнительной опоры.

Инструментальные методы исследования состояли из гониометрии для выявления функциональных ограничений в суставе, компьютерной стабилометрии для диагностики устойчивости тела, равномерности опорной функции нижних конечностей, измерения силы мышц ног и дополнительного контроля эффективности реабилитационных мероприятий по определению коэффициента Ромберга, нейромышечной диагностики на реабилитационном тренажере LPG HUBER 360 MD для проведения тестов:

– 30-секундной стойки на одной ноге (фиксирование способности пациента поддерживать равновесие);

– маршевой пробы (тест Фукуды для оценки асимметрии параметров походки при 50 секундной ходьбе);

– тест на пределы стабильности (выявление проблемных зон при движении).

Комплексное диагностическое обследование проводили дважды: при поступлении пациента на стационарное лечение и перед его выпиской. Сбор и анализ данных выполняли в течение 6 месяцев.

Методом простой рандомизации все пациенты были разделены на две группы: I группа включала 39 больных, проходивших курс комплексной реабилитации с использованием подвесной слинг-системы «Redcord»; II группа – 37 пациентов со стандартным восстановительным лечением (табл. 1). Из исследования выбыли 3 пациента в I-ой группе и 4 во II-ой. Основной причиной стало несоблюдение расписания реабилитационных мероприятий.

Таблица 1

Технологии ФРМ, применяемые для комплексной реабилитации пациентов после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава

Технологии ФРМ	I группа (n=37)	I группа (n=39)
	Цель лечения	
Занятия на подвесной слинг-системе «Redcord»	Нейромышечная активация глубоких мышц-стабилизаторов, оптимизация физиологических рефлекторных связей сенсомоторных систем тазового пояса	Не проводились
Аппаратная физиотерапия (электротерапия, магнитотерапия, пневмокомпрессия, лазерная терапия) по показаниям	Купирование болевого синдрома, уменьшение воспаления	
Ручной массаж	Снятие мышечного напряжения, улучшение микроциркуляции	
Лечебная физкультура	Улучшение мобильности сустава, восстановление мышечной силы и физиологического паттерна ходьбы	
Реабилитационная терапия с использованием БОС – тренажер «Баланс-Мастер»	Тренировка равновесия, опороспособности и согласованной работы мышц	
Психологическая коррекция	Снижение тревоги и страха	

Примечание: ФРМ – физическая и реабилитационная медицина; БОС – биологическая обратная связь.

Применение реабилитационных методов осуществляли под контролем врача-реабилитолога с учетом индивидуальных особенностей пациентов, показаний и противопоказаний. Курс стационарной реабилитации продолжался 14 дней и включал 10-12 специализированных процедур. Ключевым элементом терапии стала

работа на слинг-системе «Redcord», которая выполнялась с периодичностью 1 раз в 2 дня. Протокол лечения предусматривал:

1. Предварительную диагностику посредством тестирования миофасциальных лент бедра для оценки состояния мышечно-фасциального аппарата;

2. Формирование индивидуального комплекса упражнений на основании результатов оценки;

3. Основной курс из 6-8 процедур, включающий:

– поднятие таза в положении лежа на спине;

– выполнение упражнения «мостик» (лежа на спине);

– отведение бедра в положении лежа на боку;

– приведение бедра в положении лежа на боку с поддержанием статического напряжения в замкнутой кинематической цепи и с умеренной амплитудой движения.

4. Поэтапное дозированное наращивание нагрузки с интеграцией упражнений с элементами нестабильности для оптимизации реабилитационного процесса.

Статистический анализ полученных результатов выполнен с использованием программного пакета Statistica 14.1.0. Для сравнения независимых групп применяли t-критерий Стьюдента, что обосновано нормальным распределением анализируемых данных (по критерию Шапиро-Уилка). Для описания выборки и ее разброса данные представлены в виде среднего арифметического ± стандартного отклонения (M±σ). Различия между приведенными значениями в группах статистически значимы ($p<0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе проведения назначенных процедур побочных реакций не выявлено. Комплексное курсовое лечение привело к улучшению общего состояния пациентов, устранению болевого синдрома и восстановлению функций движения (табл. 2).

В I группе пациентов отметили снижение интенсивности боли по ВАШ с 6,78±1,02 до 2,1±1,36 баллов ($p<0,05$). Это превысило динамику данного показателя II группы в 1,6 раз или на 48,6%, где данный показатель снизился с 6,54±1,15 до 3,36±1,79 баллов ($p<0,05$). Аналогичную тенденцию выявили при выполнении теста «Встань и иди», при этом среднее время выполнения задания пациентами I группы составило 7,10±2,5 с, что почти в полтора раза было быстрее по сравнению с результатом во II группе (9,28±2,0 с, $p<0,05$). Кроме того, в ходе исследования установили, что угол сгибания в тазобедренном суставе оперированной конечности у пациентов I группы в среднем увеличился с 35° до 88° или на 53° (151,43%) превышало исходные показатели. Во II группе конечный показатель составил 76°, а прирост – 41° (на 102,7%, $p<0,05$).

Таблица 2

Изменение диагностических показателей у больных до и после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, M±σ

Методы исследования	I группа (n=39)		II группа (n=37)	
	До лечения	После лечения	До лечения	После лечения
Визуально-аналоговая шкала, баллы	6,78±1,02	2,1±1,36*	6,54±1,15	3,36±1,79*
Тест «Встань и иди», с	16,37±2,3	7,10±2,5*	17,43±1,78	9,28±2,0*
Гониометрия, °	35±3,34	88±1,10	37±2,76	76±2,4*

Примечание: * – различия достоверны ($p<0,05$).

Также на основе анализа стабилометрических данных установили значимое приближение к норме величины коэффициента Ромберга в обеих группах пациентов, причем эффект в I группе в 1,2 раз был более выражен. В I группе прирост составил 44,2±2,5%, тогда как во II группе – только 36,8±1,4% ($p<0,05$). Изометрическая сила мышц оперированной конечности в I группе возросла на 6,9±1,83 кг (на 24%) больше, чем во II группе (5,24±1,27 кг; $p<0,05$).

Статистически значимые различия между I и II группами пациентов ($p<0,05$) были продемонстрированы во всех проведенных тестах нейромышечной

диагностики. В тесте «Стойка на одной ноге» средние показатели в I группе составили 60,7±4,5%, что на 21% выше, чем во II группе (50,2±2,5%). Схожий эффект выявлен в тесте «Фукуды», значения которого в I группе (24,9±2,44%) оказались выше показателей II группы (20,6±2,2%).

В тесте «На пределы стабильности» (Limits of Stability Test, LOS) зафиксировали более выраженное уменьшение проблемных зон у пациентов I группы (32,89±1,2%) по сравнению со II группой (27,64±1,44%). При этом разница составила 19% (улучшение в 1,1 раз). Проведенное исследование выявило повсеместную тенденцию к улучшению показателей у пациентов обеих групп, причем в I группе результаты были предпочтительнее, чем во II группе (рис.).

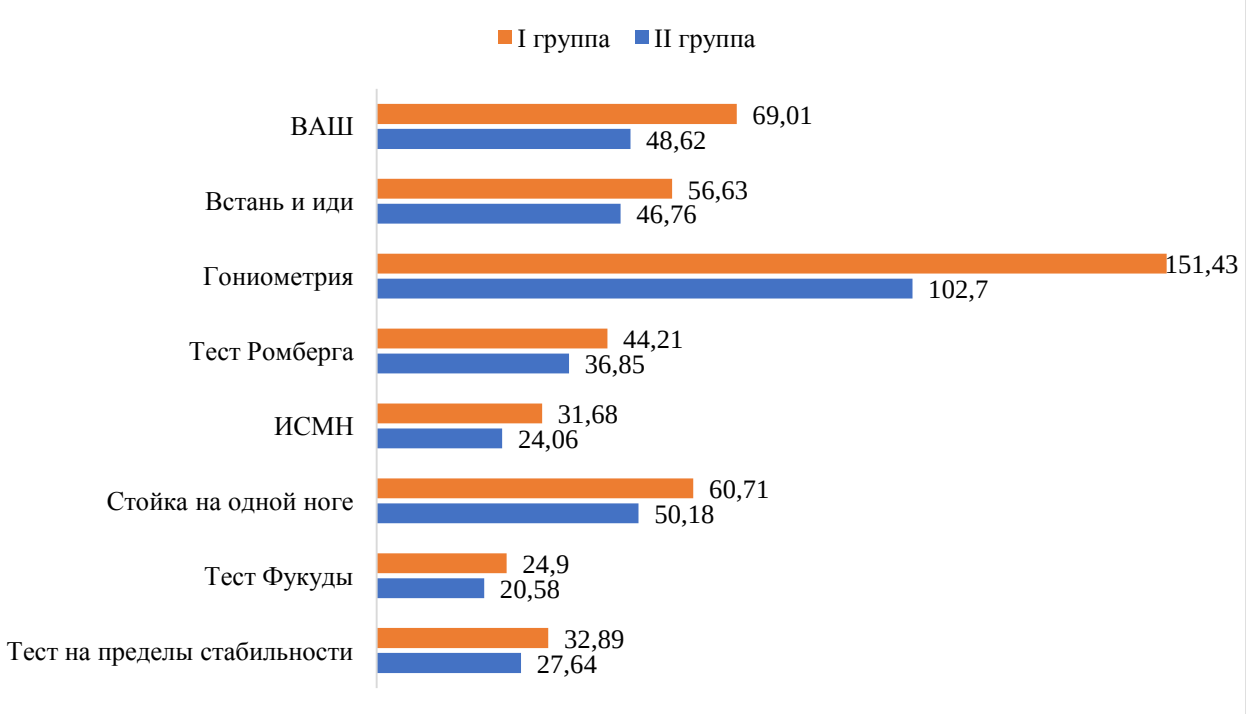


Рис. Изменение диагностических показателей (в %) у больных до и после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава

Примечание: ВАШ – визуальная аналоговая шкала боли; ИСМН – изометрическая сила мышц ноги.

Сравнительный анализ результатов исследования подтверждает целесообразность дополнения стандартного протокола ведения пациентов после ТЭПТС терапевтическими тренировками с использованием подвесной слинг-системы «Redcord». Это обосновывается положительной динамикой показателей инструментальных и клинических методов диагностики у больных после ТЭПТС I группы по сравнению со II группой спустя 14 дней комплексного курса реабилитации.

В I группе наблюдалось более значительное уменьшение интенсивности боли, снижение риска падения и улучшение скорости ходьбы по результатам клинических тестов по сравнению со второй. При этом у пациентов, которые дополнительно проходили процедуры на слинг-системе, наблюдали более полное и качественное выполнение инструментальных тестов.

О положительной динамике восстановления свидетельствовал рост подвижности оперированного сустава, улучшение функциональных возможностей проприорецептивной системы и способности поддерживать равновесие, а также повышение изометрической силы ног, как в целом, так и в оперированной конечности в частности. Кроме того, у пациентов I группы отмечали более значимое снижение параметров асимметрии походки и уменьшение количества проблемных зон при движении. Позитивные изменения также коснулись нейромышечной активации глубоких мышц-стабилизаторов, что способствовало максимально

эффективному восстановлению функции тазобедренного сустава.

Кроме того, преимуществом тренировок на подвесной системе, как было отмечено L. Shan [4], являются: удобство позиционирования пациента для решения функциональных задач; возможность осуществления разномодальной стимуляции; выполнение упражнений в закрытой кинематической цепи; выполнение упражнений в разных режимах мышечного сокращения без участия инструктора; высокая эргономичность; воздействие на пациента на нейропсихологическом уровне – возможность движения в облегченных условиях.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности дополнительного назначения к стандарту ведения больных после ТЭПТС тренировок на слинг-системе «Redcord», что подтверждено более полным и качественным восстановлением физиологического паттерна локомоций, снижением асимметрии ходьбы и наличием оптимального баланса тела. Ранняя комплексная реабилитация способствует улучшению общего состояния пациентов, устранению болевого синдрома и восстановлению функций движения. Использование подвесной системы «Redcord» может рассматриваться как перспективный инструмент в арсенале реабилитационных технологий ФРМ после ТЭПТС, особенно при разработке индивидуальных программ восстановления двигательных функций и улучшения качества жизни пациентов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 21.11.2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» (ред. от 28.12.2024). URL: https://minzdrav.gov.ru/documents/7025 (дата обращения: 08.05.2026).
2. Батышева, Т.Т. Современные технологии диагностики и реабилитации в неврологии и ортопедии / Т.Т. Батышева, Д.В. Скворцов, А.И. Труханов. – М. : Медика, 2005. – 244 с.
3. Физическая и реабилитационная медицина: национальное руководство / под ред. Г.Н. Пономаренко. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 688 с.
4. Total hip replacement: a systematic review and meta-analysis on mid-term quality of life / L. Shan, B. Shan, D. Graham, A. Saxena // Osteoarthritis Cartilage. – 2014. – Vol. 22. – No. 3. – P. 389-406. DOI: 10.1016/j.joca.2013.12.006.
5. Принципы этапной реабилитации пациентов с тяжелым повреждением спинного мозга / И.В. Луппова, А.Г. Куликов, О.В. Спичев [и др.] // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2017. – Т. 16. – № 1. – С. 6-11. DOI: 10.18821/1681-3456-2017-16-1-6-11.
6. Оптимизация реабилитационной помощи при эндопротезировании крупных суставов нижних конечностей / В.И. Айдаров, Ф.В. Тахавиева, М.В. Загидуллин, Р.Р. Тимершин // Практическая медицина. – 2014. – № 2. – С. 1518.
7. Kirkesola, G. Neurac: A new treatment method for chronic musculoskeletal pain / G. Kirkesola // Fysioterapeuten. – 2009. – Vol. 76. – No. 12. – P. 16-25.
8. Отдаленные результаты комплексной медицинской реабилитации с использованием пассивной подвесной системы у больных после эндопротезирования тазобедоенного сустава / А.А. Федоров, Я.Ю. Захаров, Е.А. Баранов, В.М. Рыжкин // Курортная медицина. – 2022. – № 2. – С. 138-145. DOI: 10.51871/2304-0343_2022_2_138.
9. Приказ Министерства здравоохранения Краснодарского края от 17 июня 2024 г. № 2211 «Об организации оказания медицинской помощи по профилю «медицинская реабилитация» взрослому населению Краснодарского края» URL: https://minzdrav.krasnodar.ru/serv/s_documents/151662 (дата обращения: 08.05.2026).

REFERENCES

1. Federal Law of 21.11.2011 No. 323-FZ “On the Fundamentals of Protecting the Health of Citizens in the Russian Federation” (as amended on 28.12.2024). Available at: https://minzdrav.gov.ru/documents/7025 (accessed: 08.05.2026). (in Russ.)
2. Batysheva T.T., Skvortsov D.V., Trukhanov A.I. Modern technologies of diagnostics and rehabilitation in neurology and orthopedics. Moscow: Medika, 2005. 256 p. (in Russ.)
3. Physical and rehabilitation medicine: national guidelines. Ponomarenko G.N., ed. Moscow: GEOTAR-Media, 2016. 45 p. (in Russ.)
4. Shan L., Shan B., Graham D., Saxena A. Total Hip Replacement: a Systematic Review and Meta-Analysis on Mid-Term Quality of Life. *Osteoarthritis Cartilage*, 2014, vol. 22, no. 3, pp. 389-406. DOI: 10.1016/j.joca.2013.12.006.

5. Luppova I.V., Kulikov A.G., Spichev O.V. et al. The principles of staged rehabilitation of the patients presenting with a severe injury to the spinal cord. *Russian Journal of Physiotherapy, Balneotherapy and Rehabilitation*, 2017, vol. 16, no. 1, pp. 6-11. DOI: 10.18821/1681-3456-2017-16-1-6-11. (in Russ.)
6. Aidarov V.I., Takhavieva F.V. et al. Optimization of rehabilitative aid in replacement of large hip joints of the lower extremities. *Practical medicine*, 2014, no. 2, pp. 15-18. (in Russ.)
7. Kirkesola G. Neurac: A new treatment method for chronic musculoskeletal pain. *Fysioterapeuten*, 2009, vol. 76, no. 12, pp. 16-25.
8. Fedorov A.A., Zakharov Ya.Yu., Baranov E.A., Ryzhkin V.M. Long-term results of comprehensive medical rehabilitation using a passive suspension system with patients after hip endoprosthetics. *Resort Medicine*, 2022, no. 2, pp. 138-145. DOI: 10.51871/2304-0343_2022_2_138. (in Russ.)
9. Order of the Ministry of Health of Krasnodar Krai dated June 17, 2024 No. 2211 "On the organization of the medical care provision in the "medical rehabilitation" profile of to the adult population of Krasnodar Krai" Available at: https://minzdrav.krasnodar.ru/serv/s_documents/151662 (accessed 08.05.2026). (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Марина Владимировна Тюляева – физический реабилитолог отделения медицинской реабилитации нарушения функций периферической нервной и костно-мышечной систем, Городская больница № 8 города Сочи, Сочи, e-mail: marina34567@yandex.ru.
Артур Аветисович Мартиросян – аспирант кафедры физической культуры и спорта, Сочинский государственный университет; физический реабилитолог травматолого-ортопедического отделения, Городская больница № 8 города Сочи, Сочи, e-mail: arturi6@mail.ru.
Надежда Анатольевна Скорова – заведующий отделением медицинской реабилитации нарушения функций периферической нервной и костно-мышечной систем, врач ФРМ, Городская больница № 8 города Сочи, Сочи, e-mail: n.skorova@mail.ru.
Роман Антраникович Аведян – заведующий травматолого-ортопедическим отделением, Городская больница № 8 города Сочи; аспирант кафедры физической культуры и спорта, Сочинский государственный университет, Сочи, e-mail: arishka_2007@mail.ru.
Леонид Сергеевич Ходасевич – доктор медицинских наук, профессор кафедры физической культуры и спорта, Сочинский государственный университет, Сочи, e-mail: nic_kir@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Marina V. Tyulyaeva – Physical Rehabilitation Specialist of the Department of Medical Rehabilitation for Patients with Peripheral Nervous and Musculoskeletal Disorders, Sochi City Hospital No. 8, Sochi, e-mail: marina34567@yandex.ru.
Artur A. Martirosyan – Postgraduate Student of the Department of Physical Culture and Sports, Sochi State University, Sochi; Physical Rehabilitation Specialist of the Department of Traumatology and Orthopedics, Sochi City Hospital No. 8, Sochi, e-mail: arturi6@mail.ru.
Nadezhda A. Skorova – Head of the Department of Medical Rehabilitation for Patients with Peripheral Nervous and Musculoskeletal Disorders, Sochi City Hospital No. 8, Sochi, e-mail: n.skorova@mail.ru.
Roman A. Avedyan – Head of the Traumatology and Orthopedics Department, Sochi City Hospital No. 8; Postgraduate Student of the Department of Physical Culture and Sports, Sochi State University, Sochi, e-mail: arishka_2007@mail.ru.
Leonid S. Khodasevich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Physical Culture and Sports, Sochi State University, Sochi; e-mail: nic_kir@mail.ru.

Для цитирования: Роль слинг-системы «Redcord» в комплексной реабилитации пациентов после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава / М.В. Тюляева, А.А. Мартиросян, Н.А. Скорова [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_28

For citation: Tyulyaeva M.V., Martirosyan A.A., Skorova N.A., Avedyan R.A., Khodasevich L.S. The role of the Redcord sling system in comprehensive rehabilitation of patients after total hip replacement. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_28

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_29
УДК 616.34-006

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_29
UDC 616.34-006

ОЦЕНКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С КОЛОРЕКТАЛЬНЫМ РАКОМ ПОСЛЕ ХИРУРГИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА

М.Б. Узденов[1], Д.К. Бадахова[1], А.А. Федоров[2,3], А.А. Джанибекова[1], А.С. Кайсинова[1,4,5]
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказская государственная академия», г. Черкесск, Россия
[2]Федеральное бюджетное учреждение науки «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, г. Екатеринбург, Россия
[3]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Екатеринбург, Россия
[4]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия
[5]Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Пятигорск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Цель: дать объективную оценку процесса восстановления больных колоректальным раком в постоперационном периоде после проведения 2 этапа медицинской реабилитации. ***Методы.*** 79 пациентов были рандомизированы в 2 группы: в группе сравнения (n=39) был назначен «стандарт» ведения; в основной (n=40) дополнительно – минеральная вода Псыж внутрь, лечебная физическая культура по авторской методике, транскраниальная магнитотерапия. ***Результаты.*** После проведенного курса медицинской реабилитации в основной группе по QoR-15 отмечалось хорошее качество восстановления состояния здоровья, что равнялось 122,3±8,8 баллам, тогда как в группе сравнения данный показатель составил 104,4±7,8 балла, что расценивалось как среднее качество восстановления, при достоверных межгрупповых различиях ($p<0,05$). ***Заключение.*** Реализация разработанной нами реабилитационной программы для больных колоректальным раком в постоперационном периоде обеспечивает достоверно более качественное восстановление состояния здоровья по сравнению с контролем.
Ключевые слова: колоректальный рак, 2 этап медицинской реабилитации, эффективность реабилитации, Международный опросник Quality of Recovery.

EVALUATION OF PATIENTS RECOVERY WITH COLORECTAL CANCER AFTER SURGERY

M.B. Uzdenov[1], D.K. Badakhova[1], A.A. Fedorov[2,3], A.A. Dzhanibekova[1], A.S. Kaisinova[1,4,5]
[1]North Caucasian State Academy, Cherkessk, Russia
[2]Ekaterinburg Medical and Scientific Center for the Prevention and Protection of the Health of Industrial Enterprises, Ekaterinburg, Russia
[3]Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia
[4]North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, Russia
[5]Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – branch of the Volgograd State Medical University, Pyatigorsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Objective: to assess the recovery process of the patients with colorectal cancer in the postoperative period after stage 2 medical rehabilitation. ***Methods.*** 79 patients were randomized into 2 groups. The comparison group (n=39) had “standard” treatment; the main group (n=40) was prescribed additional drinking mineral water Psyzh, exercise therapy according to the author’s method, and transcranial magnetic therapy. ***Results.*** After the medical rehabilitation course, the main group had a good quality of health recovery, which was 122.3±8.8 points according to the International Quality of Recovery Questionnaire, while in the comparison group this indicator amounted to 104.4±7.8 points, which was regarded as the average quality of recovery with significant intergroup differences ($p<0.05$). The same difference was maintained in the long-term follow-up. ***Conclusion.*** The implementation of the developed rehabilitation program for patients with colorectal cancer in the postoperative period ensures a significantly higher quality of health recovery compared to the control group.
Keywords: colorectal cancer, stage 2 medical rehabilitation, rehabilitation effectiveness, International Quality of Recovery Questionnaire.

Введение. Актуальность разработок новых методов диагностики, лечения и реабилитации больных колоректальным раком (КРР) обусловлена высокой распространенностью (до 10% всех случаев рака), смертностью (вторая по значимости причина смертности от онкологических заболеваний), резким ростом заболеваемости среди людей моложе 50 лет и коморбидностью [1-3]. Кроме того, осложнения (ранние и поздние) после перенесенного оперативного вмешательства значимо препятствуют реализации положительного потенциала медицинской реабилитации [4, 5]. В этом аспекте разработка новых реабилитационных технологий с использованием лечебных физических факторов (ЛФФ), таких как лечебная физкультура (ЛФК), питьевые минеральные воды, транскраниальная магнитотерапия (ТКМТ), несомненно целесообразна с учетом их способности благоприятно влиять на адаптационно-компенсаторные возможности организма [6-10].

Следует отметить, что на современном этапе развития медицинской науки актуален поиск объективных критериев эффективности медицинских мероприятий, так как такой подход позволяет доказать их результативность, в том числе реабилитационных вмешательств [11, 12]. В таком подходе особенно рационально применение валидизированных опросников, позволяющих трансформировать субъективные признаки улучшения в объективные доказательные данные [11-13].

Цель исследования: дать объективную оценку процесса восстановления больных КРР после оперативного вмешательства по Международному опроснику оценки качества восстановления пациента (QoR-15) после проведения 2 этапа медицинской реабилитации с применением ЛФФ.

Методы и организация исследования. В условиях Лечебно-реабилитационного центра г. Черкесска проведены наблюдения 79 пациентов после хирургического лечения по поводу верифицированного КРР ($T_1N_0M_0$). Протокол исследования одобрен Этической комиссией Пятигорского научно-исследовательского института курортологии Северо-Кавказского федерального научно-клинического центра Федерального медико-биологического агентства (протокол от 28.01.2022 № 1). Всем пациентам было проведено оперативное вмешательство в условиях Карачаево-Черкесского онкологического диспансера имени С.П. Бутова. Для реабилитационных мероприятий критериями включения служили: состояние после лево-/правосторонней гемиколэктомии (или резекции сигмовидной кишки) по поводу КРР без поражения регионарных лимфоузлов и без метастазирования ($T_1N_0M_0$); не ранее 3-х недель после оперативного вмешательства; отсутствие формирования кишечной стомы; наличие выраженности органных дисфункций по шкале оценки полиорганной недостаточности II (Multiple Organ Dysfunction Score II) не более 4 баллов; наличие тазовых нарушений в виде расстройств дефекации и симптомов нижних мочевых путей; оценка состояния пациента по шкале реабилитационной маршрутизации – 4 балла; подписанное информированное добровольное согласие. Критериями невключения были: рак толстой кишки 4-5-ой стадий; развитие в послеоперационном периоде перитонита, абсцессов, кровотечения, мезентериального тромбоза; соматические заболевания в стадии обострения и/или декомпенсации; общие противопоказания к проведению физиотерапии; общие противопоказания к проведению ЛФК.

Ведение пациентов на 2 этапе медицинской реабилитации осуществлялось мультидисциплинарной реабилитационной командой. Методом простой рандомизации пациенты были распределены на 2 группы. В I группе (группа сравнения, n=39) пациенты получали «стандартный» лечебный комплекс: диетотерапию (вариант стандартной диеты с механическим и химическим щажением); общепринятый комплекс ЛФК продолжительностью 20-30 мин, ежедневно, 8 процедур на курс лечения; фармакотерапию – спазмолитик с миотропным и м-холиноблокирующим действием Пинаверия бромид (Франция), 10 мг, по 1 табл. 3 раза в день, за 30 минут до еды, 1 месяц; синбиотик Максилак по 1 капс. 1 раз в сутки (во время ужина); Кетопрофен 2,0 мл внутримышечно 1-2 раза в сутки; психокоррекцию малыми группами; крайне высокочастотную (КВЧ)

рефлексотерапию на биологически активные точки (БАТ). Во II группе (основная группа, n=40) пациентам дополнительно были назначены ЛФК по авторской методике (вместо стандартизированной), питьевая бальнеотерапия и ТКМТ.

Методика КВЧ-рефлексотерапии. Процедуры проводили на аппарате «Магнон-КВЧ-7,1» (Россия) на БАТ, до 8 процедур на курс лечения. С целью гармонизации БАТ использовали режим частотной модуляции КВЧ-сигнала с экспозицией 10 минут без регулировки рабочей частоты (РРЧ); с целью тонизации БАТ применяли режимы частотной модуляции и импульсной генерации без РРЧ в течение 8 мин. Схема назначений: 1-й день: гармонизировали обе точки (справа и слева) GI 4 и V 25, седировали VC 12 и обе точки GI 11; 2-й день: седировали обе точки E 25, E 27, V 25; 3-й день: седировали обе точки E 36 и V 46 и тонизировали обе точки GI 4; с 4 дня повторяли схему лечения до 8 процедур.

Методика ЛФК (патент на промышленный образец RU 143601, заявка от 20.05.2024). Занятие начинается с 2-3 общеразвивающих упражнений, затем выполняют специальные упражнения с включением между ними дыхательных упражнений, упражнений на расслабление и отдыха в положении лежа:

1) исходное положение (и.п.) – сидя на стуле, руки опущены, ноги шире плеч; выполняется наклон корпуса вправо, левая ладонь плавно скользит до мышечной впадины, после чего осуществляется возвращение в исходное положение; то же самое движение выполняется с наклоном влево; дыхание не задерживается, темп выполнения упражнения средний. Количество повторений – 4-6 раз в каждую сторону;

2) и.п. – то же, руки на поясе; вдох и левая рука отводится в сторону, в то же время влево поворачиваются корпус и голова, на выдохе возвращаемся в исходное положение; повторить упражнение 3-4 раза в одну, а затем в другую сторону;

3) и.п. – то же самое, кисти рук на затылке; на вдохе поворачиваем корпус и голову влево, немного прогибаясь в грудном отделе позвоночника, на выдохе правый локоть должен достать левое ребро; возвращаемся в исходное положение и повторяем то же, но в другую сторону; повторяем 2-3 раза в каждую из сторон;

4) и.п. – то же, что и в предыдущих случаях, ладони на коленях; поочередно подтягиваем одно, а затем второе колено к подбородку, помогая себя руками; повторить 4-6 раз в среднем темпе;

5) и.п. – то же, кисти на плечах; выполняются круговые движения в плечевых суставах, амплитуда максимальная, сначала осуществляются вращения вперед, затем назад; повторяем 6-8 раз в среднем темпе;

6) и.п. – то же; на вдохе нужно поднять руки и подтянуться, на выдохе развернуть корпус вправо, в эту же сторону свесить прямые руки; то же самое повторить влево; количество повторений – 2-3, темп средний;

7) и.п. – стоя, ноги на ширине плеч, руки опущены; на выдохе поднимаем согнутую в колене левую ногу, при помощи рук подтягиваем колено к груди; на вдохе возвращаемся в исходное положение; то же самое выполняется другой ногой; каждой ногой нужно выполнить по 2-3 раза в среднем темпе;

8) и.п. – то же; вдох – поднять прямые руки вверх, немного прогнуться в пояснице, правую ногу отставить назад на носок; то же самое повторить с левой ногой; по 2-3 повторения каждой ногой;

9) и.п. – то же, руки поставить на пояс; вдох – наклон корпуса влево, выдох – возвращение в исходное положение; повторяем 2-3 раза в каждую сторону;

10) и.п. – то же; выдох – наклон вперед, угол между бедрами и корпусом должен составлять 90°; вдох – исходное положение; нужно повторить 4-6 раз, средний темп;

11) и.п. – то же, одна кисть находится на груди, другая на животе; вдох – надуть живот, выдох – втянуть с одновременным втягиванием заднего прохода; повторить 3-4 раза в медленном темпе.

Методика питьевой бальнеотерапии. Использовали природную минеральную воду (МВ) малой минерализации (2,4 г/дм^3) Псыж (Карачаево-Черкесская Республика) хлоридно-сульфатного натриево-магниевого состава, в дегазированном виде в течение всего периода нахождения в стационаре (10 дней). При этом назначение

МВ было дифференцированное – по времени приема воды и температуры воды в зависимости от нарушений стула: при склонности к запорам – 2,0-2,5 мл/кг массы тела, 3 раза в день, за 30-40 минут до еды, температура воды – 18-20 °С; при склонности к диарее – 2,0-2,5 мл/кг массы тела, 3 раза в день, за 40-50 минут до еды, температура воды – 38-42 °С, (подогреть на водяной бане).

Методика ТКМТ. Процедуры с использованием низкочастотных пульсирующих магнитных полей низкой интенсивности отпускали от аппарата «BioLife Therapy» (Италия), транскраниально, по свободной программе, при расположении магнитных индукторов северным (N) полюсом на теменную, а южным (S) – на затылочную области; максимальные значения амплитуды магнитной индукции в центре рабочей поверхности индукторов – 10 мТл (индуктор «S») и 5 мТл (индуктор «N»); длительность импульсов магнитной индукции в индукторе «S» – 110 мс, в индукторе «N» – 260 мс; частота следования импульсов при 1-2-ой процедурах – 4 Гц, при следующих 2-х процедурах – 8 Гц, при 5-6-ой процедурах – 12 Гц, при последующих процедурах – 20 Гц; продолжительность – 20 мин на курс 8-10 ежедневных процедур.

Критерии эффективности медицинской реабилитации. Методом анкетирования оценивали результаты восстановления пациентов с КРР после оперативного вмешательства при использовании валидизированного QoR-15, который самостоятельно заполнялся пациентом по 15 вопросам, ранжируемым в баллах от 1 до 5 и распределенным на 2 части: в части А по 4 шкалам определяли самочувствие за последние 24 часа («Комфорт» – по 4 вопросам; «Ощущения» – по 2 вопросам; «Самообслуживание» – по 2 вопросам; «Поддержка и общение» – по 2 вопросам), где: 0 баллов – очень плохо, 10 – отлично; в части В – клинические проявления за последние 24 часа по 3 шкалам («Боль» – по 2 вопросам; «Тошнота/рвота», «Тревога/депрессия» – по 2 вопросам), где: 10 – ни разу за все время (отлично) и 0 – все время (очень плохо); за нормативные значения принимались 150 баллов [14, 15]. Все исследования проводили до, после и через 12 месяцев после реабилитации.

Статистическая обработка материала проводилась с использованием стандартной программы Statistica-13.0; проверка на нормальность распределения данных проводилась с применением критерия Шапиро-Уилка. Для количественных показателей, имеющих нормальное распределение, проводился расчет средних арифметических (M) и стандартных отклонений (σ). Для величин в нормально распределенных совокупностях рассчитывался t-критерий Стьюдента, результаты считались статистически значимыми при $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Пациенты обеих групп до лечения оценивали свой физический и эмоциональный комфорт как плохой, большей частью за счет значимого ухудшения вкусовых качеств при приеме пищи, нарушений сна, чувства разбитости после него, а также выраженных клинических проявлений (боль, диспепсия, тревога), что подтверждается данными анкетирования по QoR-15 (табл.).

После проведенного курса медицинской реабилитации по QoR-15 в основной группе больных КРР ($T_1N_0M_0$) в постоперационном периоде отмечалось хорошее качество восстановления состояния здоровья, что равнялось 122,3±8,8 баллам, тогда как в группе сравнения данный показатель составил 104,4±7,8 балла, что расценивалось как удовлетворительное качество восстановления. При этом были выявлены достоверные межгрупповые различия (табл.).

После проведения курса медицинской реабилитации пациенты основной группы стали получать удовольствие от еды, отмечали чувство удовлетворенности качеством сна, нивелирование одышки, т.е. пациенты оценивали повышение комфорта в сравнении с исходными значениями в 2,3 раза ($p<0,01$); в группе сравнения данный показатель также достоверно повысился в 1,7 раз ($p<0,01$), при этом достоверность межгрупповых различий составила $p<0,05$. Через 12 месяцев в обеих группах наблюдения уровень комфорта снизился незначительно, однако значимость межгрупповых различий уже составила $p<0,01$.

Таблица

Оценка степени восстановления пациентов с колоректальным раком после оперативного вмешательства посредством использования Международного опросника оценки качества восстановления пациента, M±σ, баллы

Показатели	Период реабилитации	I группа (сравнения) n=39	II группа (основная) n=40	P<
Самочувствие за последние 24 часа				
Комфорт	до	15,4±2,3	15,3±2,7	
	после	26,3±2,8**	35,2±2,9**	0,05
	через 12 мес	21,2±2,6*	33,7±2,5**	0,01
Ощущения	до	8,6±1,8	8,2±1,9	
	после	12,5±2,3*	18,2±2,0**	0,05
	через 12 мес	10,8±1,7*	16,2±2,3**	0,01
Самообслуживание	до	8,4±1,1	8,4±1,3	
	после	13,4±1,8**	17,9±2,4**	0,05
	через 12 мес	11,8±1,6*	16,4±1,9**	0,05
Поддержка и общение	до	7,2±0,9	7,1±0,8	
	после	14,4±1,8**	17,5±2,1**	0,05
	через 12 мес	12,2±1,4*	13,5±1,9**	0,05
Клинические проявления за последние 24 часа				
Боль	до	17,8±2,0	18,2±2,2	
	после	12,4±1,4*	11,3±1,6**	
	через 12 мес	9,4±1,3**	7,3±1,2**	0,05
Тошнота/рвота	до	17,0±1,8	17,2±2,0	
	после	11,2±1,0**	10,6±1,2**	
	через 12 мес	–	–	0,05
Тревога/ депрессия	до	17,1±2,0	17,4±2,1	
	после	14,2±1,5	11,6±1,4**	0,05
	через 12 мес	11,3±1,4*	8,5±1,3**	0,05

Примечание: достоверность различий до и после реабилитации * – p<0,05; ** – p<0,01.

С такой же достоверностью отмечалась и положительная динамика проявлений по субшкале «Ощущения»: в основной группе пациенты отмечали комфорт и контроль (в 2,2 раза, p<0,01). В группе сравнения улучшение этого показателя произошло в 1,4 раз (p<0,05), достоверно уступая первой группе (p<0,05). Такие же различия сохранялись и в отдаленном периоде наблюдения.

По субшкале «Самообслуживание» в основной группе пациенты отмечали улучшение способности соблюдения личной гигиены без посторонней помощи (в 2,1 раза в сравнении с исходными значениями, p<0,01), что было достоверно значимо по отношению к показателю в группе сравнения (в 1,6 раз, p<0,01). При этом через 12 месяцев пациенты основной группы отмечали более значимую способность возвращения к работе или к обычным домашним делам относительно аналогичных данных в группе сравнения.

По субшкале «Поддержка и общение» пациенты основной группы к концу курса реабилитации с большей значимостью могли свободно общаться с семьей/ друзьями и с большей значимостью чувствовали поддержку от врачей и сестринского персонала. Улучшение в сравнении с исходными значениями возросло в 2,4 раза (p<0,01) против 2 раз (p<0,01) в группе сравнения. В отдаленном периоде отмечались более выраженные достоверные межгрупповые различия.

Снижение интенсивности болевого синдрома непосредственно перед выпиской из стационара было сопоставимо в обеих группах наблюдения: у пациентов основной – в 1,6 раз (p<0,01), группы сравнения – в 1,4 раз (p<0,01), что объяснялось назначением обезболивающей фармакотерапии в соответствии с клиническими рекомендациями. Однако в отдаленном периоде наблюдения отмечались достоверные межгрупповые различия (p<0,05).

Использование ингибиторов протонной помпы и прокинетиков обусловило снижение выраженности диспепсии также в обеих группах исследования: у пациентов основной группы – в 1,6 раз ($p<0,01$), группы сравнения – в 1,5 раз ($p<0,01$). Однако через 12 месяцев наблюдения отмечалось нарастание клинической эффективности в основной группе с межгрупповыми различиями $p<0,05$.

Проявления тревожно-депрессивного синдрома уменьшились в основной группе в 1,5 раз ($p<0,01$), в группе сравнения – в 1,2 раз при достоверных ($p<0,05$) межгрупповых различиях. При этом через год сохранялась такая же статистически значимая разница по данной субшкале.

В последние годы в хирургической практике с успехом используются технологии активного восстановления после оперативных вмешательств (Fast-Track или *Enhanced Recovery After Surgery*/ERAS), основанные на мультидисциплинарном подходе медицинской реабилитации, что направлено на снижение частоты послеоперационных осложнений и сокращение сроков пребывания в стационаре и на бюллетени [16, 17]. Это в полной мере соответствует принципам медицинской реабилитации: пациент-ориентированный и мультидисциплинарный подходы, раннее начало проведения, непрерывность, этапность и преемственность восстановительных мероприятий [18-20].

В проведенной нами научной работе представлены результаты исследования по разработке программы 2 этапа медицинской реабилитации для больных КРР после оперативного вмешательства с комплексным применением фармакотерапии и ЛФФ. При этом эффективность реабилитационных вмешательств проанализирована по QoR-15, позволяющему оценить качество восстановления физического и эмоционального комфорта пациентов после хирургических вмешательств [13, 14]. Результаты показали, что более качественное восстановление здоровья отмечено у пациентов основной группы, в программу реабилитации которых были включены новые технологии ЛФФ (ЛФК по авторской методике, питьевая минеральная вода и ТКМТ). Полученные позитивные эффекты объясняются их саногенетическим действием, т.е. способностью активировать защитно-приспособительные механизмы организма, что приводит к качественному восстановлению здоровья [13, 14]. На наш взгляд, именно использование данных факторов обеспечило повышение клинической эффективности проведенной медицинской реабилитации: в основной группе больных КРР ($T_1N_0M_0$) после оперативного вмешательства состояние здоровья расценивалось как хорошее (итоговый результат по QoR-15 равнялся 122,3±8,8 баллам), тогда как в группе сравнения этот показатель составил 104,4±7,8 балла, что соответствует удовлетворительному качеству восстановления здоровья.

Заключение. Реализация разработанной нами программы 2 этапа медицинской реабилитации для больных КРР после оперативного вмешательства с комплексным применением фармакотерапии и ЛФФ обеспечивает хорошее качество восстановления состояния здоровья, что достоверно значимо отличается от таковых в группе сравнения (стандарт ведения).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Злокачественные новообразования в России в 2024 году (заболеваемость) / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой, Н.Ю. Золотарева. – Москва : МНИОИ им. П.А. Герцена − филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2025. − 178 с.

2. Global burden of colorectal cancer in 2020 and 2040: incidence and mortality estimates from GLOBOCAN / E. Morgan, M. Arnold, A. Gini [et al.] // Gut. – 2022. – Vol. 72. – No. 2. – P. 338-344. DOI: 10.1136/gutjnl-2022-327736.

3. Global Cancer Statistics 2022: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries / F. Bray, M. Laversanne, H. Sung [et al.] // CA: A Cancer Journal for Clinicians. – 2024. – Vol. 74. – No. 3. – P. 229-263. DOI: 10.3322/caac.21834.

4. Рак прямой кишки : клинические рекомендации / Ассоциация колопроктологов России, Ассоциация онкологов России, Российское общество клинической онкологии, Российское общество специалистов по колоректальному раку ; утверждены Минздравом России. – Москва, 2025. – 111 с.
5. Майстренко, Н.А. Послеоперационные осложнения комбинированных вмешательств у больных с распространенными формами рака толстой кишки / Н.А. Майстренко, А.А. Хватов, А.А. Сазонов // Вестник хирургии имени И.И. Грекова. – 2017. – Т. 176. – № 2. – С. 86-94. DOI: 10.24884/0042-4625-2017-176-2-86-94.
6. Физическая и реабилитационная медицина нормативное правовое регулирование: методические рекомендации / Г.Р. Абусева, В.А. Бадтиева, М.Д. Дидур [и др.]. – Санкт-Петербург, 2020. – 152 с.
7. Ачкасов, С.И. Влияние полноты реализации программы ускоренного выздоровления пациентов, перенесших резекцию ободочной кишки по поводу рака, на эффективность лечения / С.И. Ачкасов, И.В. Лукашевич, Е.С. Суровегин // Онкологическая колопроктология. – 2016. – Т. 6. – № 2. – С. 29-34.
8. Грушина, Т.И. Преформированные и природные лечебные факторы в реабилитации больных раком молочной железы с лимфедемой верхней конечности / Т.И. Грушина // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2016. – Т. 93. – № 2-2. – С. 68.
9. Эффективность методик ранней реабилитации в программах ускоренного выздоровления больных после хирургических вмешательств / Н.Б. Корчажкина, А.А. Михайлова, С.А. Ковалев [и др.] // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2019. – Т. 18. – № 6. – С. 408-411. DOI: 10.17816/1681-3456-2019-18-6-408-411.
10. Медицинская онкореабилитация. Опухоли шеи и средостения / Н.Б. Корчажкина, К.В. Котенко, Т.И. Грушина [и др.]. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2026. – 184 с.
11. Физическая и реабилитационная медицина : национальное руководство : краткое издание / Г.Р. Абусева, В.А. Бадтиева, А.В. Барсуков [и др.]. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2025. – 704 с.
12. Санаторно-курортное лечение : национальное руководство : краткое издание / Г.Р. Абусева, П.В. Антипенко, В.А. Бадтиева [и др.]. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2022. – 704 с.
13. Применение шкал и опросников в клинической медицине / О.В. Казимирова, М.Н. Югай, Б.Д. Жапаркұл [и др.] // Медицина и экология. – 2023. – № 4. – С. 5-24. DOI: 10.59598/ME-2305-6045-2023-109-4-5-24.
14. Evaluation of the quality of recovery and the postoperative health status after elective surgery. / S.M. Ferraz, J.P. Moreira, L.C. Mendes [et al.] // Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition). – 2018. – Vol. 68. – No. 6. – P. 577-583. DOI: 10.1016/j.bjane.2018.06.002.
15. Разработка и апробация русской версии опросника оценки качества восстановления пациента после анестезии – QoR-40 и его краткой формы – QoR-15 / Т.П. Никитина, А.Ю. Куликов, А.А. Мишина [и др.] // Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. – 2022. – № 2. – С. 132-142. DOI: 10.21320/1818-474X-2022-2-132-142.
16. Дарвин, В.В. Внедрение программы ускоренного выздоровления (FAST-TRACK) при реконструктивно-восстановительных операциях у стомированных больных / В.В. Дарвин, А.Я. Ильканич, Ю.С. Воронин // Колопроктология. – 2020. – Т. 19. – № 1(71). – С. 67-72. DOI: 10.33878/2073-7556-2020-19-1-67-72.
17. Клинические рекомендации по внедрению программы ускоренного выздоровления пациентов после плановых хирургических вмешательств на ободочной кишке / И.И. Затевахин, И.Н. Пасечник, С.И. Ачкасов [и др.] // Доктор.Ру. – 2016. – № 12(129). – С. 8-21.
18. Применение международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья в реабилитационном процессе / Г.Е. Иванова, М.А. Булатова, Б.Б. Поляев, А.К. Трофимова // Вестник восстановительной медицины. – 2021. – Т. 20. – № 6. – С. 4-33. DOI: 10.38025/2078-1962-2021-20-6-4-33.
19. Базовые принципы медицинской реабилитации, реабилитационный диагноз в категориях МКФ и реабилитационный план / А.А. Шмонин, М.Н. Мальцева, Е.В. Мельникова, Г.Е. Иванова // Вестник восстановительной медицины. – 2017. – № 2. – С. 16-22.
20. Пилотный проект «Развитие системы медицинской реабилитации в РФ» / Г.Е. Иванова, Д.М. Аронов, А.А. Белкин [и др.] // Вестник восстановительной медицины. – 2016. – Т. 72. – № 2. – С. 2-6.
21. Медицинская реабилитация : учебник / Е.Л. Вахова, И.И. Глазкова, А.В. Епифанов [и др.]. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2023. – 688 с.
22. Медицинская реабилитация : учебник / А.В. Епифанов, Е.Е. Ачкасов, В.А. Епифанов [и др.] – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 528 с.
23. Лечебные физические факторы в программах амбулаторной медицинской реабилитации пациентов после оперативного вмешательства по поводы колоректального рака (рандимизированное клиническое исследование) / А.С. Кайсинова, М.Б. Узденов, А.А. Джанибекова [и др.] // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2025. – Т. 24. – № 1. – С. 26-35. DOI: 10.17816/rjpbr636832.
24. Медицинская онкореабилитация. Рак легкого / К.В. Котенко, Н.Б. Корчажкина, Т.И. Грушина [и др.] – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2025. – 176 с.
25. Реабилитация в онкологии: учебное пособие для обучающихся в системе высшего и дополнительного профессионального образования / А.А. Крутов, Т.Ю. Семиглазова, Е.Г. Бортникова

[и др.]. – Санкт-Петербург : НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова, 2023. – 228 с.

REFERENCES

1. Malignant neoplasms in Russia in 2024 (incidence). A.D. Kaprin et al, ed. Moscow: P.A. Herzen Moscow Oncology Research Institute − branch of the National Medical Research Center, 2025. 178 p. (in Russ.)
2. Morgan E., Arnold M. et al. Global burden of colorectal cancer in 2020 and 2040: incidence and mortality estimates from GLOBOCAN. *Gut*, 2022, vol. 72, no. 2, pp. 338-344. DOI: 10.1136/gutjnl-2022-327736.
3. Bray F., Laversanne M., Sung H. et al. Global Cancer Statistics 2022: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 2024, vol. 74, no. 3, pp. 229-263. DOI: 10.3322/caac.21834.
4. Rectal cancer: clinical guidelines. Association of Coloproctologists of Russia, Association of Oncologists of Russia, Russian Society of Clinical Oncology, Russian Society of Colorectal Cancer Specialists. Approved by the Ministry of Health of Russia. Moscow, 2025. 111 p. (in Russ.)
5. Maistrenko N.A., Khvatov A.A., Sazonov A.A. Postoperative complications of combined surgeries in patients with disseminated forms of colon cancer. *Grekov's Bulletin of Surgery*, 2017, vol. 176, no. 2, pp. 86-94. DOI: 10.24884/0042-4625-2017-176-2-86-94. (in Russ.)
6. Abuseva G.R., Badtieva V.A., Didur M.D. et al. Physical and rehabilitation medicine: normative legal regulation. Methodological guidelines. 10th Revised and Supplemented Edition. Saint Petersburg, 2020. 152 p. (in Russ.)
7. Achkasov S.I., Lukashevich I.V., Surovegin E.S. The Impact of the Completeness of the Accelerated Recovery Program (ARP) Implementation in Patients Who Underwent Colon Resection for Cancer on Treatment Efficiency. *Colorectal Oncology*, 2016, vol. 6, no. 2, pp. 39-44. (in Russ.)
8. Grushina T.I. Preformed and natural therapeutic factors in the rehabilitation of patients with breast cancer and upper limb lymphedema. *Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy*, 2016. vol. 93, no. 2, p. 68. (in Russ.)
9. Korchazhkina N.B., Mikhailova A.A., Kovalev S.A. et al. Effectiveness of early rehabilitation techniques in programs of accelerated recovery of patients after surgical interventions. *Russian Journal of the Physical Therapy, Balneotherapy and Rehabilitation*, 2019, vol. 18, no. 6, pp. 408-411. DOI: 10.17816/1681-3456-2019-18-6-408-411. (in Russ.)
10. Korchazhkina N.B., Kotenko K.V et al. Medical cancer rehabilitation. Neck and mediastinum tumors. Moscow: GEOTAR-Media, 2026. 184 p. (in Russ.)
11. Abuseva G.R., Badtieva V.A., Barsukov A.V. et al. Physical and rehabilitation medicine. National guidelines. Brief edition. Moscow: GEOTAR-Media, 2025. 704 p. (in Russ.)
12. Abuseva G.R., Antipenko P.V., Badtieva V.A. et al. Sanatorium-resort treatment. National guidelines. Brief edition. Moscow: GEOTAR-Media, 2022. 704 p. (in Russ.)
13. Kazimirova O.V., Yugay M.N., Zhaparkul B.D. et al. Use of scales and questionnaires in clinical medicine. *Medicine and Ecology*, 2023, no. 4, pp. 5-24. DOI: 10.59598/ME-2305-6045-2023-109-4-5-24. (in Russ.)
14. Ferraz S.M., Moreira J.P., Mendes L.C. et al. Evaluation of the quality of recovery and the postoperative health status after elective surgery. *Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition)*, 2018, vol. 68, no. 6, pp. 577-583. DOI: 10.1016/j.bjane.2018.06.002.
15. Nikitina T.P., Kulikov A.Yu., Mishina A.A. et al. Development and testing of the russian version of postoperative quality of recovery score – the QoR-40 and its short form – QoR-15. *Annals of Critical Care*, 2022, no. 2, pp. 132-142. DOI: 10.21320/1818-474X-2022-2-132-142. (in Russ.)
16. Darvin V.V., Ilkanich A.Ya., Voronin Yu.S. Implementation of fast-track program for stoma reversal procedures. *Koloproktologia*, 2020, vol. 19, no. 1(71), pp. 67-72. (in Russ.)
17. Zatevakhin I.I., Pasechnik I.N., Achkasov S.I. et al. Clinical guidelines on implementation of enhanced-recovery-after-surgery program for elective colorectal surgery. *Doctor.Ru*, 2016, no. 12(129), pp. 8-21. (in Russ.)
18. Ivanova G.E., Bulatova M.A., Polyaev B.B., Trofimova A.K. Application of the international classification of functioning, disabilities and health in the rehabilitation process. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2021, vol. 20, no. 6, pp. 4-33. DOI: 10.38025/2078-1962-2021-20-6-4-33. (in Russ.)
19. Shmonin A.A., Maltseva M.N., Melnikova E.V., Ivanova G.E. Basic principles of medical rehabilitation, rehabilitation diagnosis in the ICF categories and rehabilitation plan. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2017, no. 2, pp. 16-22. (in Russ.)
20. Ivanova G.E., Aronov D.M., Belkin A.A. et al. The pilot project "Development of the medical rehabilitation system in Russian Federation". *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2016, vol. 72, no. 2, pp. 2-6. (in Russ.)
21. Vakhova E.L., Glazkova I.I., Epifanov A.V. et al. Medical rehabilitation. Moscow: GEOTAR-Media, 2023. 688 p. (in Russ.)
22. Epifanov A.V., Achkasov E.E., Epifanov V.A. et al. Medical rehabilitation. Moscow: GEOTAR-Media, 2019. 528 p. (in Russ.)
23. Kaisinova A.S., Uzdenov M.B., Dzhanibekova A.A. et al. Therapeutic physical factors as part of outpatient medical rehabilitation for patients after colorectal cancer surgery: a randomized controlled trial. *Russian Journal of Physiotherapy, Balneology and Rehabilitation*, 2025, vol. 24, no. 1, pp. 26-35. DOI: 10.17816/rjpbr636832. (in Russ.)
24. Kotenko K.V., Korchazhkina N.B., Grushina T.I. et al. Medical cancer rehabilitation. Lung cancer. Moscow: GEOTAR-Media, 2025. 176 p. (in Russ.)

25. Krutov A.A., Semiglazova T.Yu., Bortnikova E.G. et al. Rehabilitation in oncology: a teaching aid for students in the system of higher and additional professional education. Saint Petersburg: N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, 2023. 228 p. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Марат Борисович Узденов – кандидат медицинских наук, директор Медицинского института Северо-Кавказской государственной академии, Черкесск; e-mail: uzdenov1@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-0077-9013.

Динара Казбековна Бадахова – ассистент кафедры фармакологии Медицинского института Северо-Кавказской государственной академии, Черкесск; e-mail: dinna9400@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9000-3333.

Андрей Алексеевич Федоров – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры физической и реабилитационной медицины, Уральский государственный медицинский университет; ведущий научный сотрудник отделения физических методов лечения, Екатеринбургский медицинский – научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий, Екатеринбург; e-mail: aafedorove1@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-9695-2959.

Алина Ахматовна Джанибекова – старший преподаватель кафедры «Топографическая и патологическая анатомия с курсом оперативной хирургии», Северо-Кавказская государственная академия, Черкесск; e-mail: mardjan2011@yandex.ru, ORCID: 0009-0003-7911-7892.

Агнесса Сардоевна Кайсинова – доктор медицинских наук, заместитель генерального директора по обязательному медицинскому страхованию, Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, Ессентуки; профессор кафедры Медицины катастроф Пятигорского медико-фармацевтического института, Пятигорск; профессор кафедры многопрофильной клинической подготовки Медицинского института Северо-Кавказской государственной академии, Черкесск, e-mail: zamoms@skfmba.ru, ORCID: 0000-0003-1199-3303.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Marat B. Uzdenov – Candidate of Medical Sciences, Director of the North Caucasian State Academy, Cherkessk, e-mail: uzdenov1@rambler.ru, ORCID: 0000-0002-0077-9013.

Dinara K. Badakhova – Assistant of the Department of Pharmacology, Medical Institute, North Caucasian State Academy, Cherkessk, e-mail: dinna9400@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9000-3333.

Andrey A. Fedorov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Ural State Medical University; Leading Researcher of the Department of Physical Methods of Treatment, Ekaterinburg Medical Scientific Center for the Prevention and Protection of the Health of Industrial Enterprises, Ekaterinburg, e-mail: aafedorove1@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9695-2959.

Alina A. Dzhanibekova – Senior Lecturer of the Department of Topographic and Pathological Anatomy with a Course of Operative Surgery, North Caucasian State Academy, Cherkessk, e-mail: mardjan2011@yandex.ru, ORCID: 0009-0003-7911-7892.

Agnessa S. Kaisinova – Doctor of Medical Sciences, Deputy General Director for Compulsory Health Insurance, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki; Professor of the Department of Disaster Medicine, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – branch of the Volgograd State Medical University, Pyatigorsk; Professor of the Department of Multidisciplinary Clinical Training, North Caucasian State Academy, Cherkessk, e-mail: zamoms@skfmba.ru, ORCID: 0000-0003-1199-3303.

Для цитирования: Оценка восстановления пациентов с колоректальным раком после хирургического вмешательства / М.Б. Узденов, Д.К. Бадахова, А.А. Федоров [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_29

For citation: Uzdenov M.B., Badakhova D.K., Fedorov A.A., Dzhanibekova A.A., Kaisinova A.S. Evaluation of patients recovery with colorectal cancer after surgery. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_29

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_30
УДК 616.441-008.64

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_30
UDC 616.441-008.64

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СУБКЛИНИЧЕСКОГО ПЕРВИЧНОГО ГИПОТИРЕОЗА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЛКОВЫХ МАРКЕРОВ

И.Н. Чадова, Н.Г. Беляев
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Первичный гипотиреоз – самая распространенная патология щитовидной железы, заболеваемость которой неуклонно растет. Наибольшую сложность составляет его выявление на ранней субклинической стадии, в течение которой развиваются различного рода сопутствующие нарушения. ***Методы.*** Источники для анализа – преимущественно базы PubMed, Scopus, Web of Science. ***Результаты.*** Освещены основные проблемы ранней диагностики гипотиреоза: маскировка клинических проявлений симптомами сопутствующих заболеваний, наличие «серой зоны» референса, спонтанная нормализация тиреотропного гормона, случаи тиреоидного тканевого дефицита при нормальных лабораторных показателях. Обоснован алгоритм мультипараметрической диагностики, включающий анализ белковых маркеров, дополняющий стандартный протокол обследования. ***Заключение.*** Оценка «белых пятен» в диагностике показала необходимость поиска дополнительных путей верификации заболевания, одним из которых может стать использование мультипараметрической панели белковых маркеров.
Ключевые слова: гипотиреоз, субклиническая стадия, диагностика, белковые маркеры.

CURRENT CHALLENGES IN THE DIAGNOSIS OF SUBCLINICAL PRIMARY HYPOTHYROIDISM AND PROSPECTS FOR THE USE OF PROTEIN MARKERS

I.N. Chadova, N.G. Belyaev
North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Primary hypothyroidism is the most common thyroid pathology, with an incidence rate that is steadily increasing. The greatest challenge lies in its detection at the early subclinical stage, during which various concomitant disorders develop in the body. ***Methods.*** The sources analyzed primarily include PubMed, Scopus, and Web of Science databases. ***Results.*** The article highlights the key issues in the early diagnosis of hypothyroidism: the masking of clinical signs by symptoms of comorbid conditions, the existence of a “gray zone” for the upper reference limit, the spontaneous normalization of initially elevated thyroid-stimulating hormone levels, and cases of tissue thyroid deficiency despite normal laboratory values. A multiparametric diagnostic algorithm is proposed and theoretically substantiated; it includes the analysis of protein markers of tissue metabolism and regulatory proteins as a supplement to the standard examination protocol. ***Conclusion.*** The assessment of “blind spots” in the diagnosis of subclinical hypothyroidism demonstrates the need for additional verification methods, one of which could be the use of a multiparametric panel of protein markers.
Keywords: hypothyroidism, subclinical stage, diagnostics, protein markers.

Введение. Первичный (тиреогенный) гипотиреоз является одним из самых распространенных эндокринных заболеваний (95% случаев) и наиболее частой патологией щитовидной железы. К его этиологическим факторам относятся: аутоимунный тиреодит, операционные вмешательства, лечение радиоактивным йодом, дефицит йода, а также попадание в организм тяжелых металлов и токсинов [1]. 80% всех зафиксированных случаев патологии приходится на субклиническую (скрытую) стадию, диагностируемую – у 10% взрослого и 14% пожилого (старше 70-ти лет) населения Российской Федерации [2]. Тревожной тенденцией последних лет является постепенное увеличение численности больных, что может быть обусловлено рядом причин. Так, согласно данным исследования, ранее перенесенная

инфекция COVID-19 в значительной степени усиливает вероятность возникновения гипотиреоза [3]. К группе риска относятся лица, проживающие в местности с избытком фтора, кальция и с дефицитом селена в воде, пожилые люди, некоторые этносы [4]. Усиление негативной экологической обстановки и обострение социальной нестабильности, а также связанное с этим повышение уровня стресса населения также неблагоприятным образом сказываются на здоровье щитовидной железы [5].

Серьезная проблема, стоящая перед медиками на этапе диагностики, заключается в том, что начальная форма гипотиреоза длительное время может протекать в латентной форме. Это связано с тем, что нарастание тиреоидной недостаточности происходит крайне медленно [6]. Кроме того, в связи с тем, что тиреоидные гормоны вовлечены сразу во множество физиологических процессов, гипотиреоз может проявляться в виде широкого спектра клинических симптомов [7], маскирующих их истинную причину, что еще более затрудняет процесс своевременной диагностики. К классической же триаде его симптомов относят заторможенность, слабость, ощущение холода, имеющие сугубо неспецифический характер, что также не способствует верификации причины подобных состояний. В этой связи процесс постановки диагноза обычно занимает от нескольких месяцев до 2-3 лет и более, что приводит к позднему назначению заместительной терапии, прогрессированию сердечно-сосудистых заболеваний и других клинических проявлений: поражений кожи, слизистых, органов чувств, опорно-двигательного аппарата, желудочно-кишечного тракта, мочевыводящей, а также центральной и периферической нервных систем [8].

Учитывая вышеизложенное, очевидна необходимость применения эффективной и точной методики своевременной диагностики данного заболевания. В этой связи цели работы – анализ эффективности существующего подхода к диагностике первичного гипотиреоза на субклинической стадии и обоснование перспективы применения белковых маркеров в качестве альтернативного метода.

Методы и организация исследования. Первый этап работы выполнен в виде литературного обзора научных статей из международных библиографических баз данных: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science Core Collection, Embase, Cochrane Library (CENTRAL), Google Scholar. Содержание статей, отобранных для анализа, включает: анализ различных аспектов проблематики диагностики гипотиреоза на субклинической стадии, описание этиологии, симптомов, метаболических и тканевых эффектов дефицита тиреоидных гормонов, влияние данных процессов на белковые маркеры на всех стадиях развертывания болезни, характеристику белковых маркеров. Второй этап работы – составление алгоритма мультипараметрического белкового анализа и его экономическое обоснование на основе синтеза изученной информации. В обзор включены публикации, преимущественно вышедшие не ранее 2020 г.

Результаты исследования и их обсуждение. На сегодняшний день золотым стандартом лабораторной диагностики гипотиреоза является определение сывороточного уровня тиреотропного гормона (ТТГ) в сочетании с оценкой свободного тироксина (Т4) для верификации формы заболевания. Так, уровень ТТГ – регуляторного гормона гипофиза – стабилизируется в крови крайне медленно и в связи с этим отражает гормональный статус за последние 7-8 недель. Свободный тироксин – метаболический гормон щитовидной железы – напротив, позволяет судить о тяжести нарушения в настоящий момент времени. На субклинической стадии уровень ТТГ, чувствительно реагируя даже на минимальное снижение концентрации Т4 в крови (1-2%), начинает постепенно и в значительной степени повышаться, стимулируя тем самым секреторную активность щитовидной железы по выработке Т4 [9]. В зависимости от уровня нарушений и компенсаторных возможностей организма это позволяет поддерживать Т4 на оптимальном уровне от нескольких месяцев до нескольких лет (иногда более 10 лет) [10]. При этом состояние больного на данном этапе развития патологии не является тяжелым, так как периферические ткани

организма все еще не испытывают нехватки в тироксине. Таким образом, о наличии субклинической стадии гипотиреоза судят по повышению концентрации ТТГ при нормальном уровне свободного Т4, концентрация которого снижается только при переходе заболевания в манифестную форму.

Однако при установленных референсных значениях, являющихся ориентиром для выявления патологического изменения уровня ТТГ, одной из неразрешенных проблем диагностики является часто встречающаяся (35-50% пациентов) спонтанная нормализация уровня ТТГ у индивидуумов с изначальным диагнозом «субклинический гипотиреоз» [7], ведущая к гипердиагностике и необоснованному назначению левотироксина. В данном случае измененные изначально показатели (в диапазоне до 10 мЕд/л) обычно в течение 10-ти месяцев приходят в норму. Кроме того, повышение ТТГ может быть следствием ряда иных, нежели рассматриваемая патология, факторов: влияния некоторых фармакологических препаратов, резистентности к тиреоидным гормонам, тиреотропиномы, психических заболеваний, первичной надпочечниковой недостаточности, синдрома эутиреоидной патологии, хронической почечной недостаточности [11]. Это еще больше усложняет процесс постановки верного диагноза.

С другой стороны, клинические признаки дефицита тиреоидных гормонов могут проявляться даже при уровне ТТГ, соответствующем референсным значениям. Одной из причин этого может являться конкуренция Т4 и Т3 с эндогенными деструкторами – загрязнителями (например, бисфенолом А или фтолатами) за рецепторы тканей, блокирующимися под влиянием последних [12]. В результате клетки начинают «голодать» без гормона, хотя уровень Т4 в крови остается прежним. Поскольку гипофиз регистрирует нормальную концентрацию гормонов Т3 и Т4, он не увеличивает выработку ТТГ и результаты стандартного анализа остаются в пределах нормы.

Отсутствие повышения ТТГ в скрытую стадию гипотиреоза может являться и следствием попадания в организм из пластика, пестицидов или обработанной воды таких веществ, как перхлораты, фтор, бром. Обладая большим сродством к натрий-йодному симпортеру (насосу), они успешно конкурируют с йодом, блокируя его поступление в щитовидную железу. В результате железо начинает вырабатывать «дефектные» гормоны с низким содержанием йода, принимаемые гипофизом за нормальный Т4, из-за чего не происходит своевременного усиления продукции ТТГ [13].

В связи с тем, что необходимым условием активации Т4 в тканях является его превращение в Т3 благодаря ферментам (дейодиназам) их блокировка тяжелыми металлами, поступающими в организм (ртуть, свинец, кадмий), может привести к тканевому гипотиреозу, зачастую упускаемому из виду при стандартном обследовании [14]. Помимо этого, некоторые загрязнители (например, полихлорированные бифенилы) способны вытеснить из транспортных белков в кровь Т4. При этом кратковременно повышается уровень свободного Т4, что регистрируется гипофизом как его избыток. Это ведет к неоправданному снижению выработки ТТГ на фоне реального тканевого дефицита Т4 [15].

До сих пор дискуссионным остается вопрос о корректности установленных референсных значений ТТГ, которые в настоящее время ограничены рамками от 0,35 до 4,50 мкМЕ/мл. Так, в многочисленных исследованиях показано, что повышение уровня ТТГ свыше 2,5 мкМЕ/мл часто служит индикатором аутоиммунных заболеваний щитовидной железы – основной причины первичного гипотиреоза [16]. Кроме того, экспериментальным путем установлено, что верхний предел референсных значений ТТГ существенно зависит от возраста и даже этнической принадлежности. С возрастом уровень ТТГ физиологически растет. У людей старше 70-80 лет значения в районе 6-7,5 мкМЕ/мл могут быть вариантом нормы и не требовать лечения, в то время, как для молодых людей это явный гипотиреоз [17]. Касательно же межэтнических различий известно, что у лиц негроидной расы средний уровень ТТГ ниже, чем у европеоидов, а у лиц азиатского происхождения он может быть выше при отсутствии патологий [18]. Это еще раз подтверждает необходимость

индивидуального подхода к интерпретации результатов анализов.

Учитывая вышеизложенное, очевидна необходимость применения дополнительных методов диагностики гипотиреоза на ранних стадиях. В их основе может лежать определение белковых маркеров, концентрация которых в плазме крови значимо изменяется уже на субклинической стадии первичного гипотиреоза по сравнению с состоянием нормы (эутиреозом). Однако в плазме крови присутствует крайне мало белков, специфичных для такой патологии, в связи с чем предполагается использование не одного, а мультипараметрической панели маркеров нарушений обменных процессов, сопряженных с начальной стадией гипотиреоза. В этом случае анализ изменения их количественного уровня позволит с высокой вероятностью поставить либо опровергнуть данный диагноз.

На основании ранее определенных белковых маркеров манифестной (2-я) и осложненной (3-я) стадий гипотиреоза (явные стадии) [19] можно предположить наличие характерных изменений концентрации некоторых из них уже на субклинической стадии, для которых подобные маркеры официально еще не задокументированы. К таким белкам 2 и 3 стадий относят компоненты комплементы C2, C3, C4A плазмы крови, серотрансферрин, α-1-антихимотрипсин и гаптоглобин, количественный уровень которых достоверно повышен по сравнению с нормой, а также паранеопластический антиген-подобный 6A (PNMA6A) и α-2-макроглобулин (A2M) белки, концентрация которых, напротив, снижается при выраженном течении данного заболевания. Перечисленные белки не являются строго специфичными для гипотиреоза, так как изменение их концентрации – результат вторичных сдвигов: системного воспаления (белки системы комплемента, гаптоглобин, серотрансферрин, α-1-антихимотрипсин) и метаболических нарушений (серотрансферрин, α-1-антихимотрипсин, гаптоглобин, PNMA6A и A2M). Поскольку на субклинической стадии гипотиреоза классические воспалительные реакции еще не выражены, а метаболические сдвиги уже проявляются, можно предположить, что использование из всех указанных выше белков только PNMA6A и A2M, не связанных с воспалительной реакцией, в качестве маркеров ранней диагностики будет более эффективным. Несмотря на отсутствие прямых публикаций по динамике PNMA6A и A2M именно при субклиническом гипотиреозе их участие в фундаментальных процессах клеточного метаболизма позволяет рассматривать их как потенциальные предикторы ранних гормональных нарушений. Приведем основные их характеристики.

PNMA6A обладает высокой нейроэндокринной специфичностью. Он регулирует внутриклеточные сигнальные пути, клеточный цикл, апоптоз в мозге и нейроэндокринных тканях, являющихся в значительной степени уязвимыми к дефициту T3 и T4. В этой связи данный белок весьма чувствительно реагирует на угнетение метаболизма в клетках данных структур на начальной стадии развития гипотиреоза, что проявляется в такой симптоматике, как «туман в голове», усталость и в виде различных когнитивных нарушений [20]. Поэтому снижение его концентрации в плазме крови может указывать на вовлеченность нейроэндокринной системы в патологический процесс еще до начала развертывания явной воспалительной реакции на манифестной стадии.

A2M – это массивный гликопротеид, захватывающий и нейтрализующий протеазы, бесконтрольно уничтожающие межклеточный матрикс при воспалении или дефиците гормонов. Когда дефицит тиреоидных гормонов приводит к снижению общей скорости синтеза белков в гепатоцитах, это в первую очередь сказывается именно на таких сложных молекулах, как A2M, так как их синтез весьма энергозатратен. Поэтому уменьшение концентрации в плазме A2M указывает на общее замедление белково-синтетической функции печени (в результате тормозится обновление регуляторных белков плазмы и ткани теряют способность к защите от протеолиза) и является важным диагностическим признаком для субклинической стадии гипотиреоза [21].

Помимо описанных регуляторных белков, отражающих нарушение системных защитных функций организма, в

мультипараметрическую панель маркеров целесообразно включить белки тканевого метаболизма, демонстрирующие реакцию органов мишеней тиреоидных гормонов на их снижение в раннюю – субклиническую стадию гипотиреоза: остеокальцин (маркер ремоделирования костной ткани), гомоцистеин с аполипопротеином В (АроВ) (маркеры сосудистого риска) и глобулин, связывающий половые гормоны (ГСПГ) (маркер ответа печени) [22]. Так, в самом начале развития гипотиреоза под влиянием снижения тиреоидных гормонов уже наблюдаются следующие изменения количественных показателей данных белков: уменьшение концентрации остеокальцина, указывающее на замедление костного обмена; рост уровня гомоцистеина вследствие замедления метаболизма метионина в печени при дефиците Т3 (накапливаясь в сосудах гомоцистеин вызывает окислительный стресс, повреждая эндотелий; через дефицит поступления оксида азота спазмирует сосуды, провоцируя рост артериального давления, активирует тромбообразование и ускоряет атеросклероз); повышение АроВ (белок «плохого» холестерина) в сосудах по причине ослабления его захвата клетками печени из-за нехватки Т3, заметное снижение ГСПГ [23]. Крайний белок является одним из самых чувствительных маркеров «тканевого» действия тиреоидных гормонов. Вырабатываясь печенью под прямым влиянием Т3, он реагирует на малейшие колебания уровня тиреоидов гораздо чувствительнее, чем остальные. Это делает его самым значимым маркером реального дефицита гормонов в тканях, даже если ТТГ остается в норме. Однако использование перечисленных белков по отдельности для диагностики гипотиреоза являлось бы ошибкой, учитывая их зависимость от ряда других факторов, помимо недостаточности тиреоидных гормонов. Остеокальцин слишком зависит от возраста, приема витамина D и кальция, гомоцистеин чувствительно реагирует на нехватку в организме витаминов группы В, АроВ – на режим питания, диабет и застой желчи. Уровень ГСПГ может существенно колебаться по различным причинам: падать из-за подавления его синтеза инсулином у пациентов с ожирением, меняться непредсказуемо при заболеваниях печени, «маскироваться» приемом контрацептивов или беременностью [24]. Кроме того, данные белки не способны реагировать на снижение тиреоидных гормонов так быстро, как, например, PNMA6A [20]. В этой связи диагностика, проводимая только на основе описанных маркеров тканевого метаболизма, дает вероятность пропустить раннюю «неврологическую» фазу гипотиреоза.

Таким образом, мультипараметрический подход, объединяющий PNMA6A (маркер нейроэндокринной уязвимости), A2M (показатель системной защиты от протеолиза), ГСПГ (индикатор тканевого ответа), а также остеокальцин, АроВ и гомоцистеин позволяет нивелировать погрешности отдельных показателей и получить целостную картину патогенеза субклинического гипотиреоза (табл.). В этой структуре белки метаболизма (например, ГСПГ) показывают, как ткани реагируют на дефицит гормонов, в то время как регуляторные белки (например, α-2-макроглобулин) демонстрируют состояние адаптационных ресурсов организма. Комплексная оценка данных маркеров обеспечивает более четкую диагностику по сравнению с изолированным их применением по отдельности и позволяет преодолеть ограничения традиционного определения уровня ТТГ.

Опираясь на изложенные данные, предлагается следующий алгоритм комплексной диагностики субклинической стадии гипотиреоза:

Шаг 1. Стандартный скрининг. Определение уровня ТТГ и свободного Т4.

Результат: если ТТГ находится в диапазоне 2,5-4,5 мкМЕ/мл (дискуссионная зона) при нормальном Т4, переходим к следующему шагу.

Шаг 2. Оценка «тканевого голода» (мультимаркерная панель). Проводится анализ концентрации шести специфических белков: ГСПГ – оцениваем метаболический отклик печени. Гомоцистеин – определяем наличие эндотелиальной дисфункции и нарушения цикла метионина. АроВ – выявляем нарушения рецепторного захвата ЛПНП и атерогенного сдвига. Остеокальцин – оцениваем сохранность костного метаболизма. α-2-макроглобулин – оцениваем

системную регуляцию и риск деградации матрикса. PNMA6A – устанавливаем вовлеченность нейроэндокринной системы.

Шаг 3. Интерпретация данных (принятие решения).

Вариант А: α-2-М, PNMA6A, маркеры ГСПГ, остеокальцин ниже индивидуальной нормы; маркеры Гомоцистеин, АроВ – выше нормы.

Заключение: подтвержденный тканевой дефицит тиреоидных гормонов. Рекомендуется начало терапии или активное наблюдение, даже если ТТГ формально в норме.

Таблица

Сравнительная характеристика групп биомаркеров для диагностики субклинического гипотиреоза

Группа белков	Примеры маркеров	Динамика при гипотиреозе	Биологическое значение (что отражают)
Маркеры тканевого метаболизма	ГСПГ, Гомоцистеин, АроВ Остеокальцин	(ГСПГ↓, Гомоцистеин↑ АроВ↑ Остеокальцин)↓	Отражают реальный «голод» клеток. Показывают, как органы-мишени (печень, кости, сосуды) реагируют на дефицит Т3.
Регуляторные белки плазмы	α-2-макроглобулин, PNMA6A	↓	Отражают нарушение системных защитных функций и процессов протеолиза. Указывают на сдвиг в работе иммунного надзора.

Примечание: ГСПГ – глобулин, связывающий половые гормоны; АроВ – белок аполипопротеин В; PNMA6A – паранеопластический антиген-подобный белок 6А.

Вариант Б: Маркеры в норме, несмотря на ТТГ>2,5.

Заключение: организм успешно компенсирует состояние, патологических сдвигов на уровне тканей нет. Динамическое наблюдение.

Вариант В: снижен только один-два маркера (например, только ГСПГ).

Заключение: необходим поиск внетиреоидных причин (заболевания печени, влияние медикаментов).

Несмотря на дороговизну подобного обследования, оно экономически обосновано, так как ранняя диагностика позволит:

1) Выявить начало заболевания за 1,5-3 года до того, как ТТГ выйдет за границы референса и раньше, чем это вызовет ряд других патологий (тяжелая дислипидемия, атеросклероз, гипертензия и др.), требующих дорогостоящего лечения.

2) Сэкономить трудовые ресурсы, сокращая диагностические поиски пациентов и обеспечивая быстрое их возвращение в состояние высокой работоспособности. Это снизит потери ВВП и уменьшит затраты предприятий на выплаты по больничным листам.

3) Оптимизировать лабораторные ресурсы: использование ТТГ как единственного маркера часто приводит к «ложно-отрицательным» результатам, из-за чего пациенты обращаются повторно с ухудшением состояния.

Заключение. Таким образом, учитывая современные проблемы диагностики гипотиреоза на субклинической стадии, предложен алгоритм мультипараметрического анализа белков, позволяющий более точно верифицировать заболевание и предотвратить его переход в манифестную стадию. Данный подход направлен на снижение риска системных осложнений и оптимизацию экономических затрат с дальнейшей апробацией на базе лаборатории протеомики Северо-Кавказского федерального университета.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hypothyroidism: new insights and clinical challenges / L.H. Duntas, M.J. de Rooij, J.W. McAninch [et al.] // Nature Reviews Endocrinology. – 2024. – Vol. 20. – No. 4. – P. 215-229. DOI: 10.1038/s41574-023-00942-1.

2. A Review of the Diagnosis and Management of Hypothyroidism / P.N. Taylor, D. Albrecht, A. Scholz [et al.] // JAMA. – 2024. – Vol. 331. – No. 10. – P. 865-876. DOI: 10.1001/jama.2023.26510.
3. The impact of COVID-19 on thyroid function and autoimmunity / L. Scappaticcio, F. Pitoia, K. Esposito [et al.] // Frontiers in Endocrinology. – 2024. – Vol. 15. DOI: 10.3389/fendo.2024.132456.
4. Hypothyroidism in the elderly: Who should be treated and how? / V. Calsolaro, F. Niccolai, G. Pasqualetti [et al.] // Journal of the Endocrine Society. – 2018. – Vol. 3. – No. 1. – P. 146-158. DOI: 10.1210/js.2018-00207.
5. Air pollution and thyroid function – narrative review / K. Janiczko, K. Juszczyk, B. Grygiel-Gorniak [et al.] // Journal of Physiology and Pharmacology. – 2025. – Vol. 76. – No. 1. DOI: 10.26402/jpp.2025.1.01.
6. Hypothyroidism / L. Chaker, A.C. Bianco, J. Jonklaas, R.P. Peeters // The Lancet. – 2017. – Vol. 390. – No. 10101. – P. 1550-1562. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30703-1.
7. Chiovato, L. Hypothyroidism: Challenges in Diagnosis and Management of a Common Condition / L. Chiovato, F. Magri, A. Carlé // Journal of Clinical Medicine. – 2023. – Vol. 12. – No. 11. DOI: 10.3390/jcm12113754.
8. Faber, J. Cardiovascular disease and thyroid function / J. Faber, C. Selmer // Frontiers of Hormone Research. – 2014. – Vol. 43. – P. 45-56. DOI: 10.1159/000360558.
9. Interpretation of TSH and T4 for diagnosing minor alterations in thyroid function: a comparative analysis of two separate longitudinal cohorts / S. Andersen, J. Karmisholt, N.H. Bruun [et al.] // Thyroid Research. – 2022. – Vol. 15. – No. 1. – P. 19. DOI: 10.1186/s13044-022-00137-1.
10. Hypothyroidism: Lancet Seminar / L. Chaker, A.S. Razvi, B. Biondi [et al.] // The Lancet Diabetes & Endocrinology. – 2024. – Vol. 12. – No. 3. – P. 195-212. DOI: 10.1016/S2213-8587(23)00277-2.
11. Peeters, R.P. Subclinical Hypothyroidism / R.P. Peeters // The New England Journal of Medicine. – 2023. – Vol. 388. – No. 25. – P. 2356-2365. DOI: 10.1056/NEJMcp2206634.
12. The impact of environmental factors and contaminants on thyroid function and disease from fetal to adult life: current evidence and future directions / M.E. Street, A.M. Shulhai, M. Petraroli [et al.] // Frontiers in Endocrinology. – 2024. – Vol. 15. – P. 1429884. DOI: 10.3389/fendo.2024.1429884.
13. Interference on Iodine Uptake and Human Thyroid Function by Perchlorate-Contaminated Water and Food / G. Lisco, A. De Tullio, V.A. Giagulli [et al.] // Nutrients. – 2020. – Vol. 12. – No. 6. – P. 1669. DOI: 10.3390/nu12061669.
14. Association between toxic heavy metals and noncancerous thyroid disease: a scoping review / M.R. Rafi'i, M.H. Ja'afar, A.M. Nawi [et al.] // PeerJ. – 2025. – Vol. 13. – P. e18962. DOI: 10.7717/peerj.18962.
15. Ghassabian, A. Disruption in Thyroid Signaling Pathway: A Mechanism for the Effect of Endocrine-Disrupting Chemicals on Child Neurodevelopment / A. Ghassabian, L. Trasande // Frontiers in Endocrinology. – 2018. – Vol. 9. – P. 204. DOI: 10.3389/fendo.2018.00204.
16. Цанава, И.А. Субклинический гипотиреоз: лечить или наблюдать? / И.А. Цанава, С.В. Булгакова, А.В. Меликова // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. – 2020. – № 6(48). – С. 98-108. DOI: 10.20340/vmi-rvz.2020.6.12. [in English] Tsanava I.A., Bulgakova S.V., Melikova A.V. Subclinical hypothyroidism: treat or watch? *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ" (REHABILITATION, DOCTOR AND HEALTH)*, 2020, no. 6, pp. 98-108. DOI: 10.20340/vmi-rvz.2020.6.12.
17. Surks, M.I. Age-specific distribution of serum thyrotropin and antithyroid antibodies in the US population: implications for the diagnosis of subclinical hypothyroidism / M.I. Surks, J.G. Hollowell // The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. – 2007. – Vol. 92. – No. 12. – P. 4560-4567. DOI:10.1210/jc.2007-1499.
18. Serum TSH, T4, and thyroid antibodies in the United States population (1988 to 1994): National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III) / J.G. Hollowell, N.W. Staehling, W.D. Flanders [et al.] // The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. – 2002. – Vol. 87. – No. 2. – P. 489-499. DOI: 10.1210/jcem.87.2.8182.
19. Differences in the Plasma Proteome of Patients with Hypothyroidism before and after Thyroid Hormone Replacement: A Proteomic Analysis / A.A. Alfadda, H. Benabdelkamel, A. Masood [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2018. – Vol. 19. – No. 1. – P. 88. DOI: 10.3390/ijms19010088.
20. Identification of related long non-coding RNAs and mRNAs in subclinical hypothyroidism and subclinical hypothyroidism complicated with type 2 diabetes / S. Pang, H. Zhang, X.G. Sun [et al.] // Endokrynologia Polska. – 2020. – Vol. 71. – No. 3. – P. 226-236. DOI: 10.5603/EP.a2020.0019.
21. Содержание иммунорегуляторных белков и цитокинов в крови при аутоиммунных заболеваниях щитовидной железы / Т.П. Маклакова, В.Н. Зорина, Т.Т. Шепель, [и др.] // Проблемы эндокринологии. – 2014. – Т. 60. – № 6. – С. 10-13. [in English] Maklakova T.P., Zorina V.N., Shepel' T.T. et al. The levels of immunoreactive proteins and cytokines in the blood of the patients presenting with autoimmune thyroid diseases. *Problems of Endocrinology*, 2014, vol. 60, no. 6, pp. 10-13.

22. Левченко, И.А. Субклинический гипотиреоз / И.А. Левченко, В.В. Фадеев // Проблемы эндокринологии. – 2002. – Т. 48. – № 2. – С. 13-22. DOI: 10.14341/probl11502. [in English] Levchenko I.A., Fadeev V.V. Subclinical hypothyrosis. *Problems of Endocrinology*, 2002, vol. 48, no. 2, pp. 13-22. DOI: 10.14341/probl11502.
23. Metabolic and vascular effects of subclinical hypothyroidism / A. Jabbar, A. Pingitore, S.H.S. Pearce [et al.] // Nature Reviews Endocrinology. – 2017. – Vol. 13. – No. 9. – P. 513-525. DOI: 10.1038/nrendo.2017.77.
24. Проект клинических рекомендаций по гипотиреозу / В.В. Фадеев, Т.Б. Моргунова, Г.А. Мельниченко [и др.] // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. – 2021. – Т. 17. – № 1. – С. 4-13. [in English] Fadeev V.V., Morgunova T.B., Melnichenko G.A., Dedov I.I. Draft of the clinical recommendations for diagnosis and treatment of hypothyroidism. *Clinical and experimental thyroidology*, 2021, vol. 17, no. 1, pp. 4-13.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Инна Николаевна Чадова – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии и патологии, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, e-mail: innachadova@yandex.ru.
Николай Георгиевич Беляев – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии и патологии, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, e-mail: belyaev_nikolay@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Inna N. Chadova – Candidate in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology and Pathology, North-Caucasus Federal University, Stavropol, e-mail: innachadova@yandex.ru.
Nikolay G. Belyaev – Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Physiology and Pathology, North-Caucasus Federal University, Stavropol, e-mail: belyaev_nikolay@mail.ru.

Для цитирования: Чадова, И.Н. Современные проблемы диагностики субклинического первичного гипотиреоза и перспективы применения белковых маркеров / И.Н. Чадова, Н.Г. Беляев // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_30

For citation: Chadova I.N., Belyaev N.G. Current challenges in the diagnosis of subclinical primary hypothyroidism and prospects for the use of protein markers. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_30

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_31
УДК 616.98-036-07-08

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_31
UDC 616.98-036-07-08

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ РЕАБИЛИТАЦИИ СПОРТСМЕНОВ МОЛОДОГО ВОЗРАСТА С ПОСТКОВИДНЫМ АСТЕНИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ

Р.М. Малевич[1], Д.Б. Сумная[1,2,3], Е.В. Быков[1], И.В. Николаева[1,2], А.А. Кинзерский[1,3]
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет физической культуры», г. Челябинск, Россия
[2]Общество с ограниченной ответственностью «СОНАР», г. Челябинск, Россия
[3]Общество с ограниченной ответственностью «Центр нейромышечной стабилизации», г. Челябинск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Пандемия COVID-19 привела к развитию разнообразных последствий, в том числе постковидного астенического синдрома. ***Методы.*** На I этапе для выявления благоприятного и неблагоприятного течения синдрома проведено обследование 80 человек. На II этапе 120 пациентов молодого возраста с постковидным астеническим синдромом проходили реабилитацию. Группа А: получала проспекту® + базовую реабилитацию по стандарту, группа Б – проспекту® + карбоник-терапию + базовую реабилитацию, группа В – карбоник-терапию + базовую реабилитацию, группа Г – базовую реабилитацию. ***Результаты.*** Выявленное на I этапе исследования прогностическое значение в виде нарастания тяжести и длительности синдрома при увеличении содержания белка S100 и дисбалансе в системе «Перекисное окисление липидов – антиоксидантная система» побудили нас к совершенствованию программы реабилитации. ***Заключение.*** Доказана эффективность включения в программу реабилитации карбоник-терапии и применения аффинно очищенных модифицированных антител к белку S100β (проспекта®).
Ключевые слова: постковидный астенический синдром, спортсмены, реабилитация, карбоник-терапия.

IMPROVING THE REHABILITATION PROGRAM FOR YOUNG ATHLETES WITH POST-COVID ASTHENIC SYNDROME

R.M. Malevich[1], D.B. Sumnaya[1,2,3], E.V. Bykov[1], I.V. Nikolaeva[1,2], A.A. Kinzersky[1,3]
[1]Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia
[2]SONAR LLC, Chelyabinsk, Russia
[3]Center for Neuromuscular Stabilization, Chelyabinsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The COVID-19 pandemic led to the development of various consequences, including post-COVID asthenic syndrome. ***Methods.*** At stage I, 80 individuals were examined to identify favorable and unfavorable courses of the syndrome. At stage II, 120 young patients with the syndrome received rehabilitation. Group A received Prospekta® + basic rehabilitation according to standards, group B – Prospekta® + carbonic therapy + basic rehabilitation, group C – carbonic therapy + basic rehabilitation; Group D received basic rehabilitation. ***Results.*** The prognostic value identified in the stage I of the study in the form of an increase in the syndrome's severity and duration with an increase in the S100B content and an imbalance in the lipid peroxidation – antioxidant system, prompted us to improve the rehabilitation program. ***Conclusion.*** The effectiveness of the use of carbonic therapy and affinity purified and modified anti-S100β antibodies (Prospekta®) in the rehabilitation program has been proven.
Keywords: post-COVID asthenic syndrome, athletes, rehabilitation, carbonic therapy.

Введение. Изначально COVID-19 рассматривался как острое заболевание, которое полностью проходит в течение 2-3 недель при легких и средних формах течения. Однако со временем накопилось множество данных о симптомах, сохраняющихся значительно дольше – вплоть до 6 и более месяцев [1-4]. Такое состояние после перенесенной коронавирусной инфекции обозначено в Международной классификации болезней 10-го пересмотра под кодом U09.9 «Состояние после COVID-19» и включает прогрессирующее полиорганное поражение, полинейропатию, астенический

синдром, аутоиммунные расстройства и др. [5-7]. В связи с большим количеством заболевших и наличием множества проявлений осложнений постковидного синдрома лечение и реабилитация этого состояния становятся актуальной социальной и медицинской проблемой [8-10]. Целями лечения и реабилитации больных после перенесенной новой коронавирусной инфекции COVID-19 являются уменьшение остаточной симптоматики заболевания, предупреждение осложнений и стойких нарушений функций организма, приводящих к инвалидизации, улучшение качества жизни, восстановление трудоспособности и профессионального статуса пациентов [11, 12].

Цель исследования: клинико-биохимическое обоснование и оценка результатов предлагаемой программы реабилитации постковидного астенического синдрома (ПКАС) у спортсменов молодого возраста.

Методы и организация исследования. Обследование и реабилитация пациентов проводились на базе Общества с ограниченной ответственностью «СОНАР» и Центра нейромышечной стабилизации, Областной клинической больницы № 3, санатория «Сосновая Горка», Челябинского областного реабилитационного центра. В первый этап исследования включены 80 пациентов с клиникой ПКАС и 20 человек здоровых (группа контроля лабораторных анализов), во второй этап – 120 пациентов с клиникой ПКАС.

Исследование являлось открытым рандомизированным контролируемым проспективным. Группы пациентов формировались адаптивной рандомизацией, группы были однородны по большинству признаков (пол, возраст, диагноз, стадия заболевания). Протокол исследования отвечал требованиям Хельсинкской декларации и «Правил клинической практики в Российской Федерации» (Приказ Минздрава РФ № 266 от 19.06.2003 г.). Участники исследования подписывали информированное согласие, протокол исследования одобрен этическим комитетом Уральского государственного университета физической культуры (протокол № 1 от 05.04.2016 г.).

Исследование проходило в два этапа. На первом этапе обследованы 100 пациентов: из них 80 пациентов с клиникой ПКАС в возрасте от 18 до 44 лет с целью выявления клинико-лабораторных и инструментальных признаков «благоприятного» и «неблагоприятного» течения заболевания и 20 здоровых идентичного возраста человек (группа контроля) для определения нормы лабораторных показателей (рис. 1).



Рис. 1. Дизайн исследования

Критерии включения: наличие клинических проявлений ПКАС, возраст участников – от 18 до 44 лет.

Критерии исключения: беременные женщины, отказ пациентов от продолжения участия, возраст участников – младше 17 и старше 45 лет, наличие острых заболеваний и декомпенсация хронических.

Группа контроля: здоровые в возрасте от 18 до 44 лет (норма лабораторных показателей).

Лабораторные показатели: перекисное окисление липидов (ПОЛ), антиокислительная активность I (АОА1), антиокислительная активность II (АОА2), белок S100 определялись спектрофотометрическим методом. Также оценивались показатели скорости оседания эритроцитов и С-реактивного белка (СРБ). Группы обследуемых до и после реабилитации: благоприятное течение (n=40); неблагоприятное течение (n=40). группа контроля (n=20) – контроль лабораторных показателей (норма для здоровых идентичного возраста).

Второй этап проводился с целью определения эффективности комплексной реабилитации ПКАС (120 человек) с учетом полученных на первом этапе клинико-биохимических данных. Также производился анализ клинической картины, особенностей течения заболевания и эффективности реабилитации в различных популяционных подгруппах: пациенты молодого возраста (от 18 до 44 лет) с клиникой ПКАС (группы А1, Б1, В1 и Г1), на регулярной основе занимающиеся физической культурой (60 человек), и группы (А2, Б2, В2 и Г2), ведущие малоподвижный образ жизни, не занимающиеся спортом (60 человек) (рис. 2).

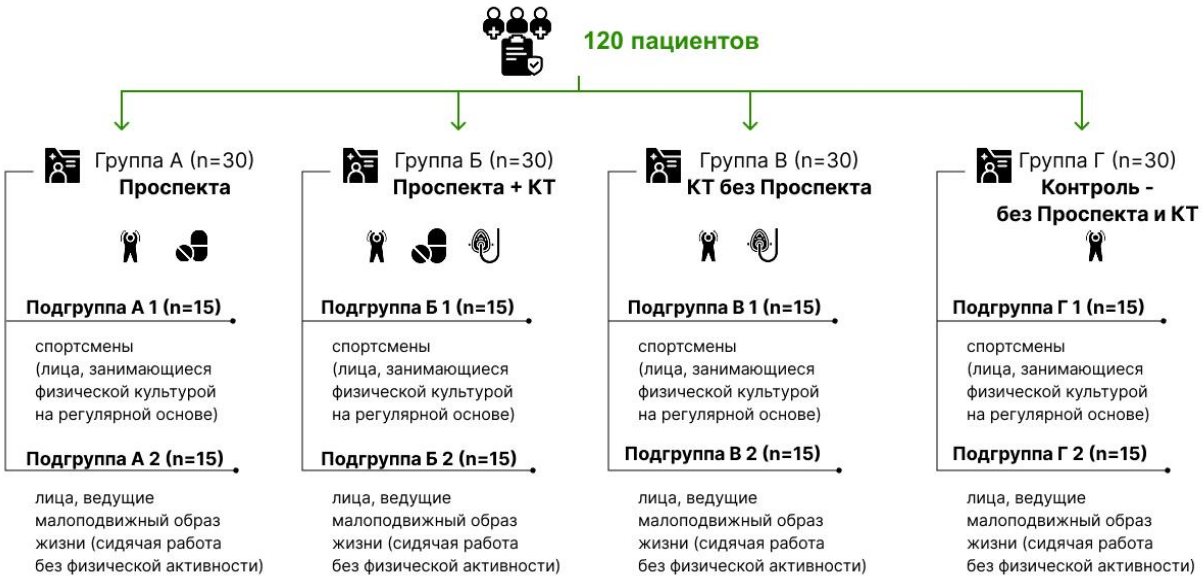


Рис. 2. Распределение по группам и видам реабилитации (второй этап исследования)
Примечание: КТ – карбоник-терапия.

На фоне базовых реабилитационных мероприятий применялись: в группе А – препарат Проспекта® (n=30); в группе Б – препарат Проспекта® и карбоник-терапия (n=30); в группе В – карбоник-терапия (n=30); в группе Г – только базовая реабилитация (n=30).

Препарат Проспекта®, используемый в работе по схеме 2 таблетки в день на протяжении 1 месяца, представляет собой антитела к мозгоспецифическому белку S100. Мишенью действия препарата Проспекта® является широко представленный в нервной системе мозгоспецифический Ca2+-связывающий белок S100 (S100β), повышение или отсутствие нормализации которого было выявлено при неблагоприятном течении постковидного астенического синдрома на первом этапе нашего исследования, что побудило нас использовать данный препарат в клиническом исследовании.

Реабилитация у пациентов с ПКАС с помощью дыхательного тренажера «Карбоник»

проходила после обследования, включавшего определение цереброваскулярной реактивности мозговых сосудов на гиперкапнию, оценку кардиоваскулярной реактивности, кардиореспираторного резерва, по результатам которых пациенту подбирался индивидуальный режим дыхательных тренировок на тренажере. Режим определялся с автоматизацией контроля тренировок по биологической обратной связи и оценке газового гомеостаза – гипоксия, гипо-/гиперкапния, гипервентиляция, метаболизм с автоматическим подбором оптимального режима. Были использованы следующие режимы: «Профилактический» – состав дыхательной смеси: углекислый газ – 3,8-4,8%, кислород – 17-15%, или «Лечебный» – состав дыхательной смеси: углекислый газ – 4-5%, кислород – 15-13%. Рабочее положение заслонки дыхательного объема мертвого пространства – 500-1000 мл. При реабилитации с использованием карбоник-терапии мы использовали разработанную методику (Патент на изобретение № 2783493). Карбоник-терапия проводилась 1 раз в день на протяжении 1 месяца по режиму индивидуальных тренировок от 3 до 20 минут, добавление времени тренировки проводилось в данном интервале постепенно с прибавлением 1 минуты при хорошем самочувствии.

Критерии включения: пациенты обоих полов в возрасте от 18 до 44 лет с клиникой ПКАС.

Критерии исключения: возраст обследуемых – младше 17 и старше 45 лет, пациенты, имеющие психические и неврологические заболевания, соматические заболевания в стадии обострения и хронические соматические заболевания, изменяющие биохимический статус, беременные женщины.

Перед началом реабилитационных мер осуществлялось тестирование для определения уровня толерантности к физическим нагрузкам. Во время исследования контролировались показатели артериального давления, частоты сердечных сокращений, частоты дыхания, показатель уровня насыщения капиллярной крови кислородом, температура. Проводилось тестирование по шкалам:

1) Опросник качества жизни (SF-36), состоящий из 36 вопросов, оцениваемых в баллах от 0 до 100, сгруппированных в восемь шкал:

- физическое функционирование;
- ролевая деятельность;
- телесная боль;
- общее здоровье;
- жизнеспособность;
- социальное функционирование;
- эмоциональное состояние;
- психическое здоровье.

Чем выше значение показателя, тем лучше оценка по избранной шкале.

Шкалы группируются в два показателя:

Физический компонент здоровья: физическое функционирование; ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием; интенсивность боли; общее состояние здоровья.

Психологический компонент здоровья: психическое здоровье; ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием; социальное функционирование; жизненная активность.

2) Опросник «Самочувствие, активность, настроение» (САН), представляющий собой таблицу из 30 пар слов, отражающих исследуемые особенности психоэмоционального состояния (самочувствие, настроение, активность). Полученная по каждой шкале сумма находится в пределах от 10 до 70 баллов и позволяет выявить функциональное состояние индивида в данный момент времени по принципу <30 баллов – низкая оценка; 30-50 баллов – средняя оценка; >50 баллов – высокая оценка.

3) Индекс тяжести инсомнии, использовался нами для оценки тяжести нарушений сна. Он дает возможность проследить выраженность симптомов бессонницы за последние две недели. Шкала состоит из 7 вопросов, каждый из которых оценивается от 0 до 4 баллов (максимум 28 баллов):

- трудности с засыпанием;
- частые ночные пробуждения;
- слишком раннее утреннее пробуждение;
- степень неудовлетворенности сном;
- влияние проблем со сном на повседневную деятельность;

- заметность проблем для окружающих;

- степень беспокойства/тревоги из-за плохого сна.

Оценка результатов производилась по значению суммы баллов: 0-7 баллов – отсутствие клинически значимой бессонницы; 8-14 баллов – субпороговая (легкая) бессонница; 15-21 баллов – умеренная клиническая бессонница; 22-28 баллов – тяжелая клиническая бессонница.

4) Субъективная шкала оценки астении (MFI-20). Опросник состоит из 20 вопросов, объединенных в пять субшкал: общая астения, физическая астения, пониженная активность, снижение мотивации и психической астении. Мы использовали опросник для диагностики астенического состояния и детального количественного и качественного анализа степени выраженности общей астении и ее различных компонентов. По каждой из перечисленных субшкал вычисляется свой суммарный балл (от 1 до 5). Также высчитывается общий суммарный балл. В норме общее количество не должно превышать 20-30 баллов. Если суммарный балл по одной из субшкал выше 12, то это может быть предварительным основанием для постановки диагноза «астенический синдром».

5) Опросник «Дистресс, депрессия, тревога и соматизация» (4ДДТС), помогающий дифференцировать общие стрессовые реакции от конкретных психических нарушений, состоящий из 50 пунктов, которые пациент оценивает на основе своего самочувствия за последнюю неделю.

Тест измеряет 4 основных домена:

- дистресс: общие психоэмоциональные и телесные реакции на стресс (раздражительность, напряжение, проблемы со сном);

- депрессия: симптомы сниженного настроения, апатии и утраты интересов.

- тревога: специфические страхи и панические атаки.

- соматизация: физические симптомы, не имеющие явного медицинского обоснования (головные боли, головокружения, тошнота).

Каждый вопрос оценивается по шкале из 5 вариантов: нет, иногда, регулярно, часто, очень часто (или постоянно). Главная ценность 4ДДТС – способность отделить нормальную реакцию на тяжелую жизненную ситуацию (дистресс) от истинной депрессии или тревожных расстройств.

Статистическая обработка результатов исследования была выполнена с использованием валидизированной программы Statistica-13.0, проверка на нормальность распределения данных проводилась с применением критерия Шапиро-Уилка. Для показателей, имеющих нормальное распределение, проводился расчет средних арифметических и стандартных отклонений ($M \pm \sigma$). Для величин в нормально распределенных совокупностях рассчитывался t-критерий Стьюдента, результаты считались статистически значимыми при $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Все пациенты проходили исследования мультиспиральной компьютерной томографии грудной клетки. Пациенты с выраженными дыхательными артефактами на сканах и с интерстициальным заболеванием легких (обычная интерстициальная пневмония, профессиональные заболевания) из исследования исключались. По нашим данным поражение легких было: КТ0 – 1,59%; КТ1 – 34,92%; КТ2 – 42,06%; КТ3 –16,67%; КТ4 – 4,76%.

Анализ гендерного распределения обследуемых внутри обозначенных групп показал равное количество мужчин и женщин. Распределение пациентов по возрасту в группах отличий не имело. У большинства пациентов имел место выраженный ПКАС. По спектру предъявляемых жалоб наибольшая частота отмечена при благоприятном и неблагоприятном течении ПКАС соответственно: слабость – 77,5 и 87,5%; нарушения сна – 85 и 87,5%; тревожность – 82,5 и 87,5%; снижение памяти – 80 и 87,5%; панические атаки – 75 и 77,5%; депрессия – 75 и 80%; головная боль – 77,5 и 80%; головокружение – 65 и 72,5%; ангедония – 45 и 55%; одышка – 20 и 45%; кашель – 17,5 и 25%.

Достоверных отличий до проведения реабилитации в группах (рис. 3) с благоприятным и неблагоприятным течением заболевания по выраженности общей астении, пониженной активности, снижения мотивации, физической и психической астении не выявлено ($p>0,05$).

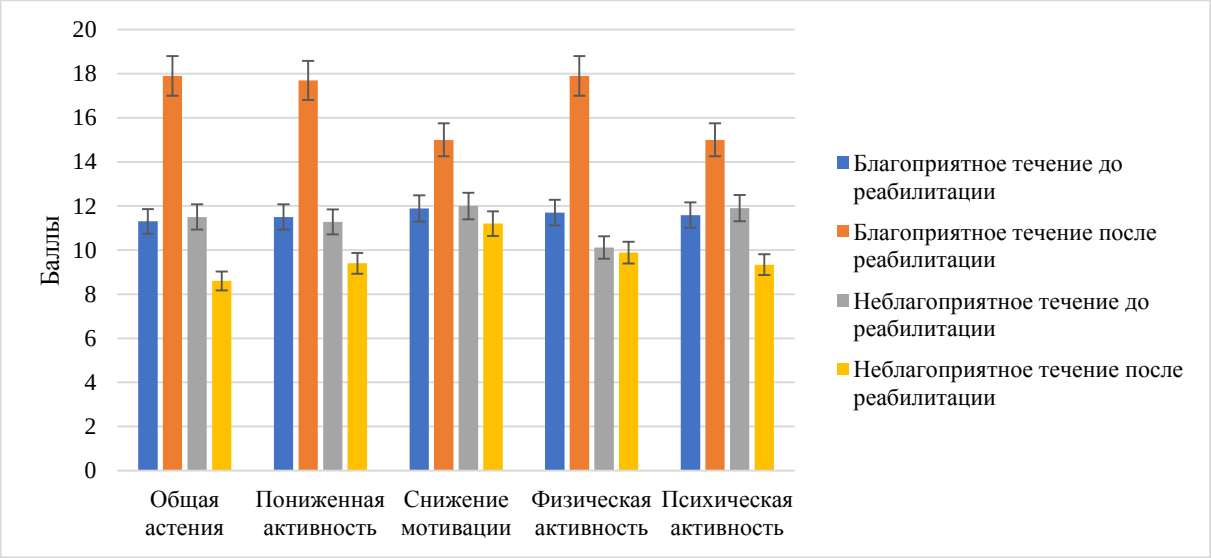


Рис. 3. Результаты тестирования обследуемых по многомерной шкале оценки астении (MFI-20)

В динамике при благоприятном течении заболевания ПКАС (общая астения) достоверно снижался (в 1,58 раз, $p<0,05$) и полностью регрессировал к моменту завершения исследования. При неблагоприятном течении выраженность астении достоверно не уменьшалась ($p>0,05$).

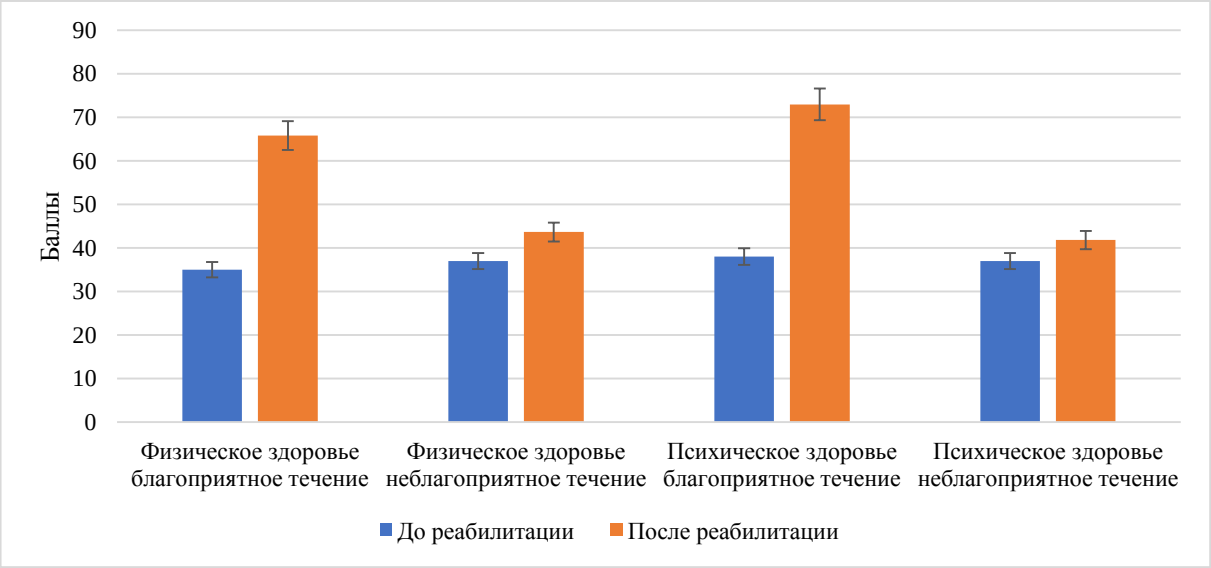


Рис. 4. Оценка психического и физического здоровья по опроснику качества жизни (SF-36)

Оценка психического здоровья (по SF-36) при благоприятном и неблагоприятном течении заболевания (рис. 4) также имеет только тенденцию к повышению (в 1,13 раз, $p>0,05$) после реабилитации при неблагоприятном течении, а также значительное улучшение (в 1,92 раз, $p<0,05$) при благоприятном течении. При неблагоприятном течении ПКАС в динамике отмечалось некоторое повышение (в 1,18 раз, $p>0,05$) показателей физического здоровья, а при благоприятном течении – в 1,88 раз ($p<0,05$). Определяется положительная динамика в двух группах по функциональному состоянию, до реабилитации по опроснику САН <30 баллов (низкая оценка), после реабилитации по САН при неблагоприятном течении – 30-50 баллов (средняя оценка), при благоприятном течении – >50 баллов (высокая оценка). Уровень САН при благоприятном течении ПКАС повышался в 1,27 раз, в 1,42 раз, в 1,52 раз относительно неблагоприятного течения ($p<0,05$) (рис. 5).

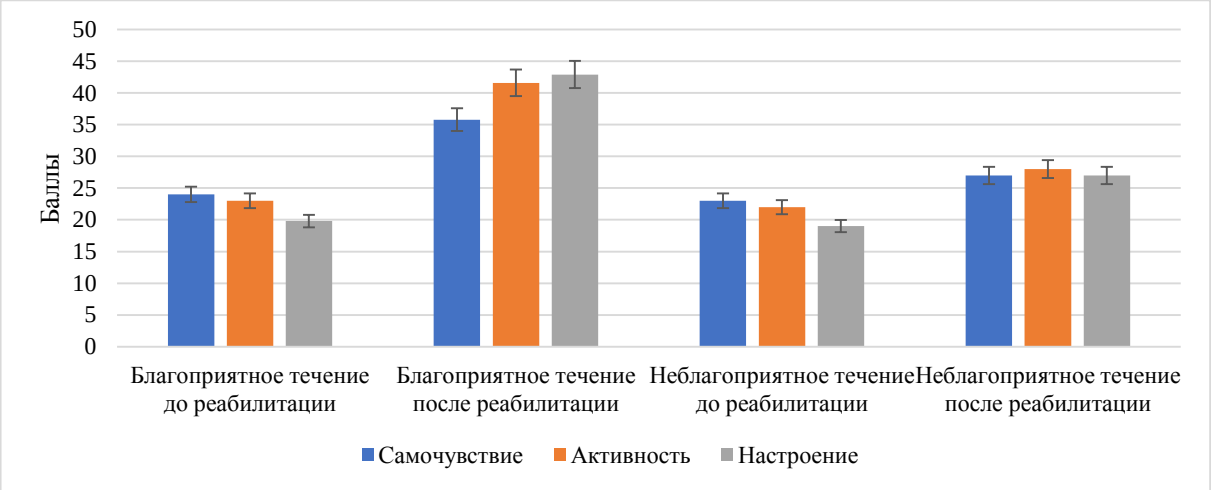


Рис. 5. Данные тестирования по шкале «Самочувствие, активность, настроение» (САН)

Индекс тяжести инсомнии достоверно снижался (в 2,78 раза, $p<0,05$) после курса реабилитации при благоприятном течении ПКАС, при неблагоприятном течении – только в 1,78 раз ($p<0,05$).

Изменения в лабораторных анализах: благоприятное течение по нашим данным сопровождается начальным повышением СРБ и скорости оседания эритроцитов (СОЭ) в 1,55 и в 2,88 раз, а при неблагоприятном течении ПКАС – в 1,57 и 3,11 раз соответственно ($p<0,05$). После проведения реабилитационных мероприятий наблюдается снижение СРБ при благоприятном течении в 1,49 раз и нормализация значений СОЭ, а при неблагоприятном течении – повышение СРБ в 1,62 раз и СОЭ в 1,39 раз ($p<0,05$).

Наиболее существенный дисбаланс системы «Перекисное окисление липидов – антиоксидантная система» («ПОЛ-АОС») установлен у пациентов с неблагоприятным течением заболевания. Степень нарушений системы «ПОЛ-АОС» нарастала по мере увеличения длительности развития ПКАС.

До реабилитации все категории продуктов ПОЛ в сыворотке крови были повышены у пациентов с благоприятным и неблагоприятным течением ПКАС. Различия в группах исходно недостоверны ($p>0,05$).

У всех пациентов с развитием ПКАС как при благоприятном, так и при неблагоприятном течении была зафиксирована выраженная интенсификация свободно-радикального ПОЛ на фоне напряжения ферментативной системы АОС.

Наиболее демонстративны изменения при анализе содержания первичных продуктов ПОЛ в сыворотке крови (рис. 6).

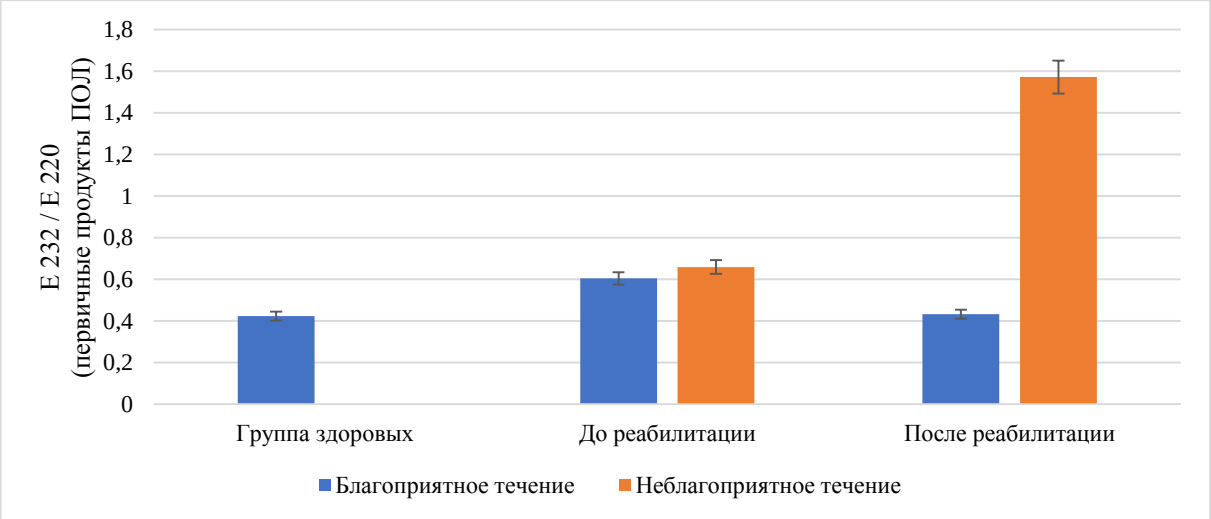


Рис. 6. Содержание в сыворотке крови первичных продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) у пациентов обследуемых групп

После проведенных реабилитационных мероприятий при благоприятном течении постковидного синдрома первичные продукты ПОЛ (рис. 6) снижались в 1,39 раз, а при неблагоприятном течении, наоборот, достоверно повышались в 2,39 раза ($p<0,05$). После реабилитации содержание первичных продуктов ПОЛ в сыворотке крови было значительно повышено (в 3,63 раза, $p<0,05$) у пациентов с неблагоприятным течением по сравнению с пациентами с благоприятным течением. Это сочеталось с клиническим ухудшением состояния или сохранением жалоб у пациентов с неблагоприятным течением заболевания. Данная ситуация требовала продолжения реабилитации в связи с интенсификацией у данной группы пациентов процессов липопероксидации, что и способствовало образованию и накоплению продуктов ПОЛ, инактивирующих катионные помпы, каналы, ионную проводимость, мембранные белки, ферменты, с чем может быть и связано неблагоприятное течение заболевания.

AOA1 (рис. 7) до реабилитации как при благоприятном, так и при неблагоприятном течении ПКС была достоверно снижена (в 1,61 раз, $p<0,05$). Различия исходно в группах недостоверны ($p>0,05$). После реабилитации при благоприятном течении она повышалась (в 1,57 раз, $p<0,05$), а при неблагоприятном течении достоверно снижалась (в 1,49 раз, $p<0,05$), что сопровождалось ухудшением или отсутствием улучшения состояния пациентов. После реабилитации различия в AOA1 при неблагоприятном и благоприятном течении заболевания достоверны ($p<0,05$). При благоприятном течении AOA1 выше в 2,33 раза, чем при неблагоприятном течении. Корреляционная связь между выраженностью общей астении (шкала MFI-20) и Fe2+-аскорбат-индуцированное ПОЛ E232/E220 (AOA1) у наблюдавшихся пациентов с неблагоприятным течением заболевания высокой степени отрицательная ($r=-0,764$; $p<0,005$).

Белок S100 до реабилитации (рис. 8) при благоприятном течении ПКАС достоверно превышает значения группы здоровых в 2,27 раза, а при неблагоприятном течении ПКАС – в 2,64 раза. До реабилитации содержание белка S100 в сыворотке крови при неблагоприятном течении было в 1,16 раз выше, чем при благоприятном течении. К месяцу после начала реабилитации различия в группах с благоприятным и неблагоприятным течением ПКАС становятся значимыми и достоверными: содержание белка S100 при неблагоприятном течении в 3,55 раз превышают значения группы с благоприятным течением. Направленность изменений содержания белка S100 в сыворотке крови при благоприятном и неблагоприятном течении ПКАС разная. При благоприятном течении ПКАС к месяцу реабилитации он снижается в 2,69 раза, а при неблагоприятном течении, наоборот, повышается в 1,14 раз (отличия до и после реабилитации в группе недостоверны, имеет место тенденция к нарастанию его значений). Обнаружена корреляционная связь между выраженностью общей астении (шкала MFI-20) и степенью повышения белка S100 у наблюдавшихся пациентов с неблагоприятным течением заболевания ($r=0,812$; $p<0,005$).

Выявленное на первом этапе наших исследований определение прогностического значения содержания белка S100 в сыворотке крови при благоприятном и неблагоприятном течении ПКАС побудило нас использовать в комплексах реабилитации препарат Проспекта®. Мишенью действия препарата является белок S100β, который позитивно влияет на интегративную деятельность мозга, регулирует многие фундаментальные процессы в мозге (генерация и проведение нервного импульса, синаптическая передача сигнала, стимуляция дифференцировки и пролиферации нейронов). Препарат Проспекта® повышает устойчивость тканей мозга к гипоксии и токсическим воздействиям, обладает мембрано-стабилизирующим, антиоксидантным действием, мобилизует внутриклеточные функционально сопряженные с белком S100β компенсаторные резервы нервных клеток за счет модифицирующего влияния на белок S100β. На основании этих свойств препарат был включен нами в предлагаемые реабилитационные комплексы для повышения их эффективности.

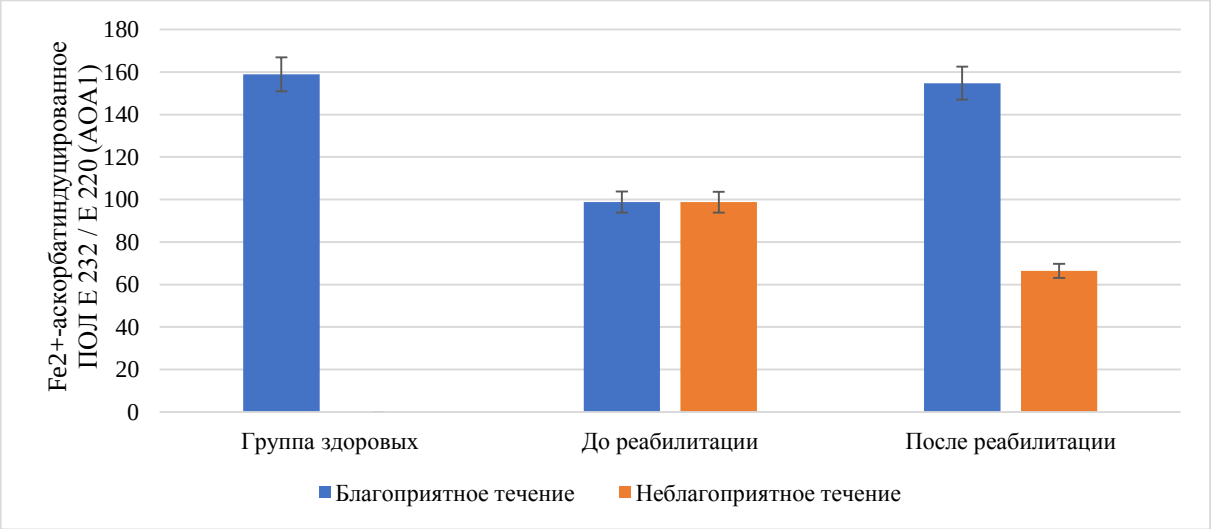


Рис. 7. Антиокислительная активность I (АОА1) сыворотки крови у пациентов обследуемых групп

Примечание: ПОЛ – перекисное окисление липидов.

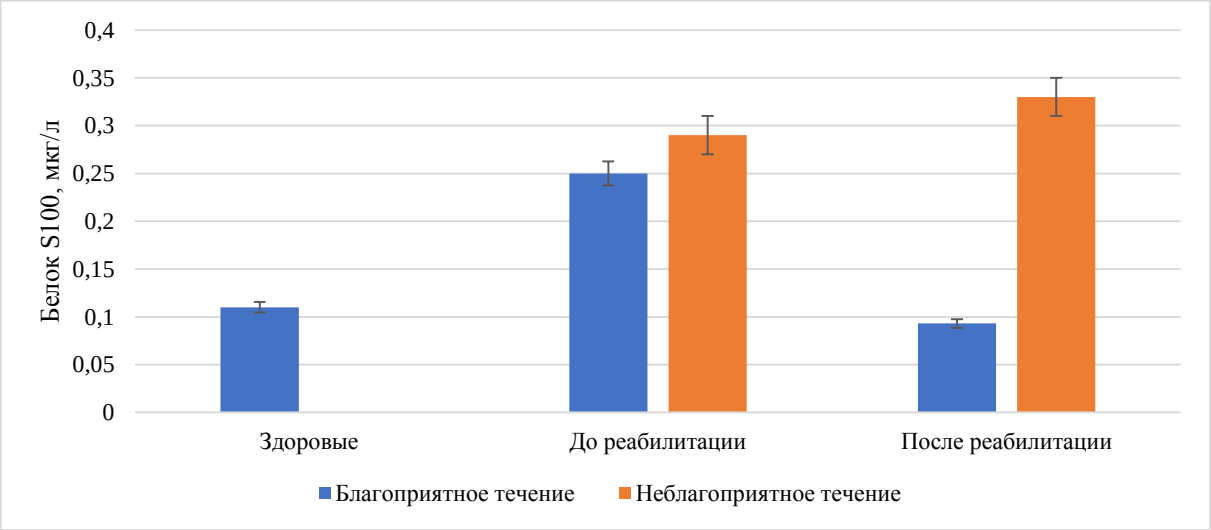


Рис. 8. Белок S100 сыворотки крови у пациентов обследуемых групп

В своей работе мы провели анализ жалоб, клинических проявлений и эффективности реабилитации у двух популяционных подгрупп: лиц с малоподвижным образом жизни и лиц, активно занимающихся на регулярной основе физической культурой. Наиболее частыми клиническими проявлениями заболевания в наших исследованиях были усталость и общая слабость (100% как в группе лиц, на регулярной основе занимающихся физической культурой, так и в группе лиц, ведущих малоподвижный образ жизни). Тревога (в 1,33 раз) и панические атаки (в 1,25 раз) встречались чаще в подгруппах лиц, ведущих малоподвижный образ жизни, чем в группе лиц, на регулярной основе занимающихся физической культурой. Депрессия также была выявлена чаще у лиц, ведущих малоподвижный образ жизни (65%), а у лиц, поддерживающих свое здоровье, в 59% случаев, но отличия в этих группах достоверными не были ($p>0,05$). Частота встречаемости головной боли, «тумана в голове», снижения памяти, тошноты, аносмии, агевзии, суставных болей и миалгий достоверных ($p>0,05$) отличий в группах не имела. Однако нарушения сна – часто встречающаяся жалоба в структуре ПКАС – выявлялись у физически малоактивных пациентов в 1,63 раз чаще в отличие от пациентов, ведущих физически активный здоровый образ жизни. Нарушение концентрации внимания, головокружения, учащенные сердцебиения на фоне непереносимости физической

нагрузки также были более выражены (в 1,27, 1,63, 1,86 и 3,5 раз соответственно) в группе лиц с малоподвижным образом жизни. При тестировании обследуемых по многомерной шкале MFI-20 показано, что выраженность общей астении до обследования достоверно не отличалась в группах ($p>0,05$), однако в группах лиц, ведущих малоподвижный образ жизни, даже при одинаковой реабилитации всегда эффект проводимых мероприятий ниже, чем у спортсменов.

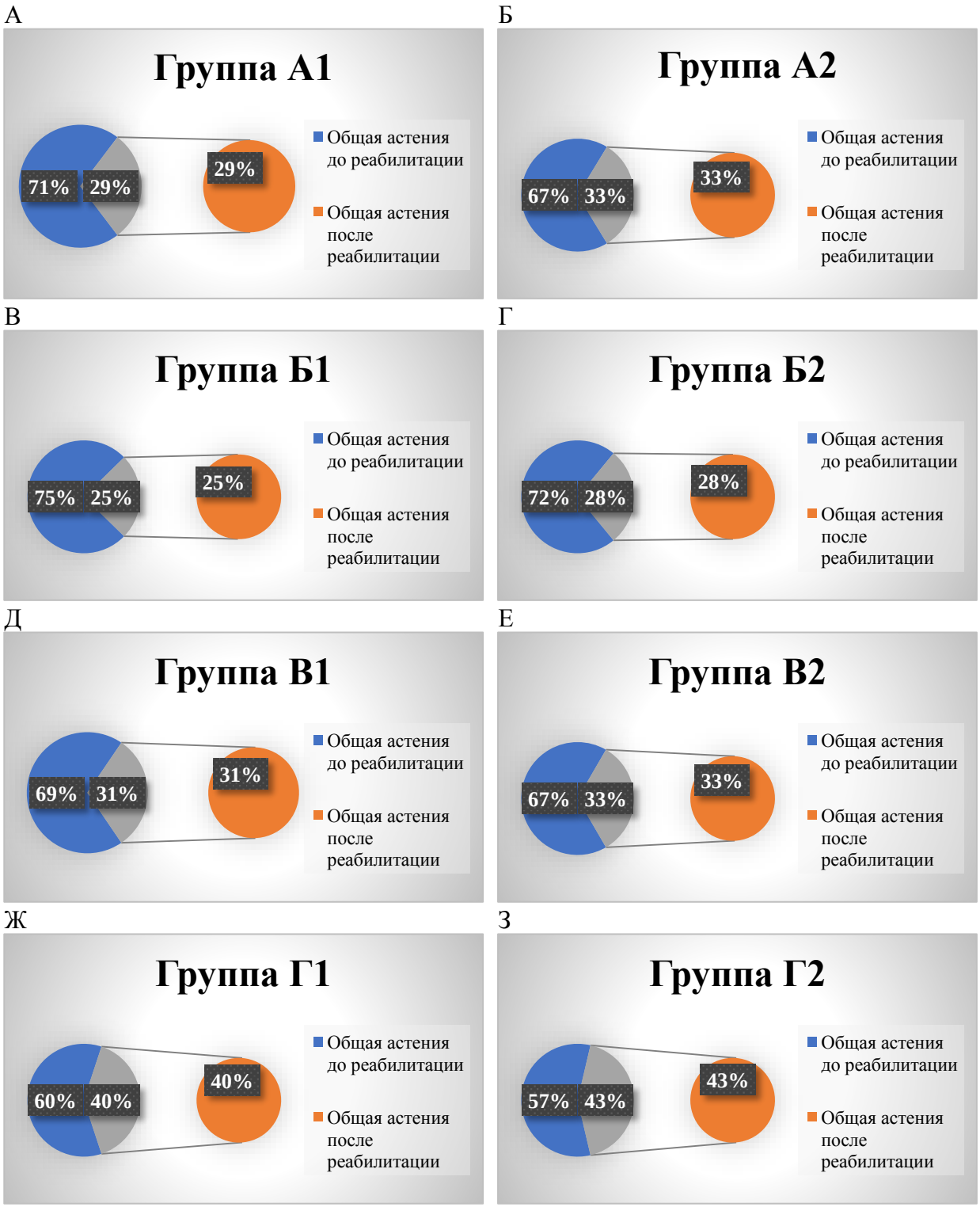


Рис. 9. Общая астения до и после реабилитации (по шкале оценки астении (MFI-20))
Примечание: А – Проспекта® + базовая реабилитация по стандарту; Б – Проспекта® + карбоник-терапия + базовая реабилитация; В – карбоник-терапия + базовая реабилитация; Г – базовая реабилитация; 1 – лица, занимающиеся физической культурой на регулярной основе; 2 – лица, ведущие малоподвижный образ жизни.

Как представлено на рисунке 9, после лечения и реабилитации общая астения достоверно (p<0,05) снижается в группе Б (подгруппах Б1 и Б2, p<0,05). Наименьшее снижение общей астении после реабилитации было в группах Г (подгруппах Г1 и Г2).

Для оценки эффективности терапии препаратом Проспекта® проводился анализ изменений среднего значения времени заполнения таблицы Шульте в секундах через 4 недели, 2 и 3 месяца лечения. В данном тесте достоверных отличий между подгруппами лиц, занимающихся физической культурой на регулярной основе, и лиц, ведущих малоподвижный образ жизни, выявлено не было, и результаты представлены по группам в зависимости от способа проводимого лечения и реабилитации. В формировании вегетососудистых проявлений постковидной астении большая роль принадлежит дистрессу, соматизации, депрессии и тревоге, а тестирование пациентов с помощью опросника 4ДДТС позволяет проанализировать их значение и динамику изменения после реабилитации и сравнить их эффективность в группах.

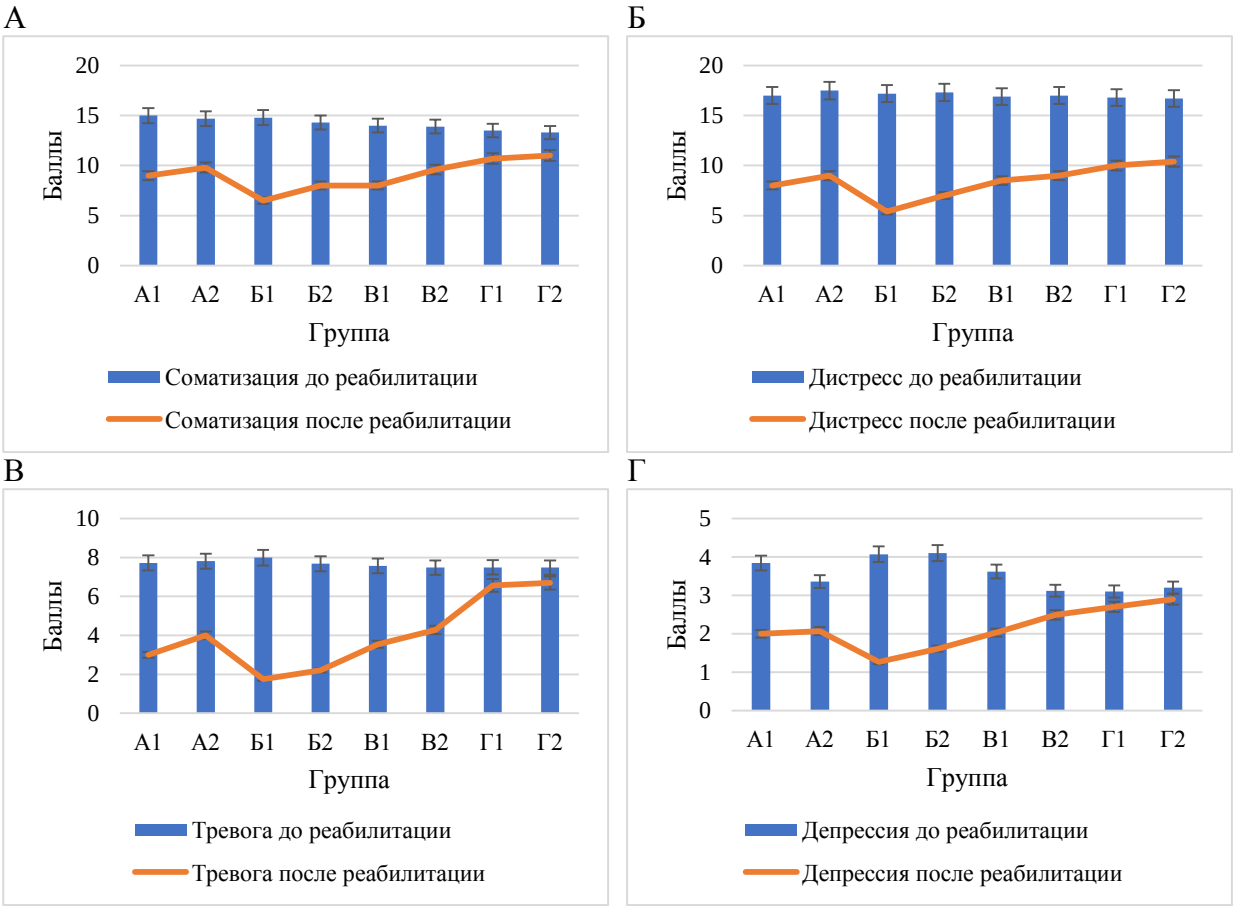


Рис. 10. Результаты тестирования в группах по опроснику «Дистресс, депрессия, тревога и соматизация» (4ДДТС)

Примечание: А – Проспекта® + базовая реабилитация по стандарту; Б – Проспекта® + карбоник-терапия + базовая реабилитация; В – карбоник-терапия + базовая реабилитация; Г – базовая реабилитация; 1 – лица, занимающиеся физической культурой на регулярной основе; 2 – лица, ведущие малоподвижный образ жизни.

Как представлено на рисунке 10, соматизация, дистресс, тревога и депрессия в результате реабилитации наиболее значительно снижаются в подгруппе Б1 (в 2,28±0,114, 3,18±0,159, 4,56±0,227 и 3,2± 0,158 раз соответственно, p<0,05). Наименьшее снижение данных показателей отмечалось в подгруппе Г2, получавших только базовую реабилитацию и ведущих малоподвижный образ жизни (в 1,209±0,06 (p<0,05), 1,605±0,079 (p<0,05), 1,118±0,05 (p<0,05), 1,103±0,054 (p>0,05) раз

соответственно). Таким образом, снижение выраженности всех доменов шкалы MFI-20 после реабилитации было более выражено в подгруппах, активно занимающихся физической культурой на регулярной основе. Из методов реабилитации наилучшие результаты получены в группе Б, где использовались совместно Проспекта® + карбоник-терапия + базовая реабилитация.

Заключение. Таким образом, исследование с проведением клинико-биохимического анализа особенностей развития благоприятного и неблагоприятного течения ПКАС позволило выявить недостаточно изученные в настоящее время биохимические маркеры, подтверждающие значительное патогенетическое значение в развитии окислительного стресса и дисбаланса в системе «ПОЛ-АОС», спровоцированного выделением медиаторов воспаления при данной вирусной инфекции и повышение мозгоспецифического Ca2+-связывающего белка S100, регулирующего фундаментальные процессы в мозге.

Исследование подтверждает, что постковидные астенические и когнитивные нарушения, возникающие вследствие повреждения нейронов головного мозга и митохондриальной дисфункции, коррелируют с уровнем повышения содержания продуктов перекисного окисления липидов и белка S100, степенью снижения антиокислительной активности сыворотки крови и обусловлены гипоксией и нарушением регуляторной функции белка S100β.

С учетом выявленных биохимических маркеров неблагоприятного течения постковидного астенического синдрома нами была проанализирована клиническая эффективность различных вариантов реабилитационных комплексов, основанных на патогенетических основах, выявленных на первом этапе исследования:

1) применение карбоник-терапии с доказанным ранее влиянием на ликвидацию дисбаланса в системе «ПОЛ-АОС»;

2) применение препарата аффинно-очищенных антител к мозгоспецифическому белку S100 (Проспекта®), повышающему устойчивость тканей мозга к гипоксии и токсическим воздействиям, обладающему мембраностабилизирующим антиоксидантным действием, мобилизующему внутриклеточные функционально сопряженные с белком S100β компенсаторные резервы нервных клеток.

Исследование предлагаемых реабилитационных комплексов продемонстрировало их клиническую эффективность, отражая положительные сдвиги адаптационно-компенсаторных реакций организма и способствуя активации системы антиоксидантной защиты клеток при повреждении. Наилучшие результаты реабилитации получены в подгруппе Б1. Реабилитация протекала с более выраженным положительным клиническим эффектом в популяционной группе пациентов, занимающихся на регулярной основе физической культурой, что подтверждает большое значение здорового образа жизни с регулярными занятиями физической культурой для развития адаптационных процессов даже при таком тяжелом вирусном заболевании, как COVID-19.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постковидный синдром: мультисистемные «дефициты» / Н.Б. Амиров, Э.И. Давлетшина, А.Г. Васильева, Р.Г. Фатыхов // Вестник современной клинической медицины. – 2021. – Т. 14. – № 6. – С. 94-104. DOI: 10.20969/VSKM.2021.14(6).94-104.

2. Особенности курации спортсменов при затяжных вариантах течения COVID-19 / Л.А. Балыкова, А.В. Жолинский, М.С. Тарасова [и др.] // Медицина экстремальных ситуаций. – 2023. – Т. 25. – № 2. – С. 41-50. DOI: 10.47183/mes.2023.021.

3. Respiratory and Psychophysical Sequelae Among Patients With COVID-19 Four Months After Hospital Discharge / M. Bellan, D. Soddu, P.E. Balbo [et al.]. // JAMA network open. − 2021. – Vol .4. – No. 1. – P. e2036142. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.36142.

4. Carod-Artal, F.J. Post-COVID-19 syndrome: epidemiology, diagnostic criteria and pathogenic mechanisms involved / F.J. Carod-Artal // Revista de neurologia. – 2021. – Vol. 72. – No. 11. – P. 384-396. DOI: 10.33588/rn.7211.2021230.

5. Астенические расстройства в рамках постковидного синдрома / В.Э. Медведев, В.И.

Фролова, Е.В. Гушанская [и др.] // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2021. – Т. 121. – № 4. – С. 152-158. DOI: 10.17116/jnevro2021121041152.
6. Дефицит электролитов на фоне новой коронавирусной инфекции и постковидного астенического синдрома / Е.Ю. Эбзеева, О.Д. Остроумова, И.Ф. Кроткова [и др.] // Русский медицинский журнал. Медицинское обозрение. – 2021. – Т. 5. – № 5. – С. 245-251. DOI: 10.32364/2587-6821-2021-5-5-245-251.
7. Multiorgan impairment in low-risk individuals with post-COVID-19 syndrome: a prospective, community-based study / A. Dennis, M. Wamil, J. Alberts [et al.] // BMJ Open. – 2021. – Vol. 11. – No. 3. – P. e048391. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-048391.
8. Медицинская реабилитация при коронавирусной инфекции: новые задачи для физической и реабилитационной медицины в России / А.А. Шмонин, М.Н. Мальцева, Е.В. Мельникова [и др.] // Вестник восстановительной медицины. – 2020. – Т. 97. – № 3. – С. 14-21. DOI: 10.38025/2078-1962-2020-97-3-14-21.
9. Rehabilitation and COVID-19: the Cochrane Rehabilitation 2020 rapid living systematic review / M.G. Ceravolo, C. Arienti, A. de Sire [et al.] // European journal of physical and rehabilitation medicine. – 2020. – Vol. 56. – No. 5. – P. 642-651. DOI: 10.23736/S1973-9087.20.06501-6.
10. The Effects of a Video Intervention on Posthospitalization Pulmonary Rehabilitation Uptake. A Randomized Controlled Trial / R.E. Barker, S.E. Jones, W. Banya [et al.] // American journal of respiratory and critical care medicine. – 2020. – Vol. 201. – No. 12. – P. 1517-1524. DOI: 10.1164/rccm.201909-1878OC.
11. Реабилитация после новой коронавирусной инфекции (COVID-19): принципы и подходы / М.Г. Бубнова, А.Л. Персиянова-Дуброва, Н.П. Лямина, Д.М. Аронов // CardioСоматика. – 2020. – Т. 11. – № 4. – С. 6-14. DOI: 10.26442/22217185.2020.4.200570.
12. Chinese Association of Rehabilitation Medicine, Respiratory rehabilitation committee of Chinese Association of Rehabilitation Medicine, Cardiopulmonary Rehabilitation Group of Chinese Society of Physical Medicine and Rehabilitation. Recommendations for respiratory rehabilitation of COVID-19 in adults // Zhonghua Jie He He Hu Xi Za Zhi. – 2020. – Vol. 43. – No. 4 − P. 308-314. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20200228-00206.

REFERENCES

1. Amirov N.B., Davletshina E.I., Vasilieva A.G., Fatykhov R.G. Postcovid syndrome: multisystem “deficits”. *The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine*, 2021, vol. 14, no. 6, pp. 94-104. DOI: 10.20969/VSKM.2021.14(6).94-104. (in Russ.)
2. Balykova L.A., Zholinsky A.V., Tarasova M.S. et al. Particularities of curation of athletes with protracted course of COVID-19. *Extreme Medicine*, 2023, vol. 25, no. 2, pp. 41-50. DOI: 10.47183/mes.2023.021. (in Russ.)
3. Bellan M., Soddu D., Balbo P.E. et al. Respiratory and Psychophysical Sequelae Among Patients With COVID-19 Four Months After Hospital Discharge. *JAMA network open*, 2021, vol. 4, no. 1, p. e2036142. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.36142.
4. Carod-Artal F.J. Post-COVID-19 syndrome: epidemiology, diagnostic criteria and pathogenic mechanisms involved. *Revista de neurologia*, 2021, vol. 72, no. 11, pp. 384-396. DOI: 10.33588/rn.7211.2021230.
5. Medvedev V.E., Frolova V.I., Gushanskaya E.V. et al. Astenic disorders within the framework of post-COVID syndrome. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*, 2021, vol. 121, no. 4, pp. 152-158. DOI: 10.17116/jnevro2021121041152. (in Russ.)
6. Ebzeeva E.Yu., Ostroumova O.D., Krotkova I.F., Mironova E.V., Romanovskiy R.R. Electrolyte deficiency after the novel coronavirus infection and post-COVID asthenia. *Russian Medical Inquiry*, 2021, vol. 5, no. 5, pp. 245-251. DOI: 10.32364/2587-6821-2021-5-5-245-251. (in Russ.)
7. Dennis A., Wamil M., Alberts J. et al. Multiorgan impairment in low-risk individuals with post-COVID-19 syndrome: a prospective, community-based study. *BMJ Open*, 2021, vol. 11, no. 3, p. e048391. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-048391.
8. Shmonin A.A., Maltseva M.N., Melnikova E.V. et al. Medical rehabilitation for coronavirus infection: new challenges for physical and rehabilitation medicine in Russia. *Bulletin of rehabilitation medicine*, 2020, vol. 97, no. 3, pp. 14-21. DOI: 10.38025/2078-1962-2020-97-3-14-21. (in Russ.)
9. Ceravolo M.G., Arienti C., de Sire A. et al. Rehabilitation and COVID-19: the Cochrane Rehabilitation 2020 rapid living systematic review. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 2020, vol. 56, no. 5, pp. 642-651. DOI: 10.23736/S1973-9087.20.06501-6.
10. Barker R.E., Jones S.E., Banya W. et al. The Effects of a Video Intervention on Posthospitalization Pulmonary Rehabilitation Uptake. A Randomized Controlled Trial. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 2020, vol. 201, no. 12, pp. 1517-1524. DOI: 10.1164/rccm.201909-1878OC.
11. Bubnova M.G., Persiyanova-Dubrova A.L., Lyamina N.P., Aronov D.M. Rehabilitation after new coronavirus infection (COVID-19): principles and approaches. *CardioSomatics*, 2020, vol. 11, no. 4, pp. 6-14. DOI: 10.26442/22217185.2020.4.200570. (in Russ.)

12. Chinese Association of Rehabilitation Medicine, Respiratory rehabilitation committee of Chinese Association of Rehabilitation Medicine, Cardiopulmonary Rehabilitation Group of Chinese Society of Physical Medicine and Rehabilitation. Recommendations for respiratory rehabilitation of COVID-19 in adults. *Zhonghua Jie He He Hu Xi Za Zhi*, 2020, vol. 43, no. 4, pp. 308-314. DOI: 10.3760/cma.j.cn112147-20200228-00206.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Роман Михайлович Малевич – соискатель кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: malevich775@inbox.ru.
Дина Борисовна Сумная – доктор медицинских наук, профессор, врач-невролог, ООО «СОНАР», Центр нейромышечной стабилизации; ведущий научный сотрудник НИИ ОС; профессор кафедры биохимии, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: sumniyd@mail.ru.
Евгений Витальевич Быков – доктор медицинских наук, профессор, руководитель подразделения НИИ ОС. профессор кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: bev58@yandex.ru.
Ирина Валерьевна Николаева – врач ультразвуковой диагностики, ООО «СОНАР»; соискатель кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: IrinkaMed@yandex.ru.
Антон Александрович Кинзерский – кандидат медицинских наук, доцент кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, невролог Центра нейромышечной стабилизации, Челябинск, e-mail: antkinz@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Roman M. Malevich – Degree Candidate of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: malevich775@inbox.ru.
Dina B. Sumnaya – Doctor of Medical Sciences, Professor, Neurologist, SONAR LLC, Center for Neuromuscular Stabilization; Leading Researcher of the Olympic Sports Research Institute, Professor of the Department of Biochemistry, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: sumniyd@mail.ru.
Evgeny V. Bykov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Olympic Sports Research Institute, Professor of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: bev58@yandex.ru.
Irina V. Nikolaeva – Ultrasound Diagnostician, SONAR LLC; Degree Candidate of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: IrinkaMed@yandex.ru.
Anton A. Kinzersky – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture; Neurologist of the Center for Neuromuscular Stabilization, Chelyabinsk, e-mail: antkinz@yandex.ru.

Для цитирования: Совершенствование программы реабилитации спортсменов молодого возраста с постковидным астеническим синдромом / Р.М. Малевич, Д.Б. Сумная, Е.В. Быков [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_31

For citation: Malevich R.M., Sumnaya D.B., Bykov E.V., Nikolaeva I.V., Kinzersky A.A. Improving the rehabilitation program for young athletes with post-COVID asthenic syndrome. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_31

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_32
УДК 769:61 + 615.8

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_32
UDC 769:61 + 615.8

ТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕМЕДИКАМЕНТОЗНЫХ МЕТОДОВ РЕАБИЛИТАЦИИ СПОРТСМЕНОВ С ПАНИЧЕСКИМИ РАССТРОЙСТВАМИ

И.В. Николаева[1,2], Д.Б. Сумная[1,2,3], М.В. Кулешова[2], А.А. Кинзерский[2,3]
[1]Общество с ограниченной ответственностью «СОНАР», г. Челябинск, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет физической культуры», г. Челябинск, Россия
[3]Общество с ограниченной ответственностью «Центр нейромышечной стабилизации», г. Челябинск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** В статье представлены обзор и анализ терапевтической эффективности нефармакологических подходов к коррекции панических расстройств у спортсменов. ***Методы.*** Обследовано 128 спортсменов с паническими расстройствами. Для диагностики и реабилитации использовался лечебно-диагностический комплекс «Карбоник», проводились исследование церебральной гемодинамики и тестирование по шкале тревоги и депрессии. ***Результаты.*** При использовании в реабилитации комплекса «Карбоник» выявлены снижение выраженности тревоги и депрессии, уменьшение частоты приступов панических атак, купирование мышечно-тонических и гипервентиляционных проявлений, восстановление венозного оттока. ***Заключение.*** Доказана эффективность немедикаментозного подхода к реабилитации спортсменов с паническими расстройствами.
Ключевые слова: панические атаки, спортсмены, немедикаментозная реабилитация, дыхательные техники, карбоник-терапия.

THERAPEUTIC EFFECTIVENESS OF NON-DRUG REHABILITATION METHODS FOR ATHLETES WITH PANIC DISORDERS

I.V. Nikolaeva[1,2], D.B. Sumnaya[1,2,3], M.V. Kuleshova[2], A.A. Kinzersky[2,3]
[1]SONAR LLC, Chelyabinsk, Russia
[2]Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia
[3]Center for Neuromuscular Stabilization, Chelyabinsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** This article presents a review and analysis of the therapeutic efficacy of non-drug approaches to the panic disorder treatment in athletes. ***Methods.*** A total of 128 athletes with panic disorder were examined. We used the Carbonic treatment and diagnostic complex for diagnosis and rehabilitation. Cerebral hemodynamics were assessed, and testing was performed using the Hospital Anxiety and Depression Scale. ***Results.*** The use of the Carbonic complex in rehabilitation has resulted in a reduction in anxiety and depression levels, reduction in the frequency of panic attacks, relief of muscle tone and hyperventilation symptoms, and restoration of venous outflow. ***Conclusion.*** The effectiveness of a non-drug approach to the rehabilitation of athletes with panic disorders has been proven.
Keywords: panic attacks, athletes, non-drug rehabilitation, breathing techniques, Carbonic therapy.

Введение. В современном спорте высших достижений проблема психического здоровья атлетов выходит на первый план. Панические атаки (ПА) представляют собой серьезное препятствие для реализации спортивного потенциала, приводя к снижению результатов и преждевременному завершению карьеры. В условиях жестких антидопинговых ограничений особую актуальность приобретают немедикаментозные методы реабилитации [1]. Паническая атака – это внезапный эпизод интенсивного страха, сопровождающийся соматическими симптомами (тахикардия, ощущение нехватки воздуха, головокружение, тремор), который возникает непредсказуемо и достигает пика в течение нескольких минут [1]. Для спортсмена, чья профессиональная деятельность связана с пиковыми физическими и психоэмоциональными нагрузками, возникновение ПА может стать катастрофой. Ситуация усугубляется тем, что физиологические симптомы интенсивной тренировки или соревнования (одышка, учащенное

сердцебиение) могут выступать триггерами, запускающими порочный круг паники [3].

Возникновение ПА у спортсменов редко связано с каким-то одним фактором. Как правило, имеет место сочетание психологических и физиологических предпосылок. Психологические триггеры часто кроются в системе значимых отношений – с тренером, родителями, командой. Страх не оправдать ожидания, боязнь оценки и «позора» поражения создают хроническое перенапряжение [3]. Психотерапевтическая практика показывает, что нередко корни панических реакций уходят в детские психотравмы, актуализирующиеся в стрессовой ситуации соревнований. Физиологический аспект связан с дисрегуляцией вегетативной нервной системы. Хронический стресс приводит к истощению адаптационных резервов, нарушению церебральной гемодинамики и формированию гипервентиляционного синдрома, который является ключевым звеном в патогенезе ПА [4]. Современные подходы к немедикаментозной коррекции панических атак у спортсменов можно разделить на две основные группы: коррекция функционального состояния (телесные практики) и инновационные аппаратные методы [5-8].

Телесно-ориентированные и регуляторные техники. Данные методы направлены на разрыв порочного круга «симптом-страх-усиление симптома» через управление физиологическими процессами.

1. Прогрессивная мышечная релаксация по Джекобсону. Эта техника учит спортсмена различать напряжение и расслабление. Путем попеременного напряжения различных групп мышц с последующим их расслаблением достигается состояние глубокой релаксации, которое несовместимо с тревогой. Включение этой практики в ежедневный тренировочный процесс повышает стрессоустойчивость [9, 10].

2. Физическая активность как экспозиция. Парадоксальным образом сама физическая нагрузка может стать методом лечения. Исследование бразильских ученых показало, что интервальные спринтерские упражнения снижают тяжесть симптомов паники на 36%. Проживая пугающие телесные ощущения (сердцебиение, одышку) в безопасном и контролируемом контексте тренировки, мозг переоценивает эти сигналы как неопасные, снижая тревогу ожидания [12].

Инновационные и аппаратные методы. Современная наука предлагает методы, позволяющие «перенастроить» физиологические системы организма на немедикаментозной основе.

1. Интервальные гиперкапнически-гипоксические тренировки. Использование лечебно-диагностического комплекса (ЛДК) «Карбоник» позволяет проводить интервальные гипоксические тренировки в контролируемом режиме. Физиологическое обоснование применения данного метода базируется на феномене перекрестной адаптации. ПА тесно коррелируют с синдромом вегетативной дисрегуляции, проявляющимся, в частности, церебральной венозной дисфункцией и нарушением реактивности кардиореспираторной системы на гиперкапнию. Контролируемое воздействие гиперкапнии (повышенного содержания углекислого газа) и гипоксии (сниженного содержания кислорода) во время тренировок служит мощным стимулом для мобилизации функциональных резервов организма [12-15].

2. Фасциальные манипуляции. Работа с фасциями (соединительнотканными оболочками мышц) позволяет снять хронические мышечные блоки и «зажимы», которые формируются у спортсменов в ответ на хронический стресс и являются телесным коррелятом тревоги. Восстановление нормального тонуса мышц способствует общей физической и психологической релаксации [17].

Традиционная фармакотерапия панических расстройств, включающая назначение антидепрессантов и транквилизаторов, часто сопряжена с рисками для спортивной карьеры [18]. Во-первых, это возможные побочные эффекты, снижающие физическую работоспособность (сонливость, заторможенность). Во-вторых, многие психотропные препараты входят в списки запрещенных Всемирным антидопинговым агентством или требуют оформления сложных разрешений на терапевтическое использование [19, 20]. В связи с этим поиск и научное обоснование эффективных немедикаментозных

стратегий реабилитации спортсменов с паническими атаками являются приоритетными задачами спортивной медицины и психологии.

Цель исследования – сравнить терапевтическую эффективность немедикаментозных методов реабилитации спортсменов с паническими расстройствами.

Методы и организация исследования. Обследование проводилось на базе научно-исследовательского отдела Обществ с ограниченной ответственностью «Клиника профессора Кинзерского», «СОНАР», «Центр Нейромышечной Стабилизации» города Челябинска, а также на кафедрах биохимии, спортивной медицины и физической реабилитации Научно-исследовательского института Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет физической культуры».

В исследовании приняли участие 128 спортсменов с паническими расстройствами в молодом возрасте по классификации Всемирной организации здоровья (ВОЗ) – 18-44 лет. Исследование являлось открытым рандомизированным контролируемым проспективным.

Критериями включения в исследуемые группы были:

1) Наличие установленного психотерапевтом (психиатром) диагноза МКБ-10 «Паническое расстройство» (F41.0) для всех пациентов исследуемых групп.

2) Пациенты молодого возраста по классификации ВОЗ (18-44 лет).

Критериями исключения из основной группы были:

1) Острые соматические и инфекционные заболевания, хронические заболевания в стадии обострения;

2) Органическое поражение центральной нервной системы, в том числе опухолевого, посттравматического, сосудистого, инфекционного характера;

3) Заболевания иммуноаллергического характера, сахарный диабет;

4) Индивидуальная непереносимость недостатка кислорода и избытка углекислого газа.

Спортсменов разделили на четыре группы:

Группа А – спортсмены, получавшие лечение панических атак медикаментозно + миорелаксацию по Джекобсону + массаж (n=32).

Группа Б – спортсмены, получавшие карбоник-терапию + миорелаксацию по Джекобсону; (n=32)

Группа В – спортсмены, получавшие лечение с применением фасциальных манипуляций + миорелаксацию по Джекобсону; (n=32)

Группа Г – спортсмены, получавшие лечение с применением фасциальных манипуляций + миорелаксацию по Джекобсону + дыхательные тренировки на комплексе «Карбоник» (n=32).

Группу сравнения (контроль) составили здоровые лица соответствующего возраста (n=25).

Все спортсмены обследованы в сроки до лечения, через 14 дней и четыре недели после начала наблюдения.

Клинические методы исследования. Всех спортсменов осматривали невролог, психотерапевт, клинический психолог и реабилитолог. Пациентам проводились оценка общего соматического и вертеброневрологического статуса, детальное исследование состояния мышечно-фасциального комплекса шейного отдела позвоночника для выявления асимметрии мышц с болезненными участками напряжения.

Клиническим психологом проводилась диагностика при помощи ряда психодиагностических тестов, одним из которых была Госпитальная шкала тревоги и депрессии (HADS), которая широко используется для оценки тревоги и депрессии в общемедицинской практике. Обработка результатов заключалась в подсчете баллов по каждой из субшкал. Весь опросник состоит из 14 утверждений, каждому из которых соответствуют 4 варианта ответа, отражающие выраженность признака и кодирующиеся по нарастанию тяжести симптома от 0 (отсутствие признака) до 3 (максимальная выраженность признака). При интерпретации результатов учитывается суммарный показатель по каждой из субшкал, при этом можно выделить три области его значений: 0-7 баллов – норма (отсутствие достоверно выраженных симптомов тревоги и депрессии); 8-10

баллов – сублинически выраженная тревога или депрессия соответственно; выше 11 баллов – клинически выраженная тревога или депрессия.

Инструментальные методы исследования. Всем спортсменам до и после реабилитации проводились исследования показателей церебральной гемодинамики (транскраниальное дуплексное сканирование (ТКДС), расширенное с пробами метаболической направленности), ультразвуковое исследование сосудов шеи с поворотными пробами в сегментах V2 и V4 позвоночных артерий, ультразвуковое исследование шейного отдела позвоночника по стандартным методикам.

После проведения ТКДС с пациентом проводилась беседа об ЛДК «Карбоник»: устройство и принцип действия, основные показания и противопоказания, возможные побочные эффекты, какие положительные результаты хотим получить при его применении (его эффективность).

Далее мы подключали ЛДК «Карбоник», содержащий блок управления с газоанализатором, электропривод заслонки, узел разделения воздушных потоков к персональному компьютеру. С помощью программного обеспечения автоматически учитывается состояние организма при тренировках, задаются необходимые программы тренировок, обеспечивается их автоматическое выполнение при помощи биологической обратной связи (рис. 1).

Затем мы проводили «пробные тренировки» по 2-3 минуты в ознакомительных целях, после чего приступали к тестированию, в которое входило: определение цереброваскулярной реактивности мозговых сосудов на гиперкапнию; оценка кардиоваскулярной реактивности; подбор индивидуального режима тренировок с учетом газоанализа альвеолярного (выдыхаемого) воздуха.

Оценка цереброваскулярной реактивности на гиперкапнию проводилась в положении пациента лежа на спине. Перед началом исследования регистрировалась исходная средняя по времени максимальной скорости кровотока (TAMX) и индекса резистентности (RI) в средней мозговой (СМА) и/или в других интракраниальных артериях – передней мозговой (ПМА), задней мозговой (ЗМА), позвоночной (ПА), основной артериях (ОА) методом ТКДС.



Рис. 1. Лечебно-диагностический комплекс «Карбоник»

В режиме «Тестирование цереброваскулярной реактивности» программа осуществляла оценку цереброваскулярной реактивности на гиперкапнию, что позволяло оценить диапазон вазомоторной реактивности (рис. 2). Перед началом исследования было необходимо отсоединить узел газоанализа от прибора и спокойно дышать через него не менее 10 секунд для установления исходной концентрации CO_2.

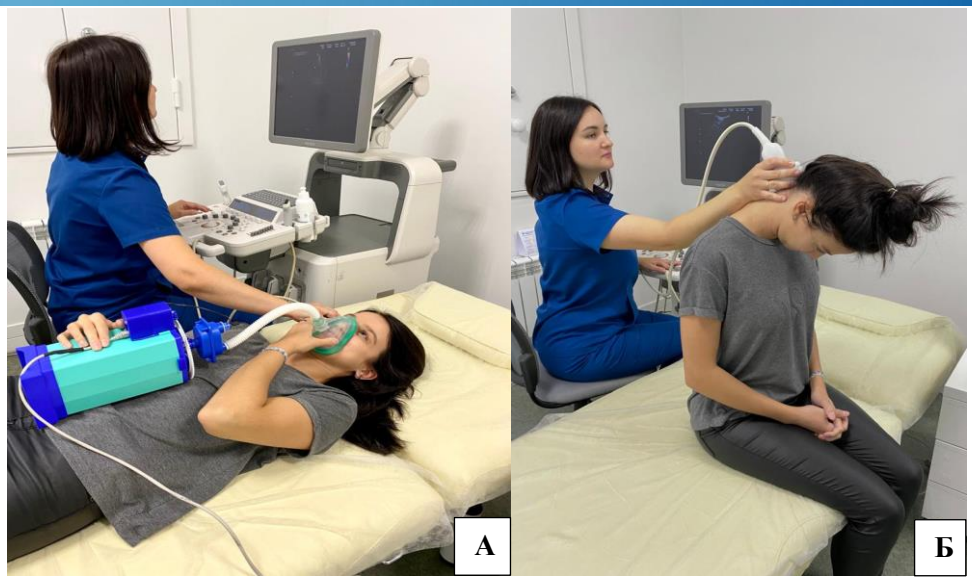


Рис. 2. Проведение тестирования цереброваскулярной реактивности (А) и исследование шейного отдела позвоночника (Б)

Сразу после начала исследования присоединялся узел газоанализа к прибору, обследуемый продолжал дышать через него до появления сообщения об окончании исследования. На мониторе отображались текущее время тестирования и концентрация углекислого газа в выдыхаемом воздухе (в % и мм рт. ст.). Также оценивались TAMX и RI на 15 и на 60 секундах пробы. После завершения тестирования в программу вносили полученные значения вышеуказанных показателей в соответствующие поля, и она рассчитывала индексы сосудистой мозговой реактивности. Индексы рассчитывались автоматически при введении всех запрашиваемых программой параметров: «Индекс реактивности на гиперкапнию» (VRhyperCO2), «Коэффициент относительной реактивности» (CRR), «Показатель резерва вазодилатации» (RV).

После этого в карте пациента выбирали подпункт «Кардиоваскулярная реактивность», измеряли АД (артериальное давление) и ЧСС (частота сердечных сокращений), полученные показатели заносили в соответствующие поля информационного окна, затем пациент надевал маску. Исследование продолжалось в течение 1 минуты, затем показатели АД и ЧСС, измеренные сразу после окончания исследования, вносили в информационное окно, сигнализирующее об окончании исследования, только затем пациент прекращал дышать через прибор (рис. 3). Тест помогает оценить резервы кардиореспираторной системы, аэробные возможности и уровень адаптации к физическим нагрузкам. Программа выносит заключение о состоянии кардиоваскулярной реактивности на углекислый газ.

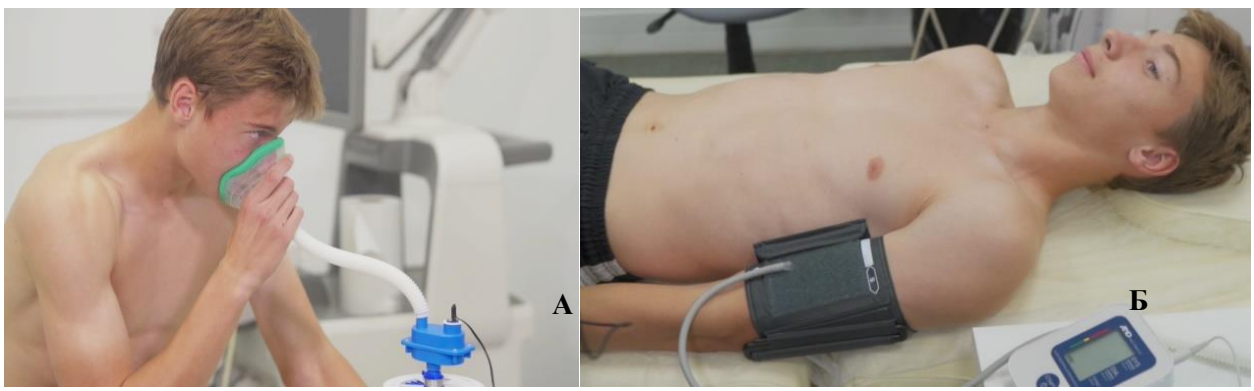


Рис. 3. Проведение тестирования кардиоваскулярной реактивности на гиперкапнию: А – дыхание через маску; Б – измерение артериального давления и частоты сердечных сокращений

После этого, опираясь на данные газообмена и функционального состояния, всем пациентам подбирался индивидуальный режим дыхательных тренировок на комплексе «Карбоник».

Подбор режима тренировок состоял из двух этапов. На первом этапе пациента просили дышать 1 минуту в спокойном ритме через узел газоанализа, отсоединенный от корпуса прибора с заслонкой. Программа автоматически определяла исходное состояние респираторной функции, то есть исходную концентрацию O_2 и CO_2, и выносила первичную рекомендацию для выбора режима тренировки из трех интегрированных вариантов («Лечебный», «Профилактический», «Спортивный»).

Затем корпус прибора присоединяли к узлу газоанализатора с заслонкой (пациент не прерывал дыхание) и начинали второй этап, на котором программа определяла оптимальное положение заслонки (500-1000 мл) для достижения пациентом эффективной концентрации CO_2 и выносила заключение по режиму тренировки.

Продолжительность второго этапа исследования составляла не более 3 минут. Исследование завершалось досрочно после того, как пациенту удавалось удерживать концентрацию CO_2 в пределах заданного диапазона не менее 30 секунд. При этом в заключение выносилось положение заслонки, на котором удерживалась концентрация CO_2 в качестве рекомендуемого для тренировок на дыхательном комплексе.

Методы статистического анализа. Статистическая обработка полученных данных выполнялась с использованием пакета прикладных статистических программ SPSS, версия 21. Сравнение проводилось с использованием U-критерия Манна-Уитни. Данные представлялись в виде медианы, 1-го и 3-го квартилей (Me [Q1; Q3]), минимального (Min) и максимального (Max) значений. Вычислялся показатель линейной корреляционной связи Пирсона (r). Различия оценивали как статистически значимые при $p<0,05$. Различия расценивали как тенденцию к достоверному при $0,05<p<0,1$.

Результаты исследования и их обсуждение. Включение в программу реабилитации спортсменов комплекса, сочетающего фасциальные манипуляции, методику прогрессивной мышечной релаксации по Джекобсону и гиперкапнически-гипоксические тренировки на аппарате «Карбоник», продемонстрировало высокую эффективность.

Таблица 1

Индекс резистентности (RI) в позвоночных артериях в интракраниальном сегменте (V4) у спортсменов исследуемых групп до и после реабилитации

№	RI	M±σ	Min	Max	Me [Q1; Q3]
1	Группа контроля (норма)	0,56±0,05	0,5	0,6	0,55 [0,51; 0,59]
2	А до	0,45±0,02	0,43	0,47	0,45 [0,44; 0,46]
3	А после	0,46±0,02	0,43	0,47	0,46 [0,44; 0,46]
4	Б до	0,45±0,02	0,43	0,47	0,45 [0,44; 0,46]
5	Б после	0,54±0,03*#**	0,51	0,57	0,54 [0,52; 0,56]
6	В до	0,45±0,02	0,43	0,47	0,45 [0,44; 0,46]
7	В после	0,49±0,02***	0,47	0,51	0,49 [0,48; 0,5]
8	Г до	0,45±0,02	0,43	0,47	0,45 [0,44; 0,46]
9	Г после	0,55±0,03*#**	0,52	0,58	0,55 [0,53; 0,57]
P	P_{4-5}=0,001; P_{6-7}=0,05; P_{8-9}=0,0001; P_{1-5}=0,001; P_{1-7}=0,05; P_{1-9}=0,0001; P_{-9}=0,0001; P_{5-7}=0,001; P_{7-9}=0,0001				

Примечание: RI выражен в виде десятичной дроби от (0 до 1), показывает степень сопротивления стенок кровеносных сосудов току крови. А, Б, В, Г – исследуемые группы: А – медикаментозно + миорелаксация + массаж, Б – карбоник-терапия + миорелаксация, В – фасциальные манипуляции + миорелаксация, Г – фасциальные манипуляции + миорелаксация + дыхательные тренировки на комплексе «Карбоник»; * – отличия между группами с исходным уровнем ($p<0,05$); # – отличия между исследуемыми группами после реабилитации ($p<0,05$); ** – отличия между группами после реабилитации и группой контроля ($p<0,05$).

Исходные показатели транскраниального дуплексного сканирования во всех группах соответствовали нормоскоростному дистоническому кровотоку с явлениями гипотонуса в вертебробазилярном бассейне. До реабилитации RI был достоверно ($p<0,05$) снижен во всех исследуемых группах в сравнении с группой контроля идентичного возраста (нормой): в группе А – в 1,24 раз, в группе Б – в 1,24 раз, в группе В – в 1,24 раз, в группе Г – в 1,24 раз (табл. 1).

При этом различия индекса резистентности в группах А, Б, В, Г до лечения между собой были недостоверны ($p>0,05$).

После завершения реабилитационных мероприятий зафиксировано достоверное ($p<0,05$) повышение индекса резистентности в группах Б, В и Г в 1,2, в 1,09 и в 1,22 раз ($p<0,05$) соответственно. В группе А достоверного повышения RI (в 1,02 раз) получено не было ($p<0,05$).

Достижение норморезистентных параметров кровотока, характерных для физиологической нормы, отмечено исключительно в группах Б и Г, где применялся метод гиперкапнически-гипоксических тренировок на аппарате «Карбоник».

По данным ультразвуковой допплерографии до реабилитации у обследованных регистрировалось асимметричное увеличение линейной скорости кровотока (ЛСК) в вене Розенталя, достигавшее 26 см/с, что свидетельствовало о затруднении венозного оттока по глубокой венозной системе, а также полнокровие краевых венозных синусов, указывая на наличие венозной дисгемии. При ультразвуковой допплерографии венозных отделов позвоночных артерий в сегменте V2 исходно выявлялась флебэктазия, сопровождавшаяся повышением скорости кровотока в позвоночных и яремных венах более 30 и 70 см/с во всех исследуемых группах (А, Б, В, Г).

Соматический статус оценивался посредством ультрасонографии шейного отдела позвоночника, которая исходно демонстрировала асимметрию глубоких (3-й и 4-й слои) прецеребральных мышц и грудино-ключично-сосцевидных мышц, при котором отмечался преимущественно односторонний гипертонус (табл. 2).

Исходно до реабилитации различия ЛСК в вене Розенталя, яремных и позвоночных венах в группах А, Б, В, Г между собой были недостоверны ($p>0,05$). После завершения реабилитационных мероприятий зафиксировано достоверное ($p<0,05$) снижение ЛСК в вене Розенталя в группах В и Г в 1,3 и в 1,7 раз ($p<0,05$), снижение ЛСК в яремных венах в группах В и Г в 2,2 и 2,5 раза ($p<0,05$), снижение ЛСК в позвоночных венах в группах В и Г в 2,5 и 3 раза ($p<0,05$) соответственно в сравнении с исходными показателями. В группе А и Б достоверного снижения ЛСК (в 1,02 и 1,1 раз) получено не было ($p>0,05$).

Также мы отметили достоверное снижение показателей кровотока в вене Розенталя в группе Б в 1,2 раз ($p<0,05$) в сравнении с группой А, в группе В – в 1,2 раз ($p<0,05$) в сравнении с группой А, в группе Г – в 1,6 и 1,3 раз ($p<0,05$) в сравнении с группой А, Б и В.

После реабилитации в яремных венах отметили достоверное снижение показателей кровотока в группе В в 1,8 и 2 раза ($p<0,05$) в сравнении с группами Б и А соответственно, в группе Г достоверного снижения кровотока не выявлено ($p>0,05$).

При динамическом наблюдении после реабилитации в позвоночных венах мы отметили достоверное снижение показателей кровотока: в группе В – в 2 и 3 раза ($p<0,05$) в сравнении с группой Б и А соответственно, в группе Г – в 2,5-3 раза ($p<0,05$) в группе Б и А соответственно и в 1,5 раз ($p<0,05$) в сравнении с группой В.

После завершения реабилитационного курса в вене Розенталя было зафиксировано частичное восстановление показателей ЛСК в группе В, тогда как в группе Г отмечена полная нормализация венозного оттока в сравнении с группой контроля. Также зарегистрировано отсутствие полнокровия краевых венозных синусов в группах Б, В и Г, где применялись фасциальные и дыхательные методики. По завершении реабилитации в группах В и Г признаков мышечной асимметрии и локального гипертонуса не обнаружено, что свидетельствует о нормализации нейромоторного аппарата шейной области.

Таблица 2

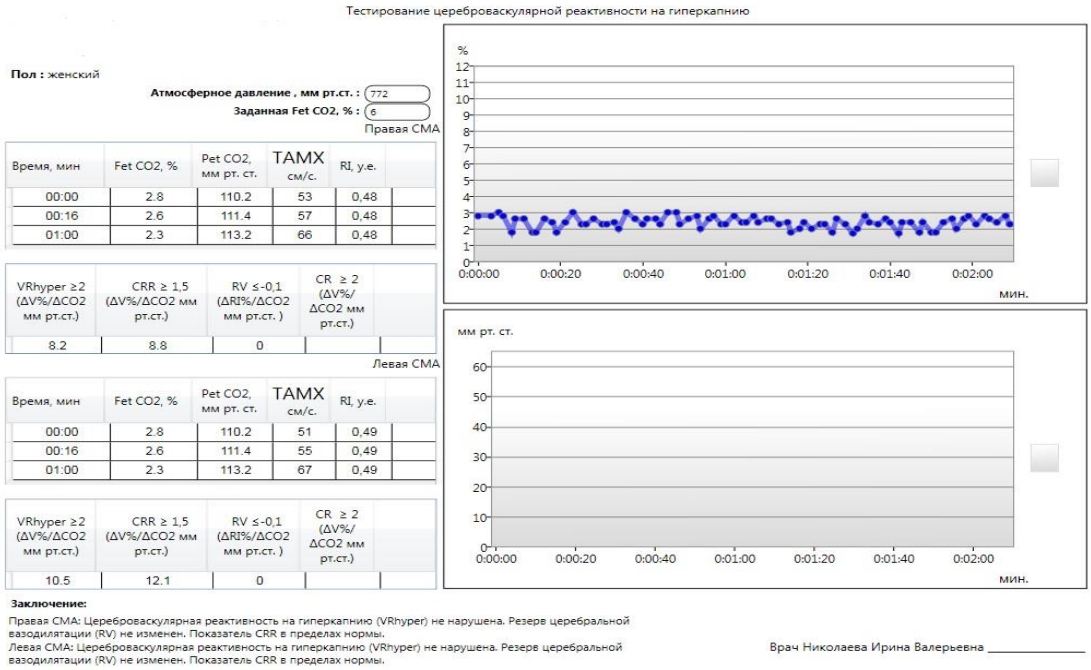
Динамика показателей церебральной гемодинамики и мышечно-фасциального комплекса шейного отдела позвоночника до и после реабилитации в исследуемых группах, M±σ, см/с

Показатели	Группа								
	А		Б		В		Г		Конт-роль
	До	После	До	После	До	После	До	После	9
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Мышечная асимметрия прекраниальных мышц (3 и 4 слой)	+	+	+	+	+	–	+	–	–
Мышечная асимметрия ГКСМ	+	+	+	+	+	–	+	–	–
Полнокровие краевых венозных синусов	+	+	+	–	+	–	+	–	–
Вена Розенталя справа ЛСК см/с	25± 1,25	24± 1,1	23± 1,15	20± 1,0#	26± 1,3	20± 1,0*#	25± 1,25	15± 0,75*#**	15± 0,75
P_0	P_2-P_4=0,05; P_2-P_6=0,05; P_2-P_8=0,02; P_4-P_8=0,05; P_4-P_9=0,041; P_5-P_6=0,05; P_6-P_8=0,015; P_7-P_8=0,013; P_8-P_9=0,001.								
Яремные вены ЛСК см/с справа	85± 4,25	80± 4	78± 3,9	71± 3,55	89± 4,45	40± 2*#**	88± 4,44	35± 1,75*#**	34± 1,7
P_{01}	P_2-P_6=0,015; P_2-P_8=0,001; P_4-P_6=0,023; P_4-P_8=0,015; P_4-P_9=0,015; P_5-P_6=0,014; P_6-P_9=0,05; P_7-P_8=0,001; P_8-P_9=0,001.								
Позвоночные вены ЛСК см/с справа	43± 2,15	42± 2,10	47± 2,35	30± 1,5	35± 1,75	14± 0,7*#**	36± 1,8	12± 0,6*#**	11± 0,55
P_{02}	P_2-P_6=0,0001; P_2-P_8=0,0001; P_4-P_6=0,023; P_4-P_8=0,002; P_5-P_6=0,016; P_6-P_9=0,013; P_7-P_8=0,001; P_8-P_9=0,001.								
Позвоночные вены ЛСК см/с слева	35± 1,75	33± 1,65	38± 1,9	32± 1,6	33± 1,65	15± 1,65*#**	35± 1,75	10± 0,5*#**	10± 0,5
P_{03}	P_2-P_6=0,0001; P_2-P_8=0,0001; P_4-P_6=0,013; P_4-P_8=0,002; P_5-P_6=0,016; P_6-P_8=0,05; P_6-P_9=0,013; P_7-P_8=0,001; P_8-P_9=0,001.								

Примечание: + – наличие показателя; – – отсутствие показателя; ГКСМ – грудино-ключично-сосцевидная мышца; ЛСК – линейная скорость кровотока; А, Б, В, Г – исследуемые группы: А – медикаментозно + миорелаксация + массаж, Б – карбоник-терапия + миорелаксация, В – фасциальные манипуляции + миорелаксация, Г – фасциальные манипуляции + миорелаксация + дыхательные тренировки на комплексе «Карбоник»; P_0 – показатели достоверности в вене Розенталя справа; P_{01} – показатели достоверности в яремной вене справа; P_{02} – показатели достоверности в позвоночной вене справа; P_{03} – показатели достоверности в позвоночной вене слева; * – отличия между группами с исходным уровнем ($p<0,05$); # – отличия между исследуемыми группами после реабилитации ($p<0,05$); ** – отличия между группами после реабилитации и группой контроля ($p<0,05$).

В ходе функциональных проб нарушений «истинной» цереброваскулярной реактивности (Vrhyper) в ответ на гиперкапническую нагрузку выявлено не было (рис. 4).

Положительная коррекция показателей кардиоваскулярной реактивности зафиксирована в группах Б и Г, в протокол реабилитации которых были включены дыхательные тренировки с использованием комплекса «Карбоник». Полученные данные позволяют предположить, что гипоксически-гиперкапнические воздействия способствуют снижению гиперчувствительности хеморецепторов и восстановлению адекватной вегетативной регуляции (рис. 5).


Тестирование цереброваскулярной реактивности на гиперкапнию

Пол : женский

Атмосферное давление , мм рт.ст. : 772

Заданная Fet CO2, % : 6

Правая СМА

Время, мин	Fet CO2, %	Pet CO2, мм рт. ст.	TAMX см/с.	RI, у.е.
00:00	2.8	110.2	53	0,48
00:16	2.6	111.4	57	0,48
01:00	2.3	113.2	66	0.48

VRhyper ≥2 (ΔV%/ΔCO2 мм рт.ст.)	CRR ≥ 1,5 (ΔV%/ΔCO2 мм рт.ст.)	RV ≤-0,1 (ΔRI%/ΔCO2 мм рт.ст.)	CR ≥ 2 (ΔV%/ ΔCO2 мм рт.ст.)
8.2	8.8	0	

Левая СМА

Время, мин	Fet CO2, %	Pet CO2, мм рт. ст.	TAMX см/с.	RI, у.е.
00:00	2.8	110.2	51	0,49
00:16	2.6	111.4	55	0,49
01:00	2.3	113.2	67	0,49

VRhyper ≥2 (ΔV%/ΔCO2 мм рт.ст.)	CRR ≥ 1,5 (ΔV%/ΔCO2 мм рт.ст.)	RV ≤-0,1 (ΔRI%/ΔCO2 мм рт.ст.)	CR ≥ 2 (ΔV%/ ΔCO2 мм рт.ст.)
10.5	12.1	0	

Заключение:

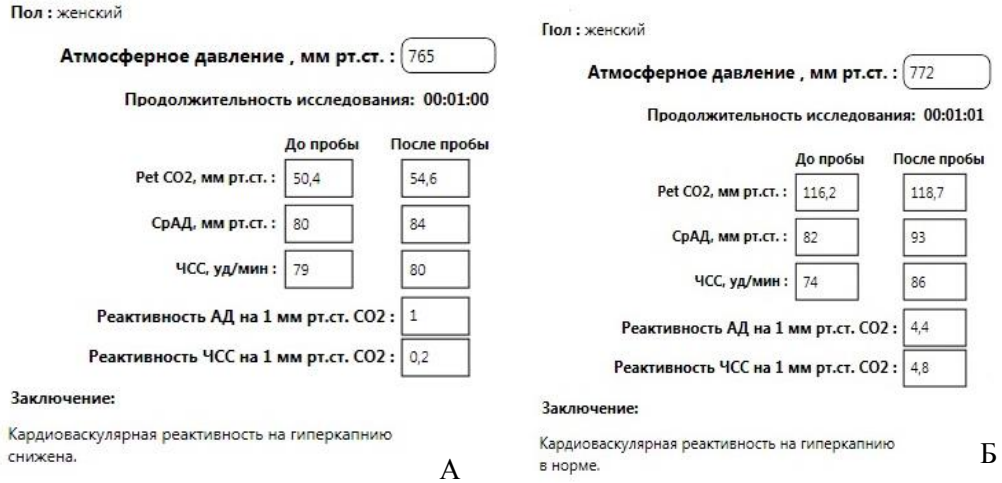
Правая СМА: Цереброваскулярная реактивность на гиперкапнию (VRhyper) не нарушена. Резерв церебральной вазодилятации (RV) не изменен. Показатель CRR в пределах нормы.

Левая СМА: Цереброваскулярная реактивность на гиперкапнию (VRhyper) не нарушена. Резерв церебральной вазодилятации (RV) не изменен. Показатель CRR в пределах нормы.

Врач Николаева Ирина Валерьевна _____

Рис. 4. Показатели нормальной цереброваскулярной реактивности на гиперкапнию (комплекс «Карбоник»)

Примечание: $FetCO_2$ – конечная экспираторная концентрация углекислого газа; $PetCO_2$ – парциальное давление углекислого газа; TAMX – средняя по времени максимальная скорость кровотока; RI – индекс сосудистого сопротивления в артерии; VRhyper – индекс реактивности на гиперкапнию; CRR – коэффициент относительной реактивности; RV – показатель резерва вазодилатации; CR – коэффициент реактивности мозговых артерий; СМА – средняя мозговая артерия.


Пол : женский

Атмосферное давление , мм рт.ст. : 765

Продолжительность исследования: 00:01:00

	До пробы	После пробы
Pet CO2, мм рт.ст. :	50,4	54,6
СрАД, мм рт.ст. :	80	84
ЧСС, уд/мин :	79	80
Реактивность АД на 1 мм рт.ст. CO2 :		1
Реактивность ЧСС на 1 мм рт.ст. CO2 :		0,2

Заключение:

Кардиоваскулярная реактивность на гиперкапнию снижена.

А

Пол : женский

Атмосферное давление , мм рт.ст. : 772

Продолжительность исследования: 00:01:01

	До пробы	После пробы
Pet CO2, мм рт.ст. :	116,2	118,7
СрАД, мм рт.ст. :	82	93
ЧСС, уд/мин :	74	86
Реактивность АД на 1 мм рт.ст. CO2 :		4,4
Реактивность ЧСС на 1 мм рт.ст. CO2 :		4,8

Заключение:

Кардиоваскулярная реактивность на гиперкапнию в норме.

Б

Рис. 5. Заключение о кардиоваскулярной реактивности до (А) и после (Б) реабилитации

Примечание: $PetCO_2$ – парциальное давление углекислого газа; СрАД – среднее артериальное давление; ЧСС – частота сердечных сокращений; АД – артериальное давление.

Анализ исходных данных, полученных в ходе индивидуального подбора режима тренировок, выявил во всех группах нестабильность газового гомеостаза, характеризующуюся преобладанием гипокапнии и нормоксии в альвеолярном воздухе (рис. 6). Данное состояние расценивалось как проявление гипервентиляционного синдрома и по данным индивидуального подбора режима тренировок рекомендован режим тренировок «Лечебный».

После завершения реабилитационных мероприятий коррекция гипервентиляционных нарушений зафиксирована только в группах Б и Г, в программу которых были интегрированы гиперкапнически-гипоксические дыхательные тренировки (табл. 3).

До реабилитации $FetCO_2$ был достоверно ($p<0,05$) снижен во всех исследуемых группах в сравнении с группой контроля идентичного возраста (нормой): в группе А – в 1,9 раз, в группе Б – в 1,86 раз, в группе В – в 1,9 раз, в группе Г – в 2 раза. При этом различия индекса резистентности в группах А, Б, В, Г до лечения между собой были недостоверны ($p>0,05$).

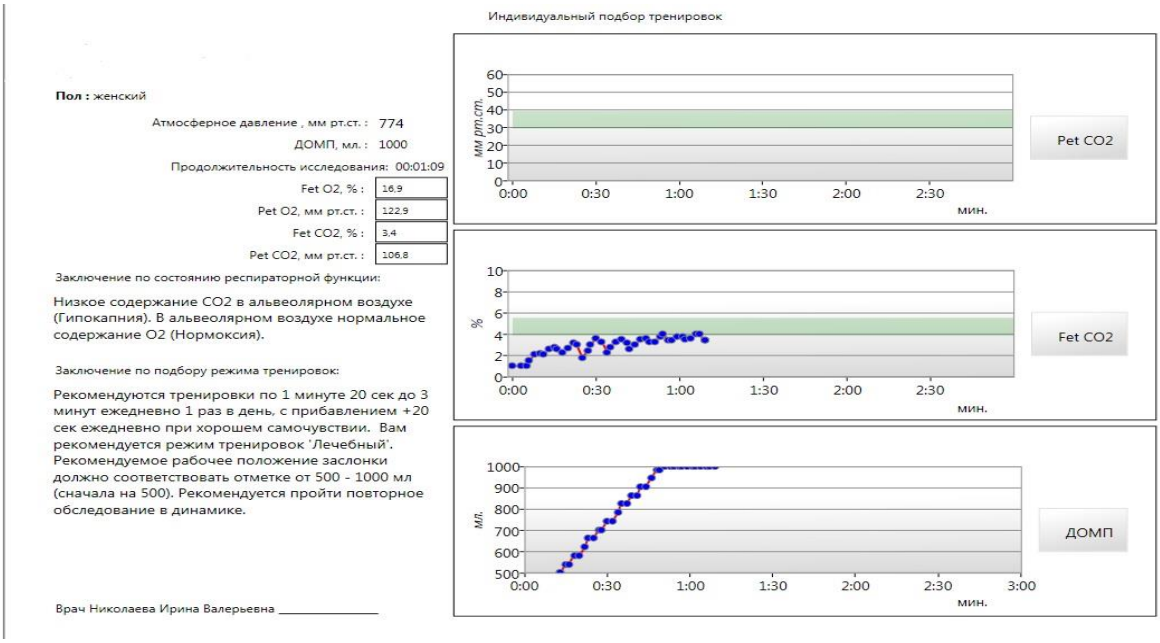


Рис. 6. Заключение по состоянию респираторной функции с подбором индивидуального режима тренировок на комплексе «Карбоник»

Примечание: ДОМП – дыхательный объем мертвого пространства; $FetO_2$ – конечная экспираторная концентрация кислорода; $PetO_2$ – парциальное давление кислорода; $FetCO_2$ – конечная экспираторная концентрация углекислого газа; $PetCO_2$ – парциальное давление углекислого газа.

Таблица 3

Показатели $FetCO_2$ альвеолярного (выдыхаемого) воздуха в исследуемых группах до и после реабилитации, vol %

№	$FetCO_2$	M±σ	Min	Max	Me [Q1; Q3]
1	Группа контроля (здоровые)	5,5±0,5	5	6	5,5 [5,1; 5,9]
2	А до	2,85±1,35	1,5	4,2	2,9 [1,9; 3,9]
3	А после	2,9±1,4	1,4	4,3	3,0 [1,7; 4,0]
4	Б до	2,95±1,55	1,5	4,4	3,1 [1,8; 3,8]
5	Б после	4,85±0,35*#**	4,5	5,2	4,9 [4,7; 5,0]
6	В до	2,85±1,35	1,5	4,2	2,9 [1,9; 3,9]
7	В после	2,9±1,4	1,4	4,3	3,0 [1,7; 4,0]
8	Г до	2,75±1,45	1,3	4,2	2,8 [1,6; 3,9]
9	Г после	5,35±0,45*#**	4,9	5,8	5,4 [5,0; 5,7]
P	P_{4-5}=0,001; P_{6-7}=0,05; P_{8-9}=0,0001; P_{1-5}=0,001; P_{1-7}=0,05; P_{1-9}=0,0001; P_{-9}=0,0001; P_{5-7}=0,001; P_{7-9}=0,0001				

Примечание: $FetCO_2$ – конечная экспираторная концентрация углекислого газа; А, Б, В, Г – исследуемые группы: А – медикаментозно + миорелаксация + массаж, Б – карбоник-терапия + миорелаксация, В – фасциальные манипуляции + миорелаксация, Г – фасциальные манипуляции + миорелаксация + дыхательные тренировки на комплексе «Карбоник»; * – отличия между группами с исходным уровнем ($p<0,05$); # – отличия между исследуемыми группами после реабилитации ($p<0,05$); ** – отличия между группами после реабилитации и группой контроля ($p<0,05$).

После завершения реабилитационных мероприятий зафиксировано достоверное ($p<0,05$) повышение уровня $FetCO_2$ в группах Б и Г в 1,6 и в 1,95 раз ($p<0,05$) соответственно в сравнении с исходными показателями. В группе А и В достоверного повышения $FetCO_2$ (в 1,02 раз) получено не было ($p<0,05$). Также мы отметили достоверное повышение $FetCO_2$ в группе Г в 1,1 раз ($p<0,05$) в сравнении с группой Б. Данное состояние в группах Б и Г расценивалось как купирование гипервентиляционного синдрома с большим преобладанием в группе Г, в которой применялся комплекс реабилитационных мероприятий (рис. 7).

После реабилитации по данным индивидуального подбора режима тренировок рекомендован режим тренировок «Профилактический».

Оценка по HADS до терапии (рис. 8) показала высокий уровень психоэмоционального дистресса (>11 баллов) во всех группах, указывая на клинически значимую тревогу.

Мы отметили статистически значимое ($p<0,05$) повышение уровня тревоги у спортсменов всех групп в 3-3,2 раза в сравнении с группой контроля (рис. 8). При этом различия между группами А, Б, В и Г не достоверны до лечения ($p>0,05$). По окончании реабилитации средние показатели части шкалы достоверно снизились в 1,75 раз (группа В), что свидетельствовало о субклинически выраженном (8-10 баллов) уровне тревожности; в 2,1 (группа Б) и 3,75 раза (группа Г) ($p<0,05$), что свидетельствовало об отсутствии достоверно выраженных симптомов тревоги (0-7 баллов – норма); в 1,1 раз в группе А ($p>0,05$) достоверного снижения получено не было. Наиболее достоверное снижение показателей шкалы наблюдалось в группе Г, в которой применялся комплекс реабилитационных мероприятий.

Также мы отметили статистически значимое ($p<0,05$) повышение уровня депрессии у спортсменов всех групп в 4-4,5 раза в сравнении с группой контроля (рис. 9), что свидетельствовало о субклинически выраженном (8-10 баллов) уровне депрессии (рис. 9).

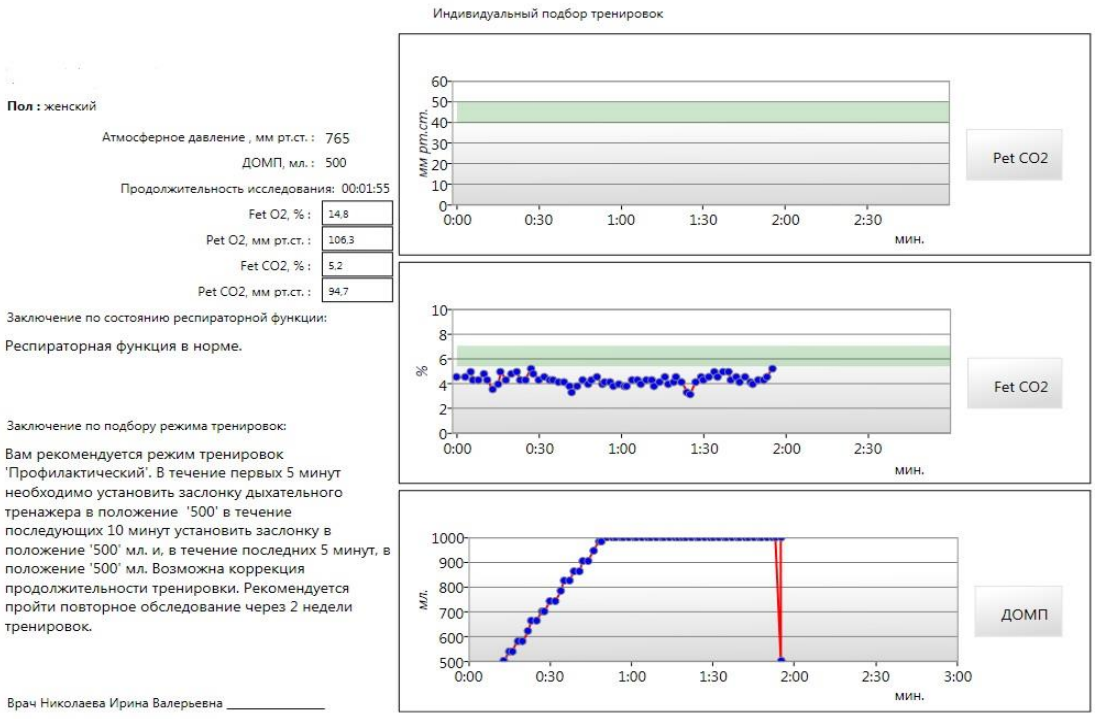


Рис. 7. Показатели газового гомеостаза в альвеолярном воздухе после реабилитации в исследуемых группах

Примечание: ДОМП – дыхательный объем мертвого пространства; $FetO_2$ – конечная экспираторная концентрация кислорода; $PetO_2$ – парциальное давление кислорода; $FetCO_2$ – конечная экспираторная концентрация углекислого газа; $PetCO_2$ – парциальное давление углекислого газа.

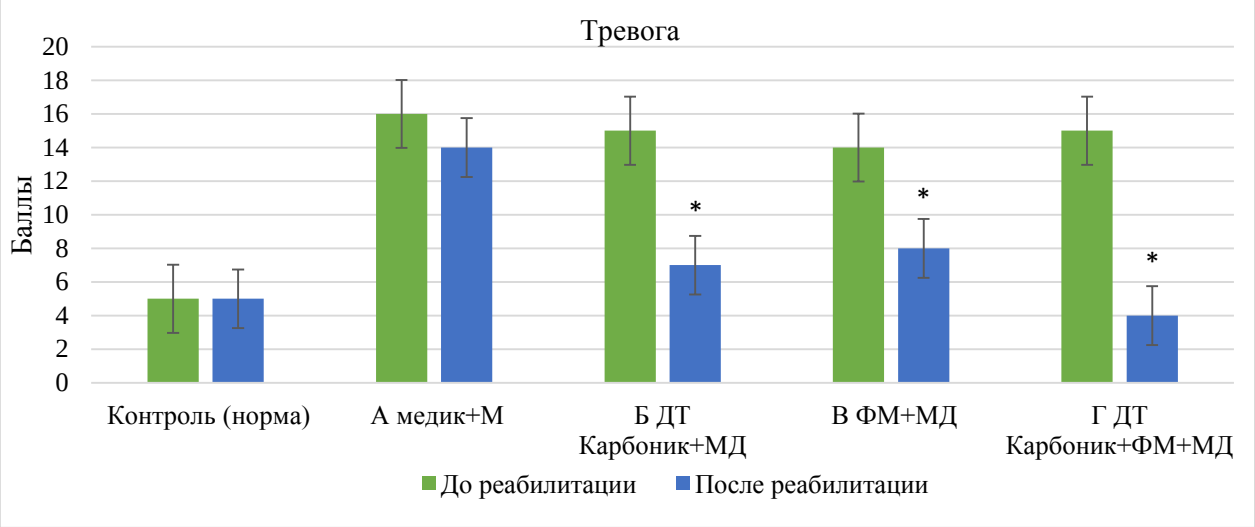


Рис. 8. Выраженность тревоги по Госпитальной шкале тревоги и депрессии (HADS) до и после реабилитации в исследуемых группах

Примечание: М – массаж; ДТ – дыхательные тренировки; МД – миорелаксация по Джейкобсону; ФМ – фасциальные манипуляции; * – отличия в сравнении с группой контроля (здоровыми) ($p<0,05$).

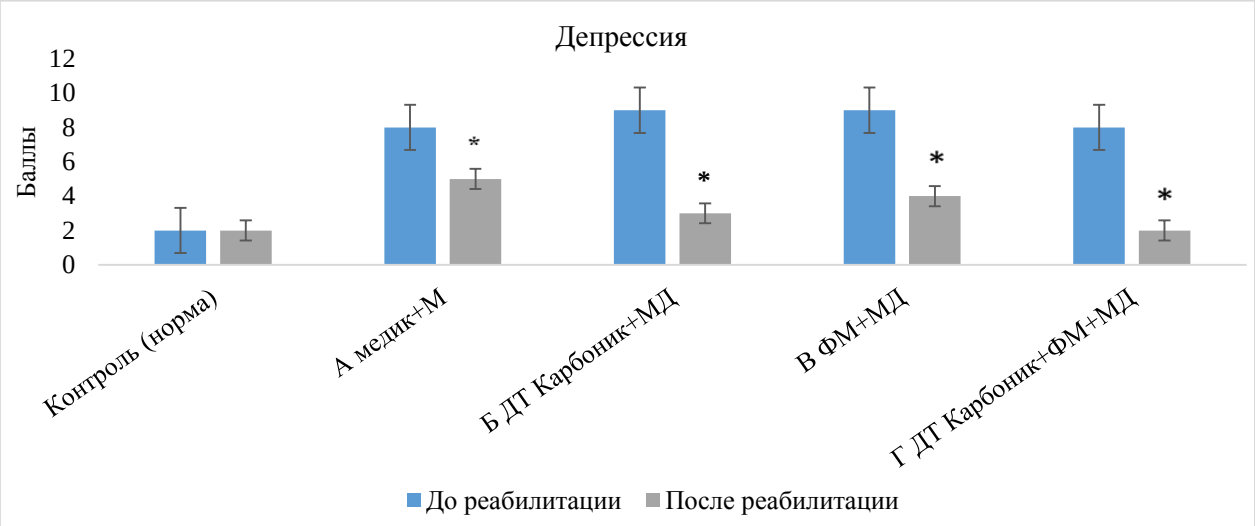


Рис. 9. Выраженность депрессии по Госпитальной шкале тревоги и депрессии (HADS) до и после реабилитации в исследуемых группах

Примечание: М – массаж; ДТ – дыхательные тренировки; МД – миорелаксация по Джейкобсону; ФМ – фасциальные манипуляции; * – отличия в сравнении с группой контроля (здоровыми) ($p<0,05$).

При этом различия между группами А, Б, В и Г не достоверны до лечения ($p>0,05$). После реабилитации показатели шкалы достоверно снизились во всех группах: в 1,6 раз (группа А), в 3 раза (группа Б), в 2,25 раза (группа В) и 4 раза (группа Г) ($p<0,05$), с наиболее выраженной динамикой снижения в группе Б, В и Г, где применялись дыхательные тренировки на комплексе «Карбоник», миорелаксация по Джейкобсону, фасциальные манипуляции и комплекс реабилитационных мероприятий.

Заключение. Немедикаментозная реабилитация спортсменов с паническими атаками представляет собой процесс, который должен строиться на принципах комплексного и индивидуального подходов, учитывающих особенности психоэмоционального статуса и физической подготовки каждого спортсмена. Эффективность дыхательных техник по Джейкобсону подтверждается достаточной доказательной базой и позволяет рассматривать их как базовый навык саморегуляции, целесообразно

включенный в ежедневный тренировочный процесс. Особого внимания заслуживают аппаратные методы, в частности гиперкапническо-гипоксические тренировки, которые направлены на постепенное повышение толерантности организма к изменениям газового состава крови, таким образом способствуя купированию панических состояний и гипервентиляционного синдрома за счет стабилизации дыхательного ритма.

По результатам проведенного исследования установлено, что гиперкапническо-гипоксические тренировки, выполняемые в контролируемом режиме с использованием ЛДК «Карбоник», оказывают положительное влияние на психоэмоциональный статус и функциональное состояние организма. Данные опросников свидетельствуют о снижении выраженности тревоги и депрессии, уменьшении частоты возникновения панических атак, а дозированные воздействия гипоксии и гиперкапнии запускают каскад адаптивных реакций в виде нормализации чувствительности периферических хеморецепторов, направленных на повышение устойчивости дыхательной, сердечно-сосудистой и нервной систем, эффективно «тренируя» организм к противостоянию экстремальным и стрессогенным нагрузкам. Также включение в состав реабилитационного комплекса фасциальных манипуляций способствует улучшению гемодинамики и восстановлению венозного оттока в каротидном и вертебробазилярном бассейнах, нормализуя кровоснабжение головного мозга, что является важнейшим условием стабилизации вегетативной нервной системы и снижения уровня тревожности. Указанные эффекты способствуют улучшению переносимости физической нагрузки и увеличению общей резистентности организма, что особенно важно для спортсменов с паническими расстройствами, чья профессиональная деятельность сопряжена с хроническим психоэмоциональным и физическим стрессом.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы допинга в современном спорте : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Г.С. Маль, Т.А. Денисюк, Т.В. Недуруева [и др.]. – Курск: КГМУ, 2022. – 94 с.
2. Панические атаки / А.М. Вейн, Г.М. Дюкова, О.В. Воробьева, А.Б. Данилов. – Москва : «Эйдос Медиа», 2004. – 403 с.
3. Влияние карбоник-терапии при панических расстройствах на церебральную гемодинамику / И.В. Николаева, Д.Б. Сумная, В.А. Садова, М.В. Кулешова // Мануальная терапия. – 2020. – № 1-2(77-78). – 13 с.
4. Жигулин, Е.И. Немедикаментозная коррекция аффективных расстройств у нейрососудистых пациентов / Е.И. Жигулин, В.А. Куташов, О.В. Ульянова // Центральный научный вестник. – 2018. – Т. 3. – № 5(46). – С. 13-14.
5. Куликов, В.П. Цереброваскулярная и кардиоваскулярная CO_2-реактивность в патогенезе артериальной гипертензии / В.П. Куликов, Д.В. Кузнецова, А.Н. Заря // Артериальная гипертензия. – 2017. – Т. 23. – № 5. – С. 433-446.
6. Белова, А.Н. Шкалы, тесты и опросники в медицинской реабилитации / А.Н. Белова, О.Н. Щепетова. – Москва : Антидор, 2002. – 439 с.
7. Немедикаментозные способы коррекции краниo-цервикального миофасциального болевого синдрома и деформации стоп / А.В. Болдин, Л.Г. Агасаров, М.А Тардов, И.В. Шахабов // Традиционная медицина. – 2016. – № 2(45). – С. 15-19.
8. Косарева, Д.Д. Фасциальные манипуляции в реабилитации тревожных расстройств с цервикальным мышечно-тоническим синдромом : дис. … канд. мед. наук : специальность 14.03.11 «Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия» / Дарья Дмитриевна Косарева. – Челябинск, 2021. – 157 с.
9. Патент № 2783493 C2 Российская Федерация, МПК A61M 16/12, A61H 1/00, A61B 8/06. Способ реабилитации больных с паническими атаками / И.В. Николаева, Д.Б. Сумная, М.О. Косарев [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО «СОНАР». – № 2021133941; заявл. 22.11.2021; опубл. 14.11.2022.
10. Немедикаментозные методы восстановления спортивной работоспособности / И.В. Николаева, М.В. Кулешова, Д.Б. Сумная [и др.] // Современные технологии и оборудование для медицинской реабилитации, санаторно-курортного лечения и спортивной медицины : сборник трудов VI Международного научно-практического конгресса VITA REHAB WEEK, 10-11 октября 2023 г. – Екатеринбург: УГУФК, 2023. – С. 135-147.
11. Немедикаментозные способы реабилитации спортсменов и пациентов с паническими расстройствами / И.В. Николаева, Д.Б. Сумная, Е.В. Быков [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. –

2025. – Т. 25. – № 3. – С. 168-177. DOI: 10.14529/hsm250321.
12. Агаджанян, Н.А. Проблемы восстановления дыхательного гомеостаза при гипер- и гипокапнических состояниях: реабилитационные стратегии и их физиологическое обоснование / Н.А. Агаджанян, Э.А. Дейнека // Вестник восстановительной медицины. – 2009. – № 2(30). – С.4-8.
13. Интервальные гипоксически-гипероксические тренировки в реабилитации спортсменов с синдромом хронической перетренированности / О.С. Глазачев, А.В. Смоленский, Е.Н. Дудник [и др.] // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2010. – № 2(74). – С. 19-25.
14. Косарев, М.О. Реабилитация пациентов со стенозирующими поражениями брахиоцефальных сосудов с использованием гиперкапнически-гипоксических тренировок и фасциальных манипуляций : дис. ... канд. мед. наук : специальность 3.1.33 «Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия (медицинские науки)» / Максим Олегович Косарев. – Челябинск, 2023. – 234 с.
15. Изменение показателей церебральной гемодинамики и липидной пероксидации у спортсменов под влиянием гиперкапнически гипоксических тренировок на дыхательном тренажере / М.В. Кулешова, И.В. Николаева, Е.В. Быков [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2018. – Т. 2. – № 4(5). – С. 45-52.
16. Патент № 2383361 С2 Российская Федерация, МПК A61G 10/00. Устройство для создания дозированной гиперкапнической гипоксии / В.П. Куликов, О.Н. Кандауров, А.Г. Беспалов, Н.Н. Якушев. – № 2008100456 ; заявл. 09.01.2008 ; опубл. 10.03.2010.
17. Фасциальные манипуляции при цервикальном мышечно-тоническом синдроме / Д.Б. Сумная, Е.В. Быков, А.А. Кинзерский [и др.] // Современные технологии и оборудование для медицинской реабилитации, санаторно-курортного лечения и спортивной медицины : Матер. IV Междунар. конг. Vita Rehab Week, посвященного 50-летию Урал ГУФК, Екатеринбург, 13-14 октября 2020 года. – Екатеринбург: Уральский государственный университет физической культуры, 2020. – С. 177-184.
18. Фармакологическое сопровождение спортсменов в современном спорте высших достижений / В.В. Яковлев, А.С. Петряев, М.В. Ребриев, Р.К. Алиев // Актуальные проблемы оздоровительной и адаптивной культуры и спорта. Вопросы организации образовательного процесса в вузе с учетом опыта СВО: Материалы межвузовской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25 апреля 2025 года. – СПб: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, 2025. – С. 225-229.
19. Кириллов, Н.А. Проблема применения анаболиков спортсменами / Н.А. Кириллов, А.Р. Габдрахманов, Т.И. Сафаргалин // Наука и технологии: перспективы развития и применения: Сборник статей IV Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 29 мая 2023 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2023. – С. 200-204.
20. Курбетдинова, З.Р. Гипоксически – гиперкапническая тренировка в расширении адаптационных резервов боксеров 20 лет / З.Р. Курбетдинова, А.Г. Ластовецкий, Е.Н. Минина // Проблемы физкультурного образования: концептуальные основы и научные инновации : сборник научных трудов V Международного научного конгресса, 28-30 мая 2018 г. – Симферополь: ИП Бровко А.А., 2018. – С. 313-317.

REFERENCES

1. Doping issues in modern sports. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. Lipatov V.A., ed. Kursk: KSMU, 2022. 94 p. (in Russ.)
2. Vein A.M. et al. Panic Attacks. Moscow, 2004. pp. 20-389. (in Russ.)
3. Nikolaeva I.V. et al.The effect of carbonic therapy on cerebral hemodynamics in case of panic disorders. *The Manual Therapy Journal*, 2020, no. 1-2(77-78), pp. 13-20. (in Russ.)
4. Zhigulin E.I., Kutashov V.A., Ulyanova O.V. Non-administrative correction of affective disorders in neurosocoid patients. *Central Science Bulletin*, 2018, vol. 3, no. 5(46), pp. 13-14. (in Russ.)
5. Kulikov V.P., Kuznetsova D.V., Zarya A.N. Cerebrovascular and cardiovascular CO_2-reactivity in the pathogenesis of arterial hypertension. *"Arterial'naya Gipertenziya" ("Arterial Hypertension"),* 2017, vol. 23, no. 5, pp. 433-446. (in Russ.)
6. Belova A.N., Shchepetova O.N. Scales, tests, and questionnaires in medical rehabilitation. Moscow: Antidor, 2002. 440 p. (in Russ.)
7. Boldin A.V. et al. Manual therapy and individual foot orthotics for the correction of myofascial pain syndrome. *Traditional Medicine*, 2016, no. 2(45), pp. 15-19. (in Russ.)
8. Kosareva D.D. Fascial manipulations in the rehabilitation of anxiety disorders with cervical muscular-tonic syndrome: an author's dissertation, 2021. 157 p. (in Russ.)
9. Nikolaeva I.V., Sumnaya D.B. et al. Method for the rehabilitation of patients with panic attacks: Patient for invention RU 2783493 C2, 2022. (in Russ.)
10. Nikolaeva I.V., Kuleshova M.V., Sumnaya D.B. et al. Non-drug methods for restoring sports performance. Modern Technologies and Equipment for Medical Rehabilitation, Spa Treatment and Sports Medicine: collection of the VI International Scientific and Practical Congress VITA REHAB WEEK (October 10-11, 2023). Ekaterinburg: Ural State University of Physical Culture, 2023. pp. 135-147. (in Russ.)
11. Nikolaeva I.V., Sumnaya D.B., Bykov E.V. et al. Non-pharmacological rehabilitation for athletes and patients with panic. *Human. Sport. Medicine*, 2025, vol. 25, no. 3, pp. 168-177. DOI: 10.14529/hsm250321. (in Russ.)
12. Agadzhanyan N.A., Deineka E.A. Problems of restoration of respiratory homeostasis in hyper- and hypocapnic states: rehabilitation strategies and their

physiological basis. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2009, no. 2, pp. 4-8. (in Russ.)
13. Glazachev O.S., Smolensky A.V., Dudnik E.N. et al. Periodic hypoxic-hyperoxic training in the rehabilitation of sportsmen with the chronic hyper-training syndrome (a pilot study). *Therapeutic exercise and sports medicine*, 2010, no. 2(74), pp. 19-24. (in Russ.)
14. Kosarev M.O. Rehabilitation of patients with stenotic lesions of the brachiocephalic vessels using hypercapnic-hypoxic training and fascial manipulations: an author's dissertation. Chelyabinsk, 2022. 234 p. (in Russ.)
15. Kuleshova M.V. et al. Changes in cerebral hemodynamics and lipid peroxidation parameters in athletes under the influence of hypercapnic-hypoxic training on a breathing simulator. *Modern Issues in Biomedicine*, 2018, vol. 2(4), pp. 45-52. (in Russ.)
16. Kulikov V. P. et al. Device for creating dosed hypoxic hypercapnia. Patent for invention RU 2383361 C2, 2010. (in Russ.)
17. Sumnaya D.B., Bykov E.V., Kinzersky A.A. et al. Fascial manipulations in cervical muscular-tonic syndrome. Modern technologies and equipment for medical rehabilitation, spa treatment and sports medicine: Proceedings of the IV International Congress Vita Rehab Week, dedicated to the 50th anniversary of the Ural State University of Physical Education, Ekaterinburg, October 13-14, 2020. Ekaterinburg: Ural State University of Physical Education, 2020. pp. 177-184. (in Russ.)
18. Yakovlev V.V., Petryaev A.S., Rebriev M.V., Aliyev R.K. Pharmacological support of athletes in modern high-performance sport. Actual problems of health and adaptive culture and sports. Issues of organizing the educational process at a university taking into account the experience of the SVO: Proceedings of the interuniversity scientific and practical conference, St. Petersburg, April 25, 2025. St. Petersburg: Military Medical Academy named after S.M. Kirov, 2025. pp. 225-229. (in Russ.)
19. Kirillov N.A., Gabdrakhmanov A.R., Safargalin T.I. The problem of the use of anabolic steroids by athletes. Science and Technology: Prospects For Development and Application: Collection of articles from the IV International Scientific and Practical Conference, Petrozavodsk, May 29, 2023. Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership "New Science", 2023. pp. 200-204. (in Russ.)
20. Kurbetdinova Z.R., Lastovetsky A.G., Minina E.N. Hypoxic-hypercapnic training in expanding the adaptation reserves of 20-year-old boxers. V International Scientific Congress "Problems of Physical Education Education: Conceptual Foundations and Scientific Innovations": collection of scientific papers, (May 28-30, 2018). Simferopol: IP Brovko A.A., 2018. pp. 313-317. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Ирина Валерьевна Николаева – врач ультразвуковой диагностики, ООО «СОНАР»; соискатель кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: IrinkaMed@yandex.ru.
Дина Борисовна Сумная – доктор медицинских наук, профессор, врач-невролог, ООО «СОНАР», Центр нейромышечной стабилизации; ведущий научный сотрудник НИИ ОС, профессор кафедры биохимии, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: sumniyd@mail.ru.
Марина Валерьевна Кулешова – кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: treneva_marina@mail.ru.
Антон Александрович Кинзерский – кандидат медицинских наук, невролог, Центр нейромышечной стабилизации; доцент кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: antkinz@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Irina V. Nikolaeva – Ultrasound Diagnostician, SONAR LLC; Applicant of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: IrinkaMed@yandex.ru.
Dina B. Sumnaya – Doctor of Medical Sciences, Professor, Neurologist, SONAR LLC, Center for Neuromuscular Stabilization; Leading Researcher of the Scientific Research Institute of Olympic Sports, Professor of the Department of Biochemistry, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: sumniyd@mail.ru.
Marina V. Kuleshova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biochemistry, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: treneva_marina@mail.ru.
Anton A. Kinzersky – Candidate of Medical Sciences, Neurologist, Center for Neuromuscular Stabilization; Associate Professor of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: antkinz@yandex.ru.

Для цитирования: Терапевтическая эффективность немедикаментозных методов реабилитации спортсменов с паническими расстройствами / И.В. Николаева, Д.Б. Сумная, М.В. Кулешова, А.А. Кинзерский // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_32

For citation: Nikolaeva I.V., Sumnaya D.B., Kuleshova M.V., Kinzersky A.A. Therapeutic effectiveness of non-drug rehabilitation methods for athletes with panic disorders. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_32

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_33
УДК 796.92

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_33
UDC 796.92

ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ 9-11 ЛЕТ НА ЭТАПЕ НАЧАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

А.И. Головачев, В.И. Колыхматов, С.В. Широкова, Е.А. Сигов, Д.О. Хрекин
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», г. Москва, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Целью работы являлось изучение процесса формирования энергетического потенциала систем энергообеспечения лыжников-гонщиков в возрастном диапазоне 9-11 лет на этапе начальной подготовки. ***Методы.*** Для оценки ростовых процессов применялся комплекс методов, включающий антропометрию, эргометрию, газоанализ, биохимический анализ крови, пульсометрию. Полученные данные обрабатывались соответствующими методами математической статистики. В исследовании участвовали 20 спортсменов, разделенных на три группы в зависимости от продолжительности срока их подготовки. ***Результаты.*** Полученные результаты указывают, что 9-летние спортсмены демонстрируют низкий потенциал функциональных возможностей окислительной и лактацидной систем. У 10-летних сохраняется более низкий уровень максимального потребления кислорода, а различия в потенциале лактацидной системы нивелируются устранением различий в механической мощности в тесте 2, по уровню относительного показателя превосходят 11-летних. ***Заключение.*** Причиной установленных различий исследуемых характеристик между 10 и 11-летними спортсменами выступают опережающие темпы прироста массы тела по отношению к росту энергетического потенциала систем энергообеспечения.
Ключевые слова: юные лыжники-гонщики, возрастной диапазон 9-11 лет, энергетический потенциал, окислительная и лактацидная системы, межсистемные взаимодействия, реализационная готовность.

DEVELOPMENT OF ENERGY POTENTIAL OF 9-11 YEAR-OLD CROSS-COUNTRY SKIERS AT THE INITIAL TRAINING STAGE

A.I. Golovachev, V.I. Kolykhmatov, S.V. Shirokova, E.A. Sigov, D.O. Khrekin
Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports, Moscow, Russia

Abstract. ***Introduction.*** This study aimed to investigate the formation of the energy potential of the energy supply systems of cross-country skiers aged 9-11 years during the initial training phase. ***Methods.*** A combination of methods was used to assess growth processes, including anthropometry, ergometry, gas analysis, blood biochemistry, and pulse oximetry. The obtained data were processed using appropriate methods of mathematical statistics. The study involved 20 athletes, divided into three groups depending on the duration of their training. ***Results.*** The obtained results indicate that 9-year-old athletes demonstrate low potential for the functional capabilities of the oxidative and lactic acid systems. 10-year-olds retain a lower VO_2 max, and differences in lactic acid system potential are offset by the elimination of differences in mechanical power in test 2, while in terms of the relative indicator, they surpass 11-year-olds. ***Conclusion.*** The reason for the established differences in the studied characteristics between 10 and 11-year-old athletes is the faster rate of increase in body weight in relation to the growth of the energy potential of energy supply systems.
Keywords: young cross-country skiers, age range 9-11 years, energy potential, oxidative and lactic acid systems, intersystem interactions, performance readiness.

Введение. Актуальность данного исследования продиктована целесообразностью разработки научно обоснованных методических подходов, направленных на оптимизацию процесса формирования функциональных возможностей (резервов) основных систем энергообеспечения у юных спортсменов в лыжных гонках на различных стадиях онтогенетического развития. Ведущими критериями развития функциональных возможностей могут выступать ритмологические характеристики динамики

роста абсолютных значений и скорости погодового прироста мощностных и экономизационных возможностей окислительной, лактацидной и фосфагенной энергетических систем, становление которых обусловлено как эффективностью реализации наследственной программы процессов роста и развития, так и специализированным воздействием спортивной подготовки [1, 2]. Важным направлением в работе является поиск показателей, выступающих критериями развития не только самих систем энергообеспечения, но и межсистемных взаимодействий, отражающих уровень становления регуляторных механизмов на каждом из этапов онтогенетических изменений юных спортсменов [3]. По мнению Bar-Or O. [4], Naughton G. et al. [5], Абрамовой Т.Ф. с соавт. [6], допустимый уровень нагрузки должен определяться функциональными возможностями, как минимум, систем энергообеспечения и сердечно-сосудистой системы, становление которых в период начала занятия спортом в лыжных гонках (9 лет по положению в Федеральном стандарте [7]) приходится на стадию активного роста. Вместе с тем, ранее полученные результаты в исследованиях [1, 5, 8], касающихся сроков начала занятия спортом, участия в соревновательной деятельности и применения высокоинтенсивных мышечных нагрузок, имеют противоречивый характер.

Целью работы являлось изучение процесса формирования энергетического потенциала систем энергообеспечения лыжников-гонщиков в возрастном диапазоне 9-11 лет на этапе начальной подготовки.

Методы и организация исследования. В исследовании участвовали 20 юных спортсменов (9-11 лет), разделенных на три группы по уровню сроков подготовки: 9-летние новички (6 месяцев тренировок, n=6), 10-летние спортсмены с опытом 1,5 года (n=6) и 11-летние с двухлетним стажем (n=8). Все участники являются воспитанниками Московской академии лыжных гонок и биатлона спортивной школы олимпийского резерва «Аннино», прошедшими комплексное обследование.

Предполагалось, что изучение процесса формирования энергетического потенциала систем энергообеспечения у юных спортсменов будет осуществляться посредством применения ранее апробированных методик. Данные методики хорошо зарекомендовали себя при работе как со спортсменами 6-7 лет, так и со взрослыми спортсменами, входящими в состав сборной команды России по лыжным гонкам. Данное предположение основывалось на анализе литературных источников и результатах предшествующих исследований [6, 9, 10].

В рамках программы оценки возрастных изменений энергетического потенциала функциональных возможностей систем энергообеспечения выполнялись две тестовые нагрузки. Первая из них представляла собой тест со ступенчато возрастающей нагрузкой «до отказа» (тест 1), проводимый на беговой дорожке Quinton (США). В ходе теста регистрировались параметры выдыхаемого воздуха на автоматическом газоанализаторе MetaLayzer-3B (Cortex, Германия). Одновременно проводился биохимический анализ крови для определения динамики нарастания лактата в капиллярной крови, осуществляемый электрохимическим методом на анализаторе Biosen S-line Clinic (EKF Diagnostic, Германия). Протокол задания нагрузки при работе на беговой дорожке: начальная скорость бега для спортсменов 9 лет составляла 1,0-1,5 м/с (3,6-5,4 км/ч), для 10 лет – 1,5-2,0 м/с (5,4-7,2 км/ч), 11 лет – 2,0-2,5 м/с (7,2-9,0 км/ч), прибавочная скорость (для всех возрастов) составляла 0,5 м/с (1,8 км/ч), длительность нагрузочной ступени – 3 минуты.

Динамика формирования энергетического потенциала окислительной и лактацидной энергетических систем изучалась на основе данных, полученных путем регистрации исследуемых показателей до, во время и в период восстановления. Расчет анаэробного порога, являющегося индикатором степени сформированности межсистемных взаимодействий окислительной и лактацидной энергетических систем, осуществлялся на основе построения «лактатной кривой» и анализа динамики параметров выдыхаемого воздуха в соответствии с методическими рекомендациями K. Wasserman [11] и J.S. Skinner, T.H. McLellan [12]. Второй нагрузочный тест проводился через 5 минут после завершения

первого и включал выполнение на велоэргометре Monark Peak Bike Ergomedic 894E (Швеция) предельной мышечной работы с постоянным сопротивлением длительностью 60 секунд в режиме «all-out» (тест 2). Величина нагрузочного сопротивления подбиралась индивидуально, исходя из массы тела спортсмена: для 9-летних она составляла 1,0-1,5 кР, а для 10-11-летних – 1,5-2,5 кР.

Цель второго тестирования – выявление максимального потенциала лактацидной энергетической системы и степени ее реализации в достигнутой механической мощности, характеризующей максимальную анаэробную производительность (МАП-60, гликолитическая мощность, тест 2). Мониторинг сердечного ритма осуществлялся с помощью приборов «Polar» (Финляндия). Полученные данные были обработаны статистически в программе «Stat Plus Pro». На стадии предварительного исследования, в условиях ограниченного числа испытуемых для определения статистической значимости различий использовался непараметрический U-критерий Манна-Уитни [13]. Различия считались статистически значимыми, если вероятность их случайного возникновения была ниже 5% ($p<0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ данных, полученных в ходе исследования, дает возможность количественно оценить различия в динамике развития функциональных возможностей окислительной и лактацидной энергетических систем юных лыжников-гонщиков 9-11 лет с учетом их принадлежности к трем разновозрастным группам на этапе начальной подготовки (табл. 1-2).

Представленные на рисунке величина и направленность отклонения исследуемых показателей на первом (9 лет) и втором (10 лет) годах подготовки по отношению к третьему (11 лет) году, который выступает модельным уровнем для всего этапа начальной подготовки (ЭНП), легли в основу формирования особенностей становления функциональных возможностей для каждой возрастной группы юных спортсменов.

Таблица 1

Возрастные изменения показателей формирования окислительной системы юных лыжников-гонщиков в возрастном периоде 9-11 лет, M±σ

Показатель	Группа		
	9 лет (n=6)	10 лет (n=6)	11 лет (n=8)
Масса тела, кг	30,8±6,2	34,4±4,8	39,8±7,0
Скорость бега на отказе (Vmax), м/с	2,46±0,16	2,82±0,29	3,01±0,66
МВЛ, л/мин	62,4±5,0	74,8±7,3	76,8±19,0
МПК, л/мин	1,574±0,197	1,844±0,313	2,143±0,479
МПК/кг, мл/мин/кг	51,66±3,53	53,43±1,84	54,15±8,98
ЧССмакс. (1), уд/мин	197,3±7,8	201,0±14,9	197,0±11,1
КП, мл/уд	8,02±1,34	9,21±1,65	10,44±2,44
ДК, %	1,09±0,06	1,05±0,05	1,05±0,07
КИO_2,%	3,33±0,38	3,26±0,30	3,77±0,37
Лактат (1), мМ/л	4,40±2,33	5,29±2,00	5,53±0,96

Примечание: МВЛ – максимальная вентиляция легких; МПК – максимальное потребление кислорода; МПК/кг – максимальное потребление кислорода, нормированное к массе тела; ЧССмакс. (1) – максимальная частота сердечных сокращений в тесте 1; КП – кислородный пульс; ДК – дыхательный коэффициент; КИO_2 – коэффициент использования кислорода; Лактат (1) – максимальная концентрация лактата в тесте 1.

Таблица 2

Возрастные изменения показателей формирования межсистемных взаимодействий и лактацидной системы юных лыжников-гонщиков в возрастном периоде 9-11 лет, M±σ

Показатель	Группа		
	9 лет (n=6)	10 лет (n=6)	11 лет (n=8)
Показатель анаэробного порога (АТ)			
Скорость бега на АТ (V_{AT}), м/с	2,10±0,23	2,37±0,34	2,55±0,57
V_{AT} от Vmax, %	85,5±5,5	84,2±6,1	84,6±4,3
Потребление кислорода на АТ ($VO2_{AT}$), мл/мин/кг	43,0±4,1	44,6±2,4	45,3±6,9
$VO2_{AT}$ от VO2max, %	83,1±2,5	83,4±1,9	84,0±5,8
$ЧСС_{AT}$, уд/мин	174,8±7,1	180,8±11,1	174,4±8,7
Результат теста 2 (МАП-60) «all-out»			
Нагрузочное сопротивление (Fm), кГ	1,5±0,0	1,7±0,3	1,8±0,4
Темп педалирования (Temp), об/мин	68,8±2,5	84,0±10,1	84,5±16,8
Мощность (Nmax), кГм/мин	599,5±22,1	832,0±182,2	877,0±185,6
Мощность (Nmax/kg), кГм/мин/кг	19,95±3,12	23,99±2,11	22,48±5,91
Лактат (2), мМ/л	6,05±2,49	7,40±1,52	7,89±1,14
ЧССмакс (2), уд/мин	190,8±13,2	200,8±17,6	191,0±8,9

Примечание: АТ – анаэробный порог; V_{AT} от Vmax – скорость бега на АТ в % от скорости бега на отказе; $VO2_{AT}$ от VO2max – потребление кислорода на АТ в % от МПК; $ЧСС_{AT}$ – пульс на АТ; МАП – максимальная анаэробная (гликолитическая) производительность; Лактат (2) – максимальный лактат в тесте 2; ЧССмакс. (2) – максимальная частота сердечных сокращений в тесте 2.

Особенности формирования энергетического потенциала, обусловленного развитием функциональных возможностей основных систем энергообеспечения 9-летних спортсменов (первого года подготовки), выраженной в уровне физической работоспособности и реализационной готовности:

- сниженная скорость бега на последней ступени нагрузки (при «отказе» продолжения работы) у 9-летних спортсменов оказалась на 18,4% ниже, чем у 11-летних (третий год подготовки). Основной причиной значительного отставания является низкий уровень развития окислительной и лактацидной энергетических систем;

- сниженная мощность окислительной системы проявляется как в абсолютных, так и в относительных (нормированных к массе тела) значениях максимального потребления кислорода: абсолютная величина максимального потребления кислорода (МПК) ниже на 26,6% ($p<0,05$), относительная величина МПК – на 4,6% по отношению к уровню спортсменов третьего года подготовки;

- сниженная мощность лактацидной системы проявляется при выполнении как теста 1 (ступенчато возрастающая нагрузка, характеризующая базовый уровень общей выносливости), так и теста 2 (60-секундное ускорение, характеризующее специальный (гликолитический) уровень выносливости): максимальная концентрация лактата в крови в тесте 1 ниже на 20,5%, а в тесте 2 – на 23,4% ($p<0,05$) по отношению к уровню спортсменов третьего года подготовки;

- сниженная гликолитическая мощность, проявляющаяся в показателях величины механической работы при выполнении 60-секундного ускорения (тест 2, МАП-60): абсолютная мощность работы ниже на 31,6%, относительная мощность работы – на 11,3% (различия на уровне $p<0,05$) по

отношению к уровню спортсменов третьего года подготовки;

- сниженный уровень межсистемных взаимодействий, проявляющийся в развитии показателей анаэробного порога, кислородного пульса и коэффициента использования кислорода. Отклонения от модельных значений у 9-летних по отношению к 11-летним спортсменам: скорость бега на уровне анаэробного порога (V_{AT}) ниже на 17,5% ($p<0,05$), потребление кислорода на АТ ($VO2_{AT}$) – на 5,1%, кислородный пульс – на 23,2% ($p<0,05$), коэффициент использования кислорода – на 11,6%.

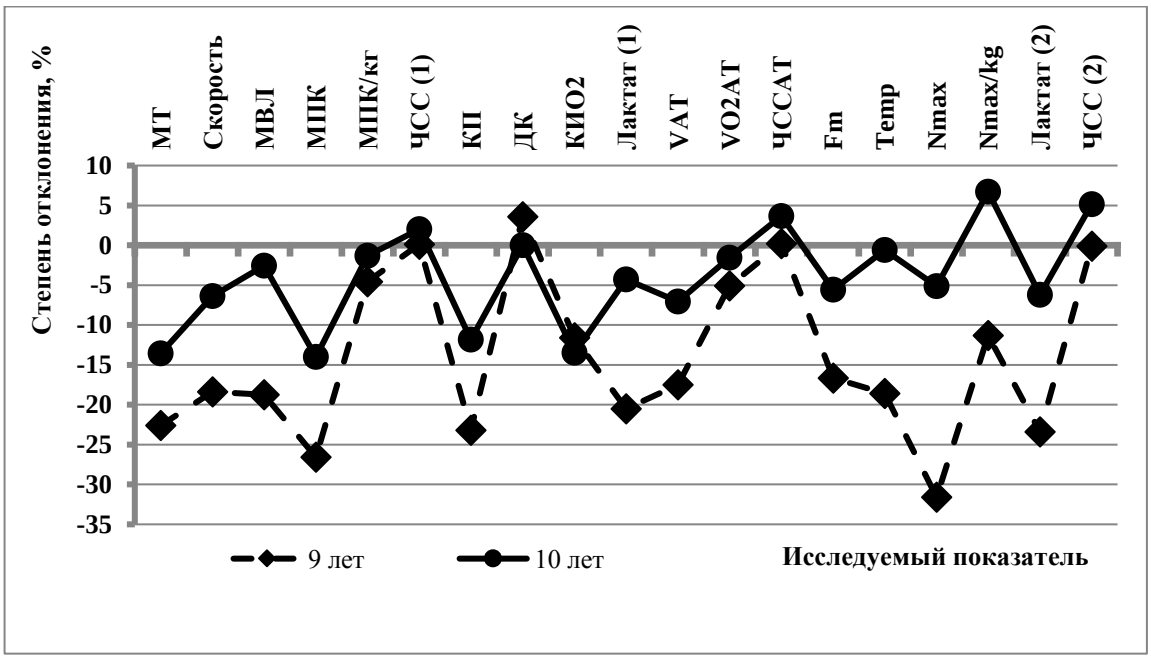


Рис. Степень отклонения показателей физической работоспособности и функциональных возможностей систем энергообеспечения юных лыжников-гонщиков 9 и 10 лет по отношению к 11-летним на этапе начальной подготовки

Примечание: МТ – масса тела; МВЛ – максимальная вентиляция легких; МПК – максимальное потребление кислорода; МПК/кг – максимальное потребление кислорода, нормированное к массе тела; ЧСС (1) – максимальная частота сердечных сокращение в тесте 1; КП – кислородный пульс; ДК – дыхательный коэффициент; $КИО_2$ – коэффициент использования кислорода; Лактат (1) – максимальный лактат в тесте 1; V_{AT} – скорость бега на уровне анаэробного порога; VO_{2AT} – потребление кислорода на уровне анаэробного порога; $ЧСС_{AT}$ – частота сердечных сокращений на уровне анаэробного порога; Fm – нагрузочное сопротивление; Temp – темп педалирования; Nmax – максимальная мощность работы; Nmax/kg – максимальная мощность работы, нормированная к массе тела; Лактат (2) – максимальный лактат в тесте 2; ЧССмакс. (2) – максимальная частота сердечных сокращение в тесте 2.

Особенности формирования энергетического потенциала, обусловленного развитием функциональных возможностей основных систем энергообеспечения 10-летних спортсменов второго года подготовки:

- сохранение отставания в скорости бега на пределе функционирования основных систем энергообеспечения. Показатель скорости бега на последней ступени нагрузки (на отказе) у 10-летних спортсменов оказался на 6,4% ниже, чем у 11-летних (третий год подготовки). Основной причиной более низкой скорости бега является сохраняющееся различие в эффективности функционирования окислительной (в большей степени) и лактацидной (в меньшей степени) энергетических систем;

- сниженная мощность окислительной системы преимущественно проявляется в абсолютных значениях МПК, которые оказались ниже на 14,0%, по относительным (нормированным к массе тела) значениям различия составили лишь 1,3% по отношению к уровню спортсменов третьего года подготовки;

- сниженная мощность лактацидной системы проявляется, но уже в меньшей степени, как при выполнении теста 1 (в ступенчатом тесте) – ниже на 4,3%, так и в тесте 2 (60-секундном ускорении) – ниже на 6,2%, что свидетельствует о выраженной тенденции устранения различий в интенсивности функционирования лактацидной системы между 10 и 11-летними спортсменами уже на втором году подготовки;

- разнонаправленная динамика показателей гликолитической мощности, проявляющаяся по величине абсолютной мощности работы в тесте 2 (МАП-60), ниже на 5,1% и выше по относительной мощности на 6,7%, что обусловлено различиями в темпах возрастного прироста массы тела по отношению к ростовым процессам развития функциональных возможностей окислительной и лактацидной систем энергообеспечения;

- сохранение отставания в уровне межсистемных взаимодействий, но уже в меньшей степени и при разнонаправленной тенденции изменений. Отклонения от модельных значений (у 10-летних по отношению к 11-летним спортсменам) составили: скорость бега на АТ ниже на 7,1%, потребление кислорода на АТ – на 1,5%, кислородный пульс – на 11,8%, коэффициент использования кислорода ниже на 13,5% (при сохранении высоких темпов прироста способности к утилизации кислорода на третьем году подготовки), что отражает повышенную (напряженную) реакцию со стороны сердечно-сосудистой системы на нагрузку.

Заключение. Анализ результатов проведенного исследования позволил установить, что на первом году подготовки 9-летние спортсмены по отношению к 10 и 11-летним (второго и третьего года подготовки) характеризуются низким энергетическим потенциалом мощностных и экономизационных возможностей систем энергообеспечения, что усугубляется низким уровнем межсистемных взаимодействий между окислительной и лактацидной, а также сердечно-сосудистой и дыхательной системами, являясь основной причиной низкого уровня физической работоспособности и, как следствие, реализационной готовности к соревновательной деятельности.

На втором году подготовки 10-летние спортсмены по отношению к 11-летним характеризуются сохранением более низкого уровня мощностных возможностей окислительной системы и, в частности, абсолютного уровня МПК, при снижении различий по степени активации лактацидной системы как в тесте 1 (ступенчатой нагрузке «до отказа»), так и в тесте 2 (60-секундном ускорении, МАП-60), что обеспечивает повышение уровня готовности к реализационной деятельности, выводя показатели достигнутой мощности механической работы на модельный уровень (относительно спортсменов третьего года подготовки).

Основные различия между 10 и 11-летними спортсменами (второй и третий год подготовки) обусловлены различиями в соответствии темпов погодового прироста массы тела по отношению к функциональным возможностям окислительной и лактацидной энергетических систем, становление которых имеет выраженный гетерохронный характер.

Результаты сравнительного анализа показателей возрастной динамики показателей функциональных возможностей систем энергообеспечения юных лыжников-гонщиков 9-11 лет, соответствующих первому (9), второму (10) и третьему (11) году подготовки, могут выступать целевым ориентиром не только поэтапного формирования энергетического потенциала мощностных и экономизационных возможностей окислительной и лактацидной энергетических систем, но и готовности к реализационной деятельности, обеспечивающей участие в соревновательном процессе.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ ФНЦ ВНИИФК № 777-00021-26-00 (код темы № 001-26/1).

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The research was carried out under State Assignment Project No. 777-00021-26-00 (code No. № 001-26/1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Physiological issues surrounding the performance of adolescent athletes / G. Naughton, N.J. Farpour-Lambert, J. Carlson [et al.] // Sports Medicine. – 2000. – Vol. 30. – No. 5. – P. 309-325. DOI: 10.2165/00007256-200030050-00001.
2. Stoggl, R. Motor abilities and anthropometrics in youth cross-country skiing / R. Stoggl, E. Müller, T. Stoggl // Scandinavian Journal Of Medicine & Science In Sports. – 2014. – Vol. 25. – No. 1. – P. e70-e81. DOI: 10.1111/sms.12254.
3. Metabolic and fatigue profiles are comparable between prepubertal children and well-trained adult endurance athletes / A. Birat, P. Bourdier, E. Piponnier [et al.] // Frontiers in Physiology. – 2018. – No. 9. – P. 367707. DOI: 10.3389/fphys.2018.00387.
4. Bar-Or, O. Pediatric sports medicine for the practitioner: From physiologic principles to clinical applications / O. Bar-Or. – Springer New York, 2012. – 376 p.
5. Accumulated oxygen deficit measurements during and after high-intensity exercise in trained male and female adolescents / G.A. Naughton, J.S. Carlson, D.C. Buttifant [et al.] // European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. – 1997. – Vol. 76. – No. 6. – P. 525-531. DOI: 10.1007/s004210050285.
6. Особенности нормирования физической нагрузки юных спортсменов в тренировочной подготовке / Т.Ф. Абрамова, А.И. Головачев, Т.М. Никитина, А.В. Полфунтикова // Теория и практика физической культуры. – 2021. – № 7. – С. 75-77.
7. Приказ Министерства спорта Российской Федерации от 05.11.2025 № 908 «Об утверждении федерального стандарта спортивной подготовки по виду спорта «лыжные гонки». – URL: https://minjust.consultant.ru/special/documents/document/57695?ysclid=mobtu2xxg7516631759 (дата обращения: 23.04.2026).
8. Tolfrey, K. Child-adult differences in whole blood lactate responses to incremental treadmill exercise / K. Tolfrey, N. Armstrong // British journal of sports medicine. – 1995. – Vol. 29. – No. 3. – P. 196-199.
9. Влияние возрастных и квалификационных особенностей на уровень физической подготовленности спортсменов / А.И. Головачев, Э.Л. Бутулов, Н.Н. Кондратов [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2003. – № 10. – С. 32-34.
10. Современные методические подходы к контролю физической подготовленности в лыжных гонках / А.И. Головачев, Э.Л. Бутулов, В.И. Колыхматов [и др.] // Вестник спортивной науки. – 2018. – № 5. – С. 11-17.
11. Wasserman, K. Respiratory physiology of exercise: metabolism, gas exchange, and ventilatory control / K. Wasserman // International review of physiology Respiratory physiology III. – 1981. – No. 23. – P. 149-211.
12. Skinner, J.S. The transition from aerobic to anaerobic metabolism / J.S. Skinner, T.H. McLellan // Research Quarterly for Exercise and Sport. – 1980. – Vol. 51. – No. 1. – P. 234-248. DOI: 10.1080/02701367.1980.10609285.
13. Дерябин, В.Е. Биометрическая обработка антропологических данных с применением компьютерных программ / В.Е. Дерябин. – М.: НИИ и Музей антропологии МГУ. – 2004. – 299 с.

REFERENCES

1. Naughton G., Farpour-Lambert N.J., Carlson J., Bradney M., Van Praagh E. Physiological issues surrounding the performance of adolescent athletes. *Sports medicine*, 2000, vol. 30, no. 5, pp. 309-325. DOI: 10.2165/00007256-200030050-00001.
2. Stoggl R., Müller E., Stoggl T. Motor abilities and anthropometrics in youth cross-country skiing. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 2014, vol. 25, no. 1, pp. e70-e81. DOI: 10.1111/sms.12254.
3. Birat A., Bourdier P., Piponnier E. et al. Metabolic and fatigue profiles are comparable between prepubertal children and well-trained adult endurance athletes. *Frontiers in physiology*, 2018, no. 9, pp. 367707. DOI: 10.3389/fphys.2018.00387.
4. Bar-Or O. Pediatric sports medicine for the practitioner: From physiologic principles to clinical applications. Springer Science & Business Media, 2012. 376 p.
5. Naughton G.A., Carlson J.S., Buttifant D.C. et al. Accumulated oxygen deficit measurements during and after high-intensity exercise in trained male and female adolescents. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 1997, vol. 76, no. 6, pp. 525-531. DOI: 10.1007/s004210050285.
6. Abramova T.F., Golovachev A.I., Nikitina T.M., Polfuntikova A.V. Workout intensity management standards for 6-7 year-old wrestlers. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2021, no. 7, pp. 75-77. (in Russ.)
7. Order of the Ministry of Sports of the Russian Federation dated 05.11.2025 No. 908 “On Approval of the Federal Standard for Sports Training in Skiing”. Available at: https://minjust.consultant.ru/special/documents/document/57695?ysclid=mobtu2xxg7516631759 (accessed: 23.04.2026). (in Russ.)
8. Tolfrey K., Armstrong N. Child-adult differences in whole blood lactate responses to incremental treadmill exercise. *British journal of sports medicine*, 1995, vol. 29, no. 3, pp. 196-199.
9. Golovachev A.I., Butulov E.L., Kondratov N.N., Pototsky V.L., Bogdanov P.B. The impact of age and qualification characteristics on the level of

physical fitness of athletes. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2003, no. 10, pp. 32-34. (in Russ.)
10. Golovachev A.I., Butulov E.L., Kolykhmatov V.I. et al. Modern methodical approaches to control of physical fitness in cross-country skiing. *Sports Science Bulletin*, 2018, no. 5, pp. 11-17. (in Russ.)
11. Wasserman K. Respiratory physiology of exercise: metabolism, gas exchange, and ventilatory control. *International review of physiology Respiratory physiology III*, 1981, no. 23, pp. 149-211.
12. Skinner J.S., Mclellan T.H. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research quarterly for exercise and sport*, 1980, vol. 51, no. 1, pp. 234-248. DOI: 10.1080/02701367.1980.10609285.
13. Deryabin V.E. Biometric processing of anthropological data using computer programs. Moscow: Moscow State University Research Institute and Museum of Anthropology", 2004. 299 p. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Александр Иванович Головачев – кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник, начальник лаборатории циклических олимпийских видов спорта, Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва, e-mail: malta94@mail.ru.
Владимир Игоревич Колыхматов – кандидат педагогических наук, научный сотрудник лаборатории циклических олимпийских видов спорта, Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва, e-mail: kolykhmatov@gmail.com.
Светлана Владимировна Широкова – кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник лаборатории циклических олимпийских видов спорта, Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва, e-mail: shirokova.s.v@vniifk.ru.
Елисей Александрович Сигов – научный сотрудник лаборатории циклических олимпийских видов спорта, Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва, e-mail: sigov.e.a@vniifk.ru.
Дмитрий Олегович Хрекин – ведущий специалист; Федеральный научный центр физической культуры и спорта; Москва, e-mail: mazerraty@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Aleksandr I. Golovachev – Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory of Cyclic Olympic Sports, Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports, Moscow, e-mail: malta94@mail.ru.
Vladimir I. Kolykhmatov – Candidate of Pedagogical Sciences, Researcher of the Laboratory of Cyclic Olympic Sports, Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports, Moscow, e-mail: kolykhmatov@gmail.com.
Svetlana V. Shirokova – Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Cyclic Olympic Sports, Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports, Moscow, e-mail: shirokova.s.v@vniifk.ru.
Elisey A. Sigov – Researcher of the Laboratory of Cyclic Olympic Sports, Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports, Moscow, e-mail: sigov.e.a@vniifk.ru.
Dmitry O. Khrekin – Leading Specialist of the Laboratory of Cyclic Olympic Sports, Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports, Moscow, e-mail: mazerraty@mail.ru.

Для цитирования: Формирование энергетического потенциала лыжников-гонщиков 9-11 лет на этапе начальной подготовки / А.И. Головачев, В.И. Колыхматов, С.В. Широкова [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_33

For citation: Golovachev A.I., Kolykhmatov V.I., Shirokova S.V., Sigov E.A., Khrekin D.O. Development of energy potential of 9-11 year-old cross-country skiers at the initial training stage. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_33

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_34
УДК 796.015.682

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_34
UDC 796.015.682

ЭКОНОМИЧНОСТЬ БЕГА У БЕГУНОВ НА ДЛИННЫЕ ДИСТАНЦИИ НА ЭТАПЕ СПОРТИВНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

В.Д. Емельянов, А.И. Ларькин
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Казань, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Исследование факторов, влияющих на результативность в беге на длинные дистанции, является важной задачей для совершенствования процесса подготовки в условиях значительной конкуренции. ***Методы.*** В исследовании приняли участие 6 бегунов 17-20 лет, специализирующихся в беге на 1 500-5 000 м (III-I спортивные разряды). Экономичность бега оценивали в лабораторных условиях с использованием газоанализатора «MetaLyzer 3B-R2» и тредбана «HP Cosmos Quasar» при выполнении бега в течение 11-ти минут с удержанием скорости бега 16 км/ч в течение 5-ти минут. ***Результаты.*** Установлено, что среднее значение экономичности бега у бегунов на этапе спортивной специализации (3,95±0,06 Дж/кг/м) выше, чем у лиц, не занимающихся спортом (4,19±0,10 Дж/кг/м), но значительно хуже, чем у квалифицированных спортсменов данной специализации. ***Заключение.*** Полученные результаты указывают на эффективность повышения спортивных результатов через оптимизацию темпа и уменьшение времени отталкивания в беге на длинные дистанции.
Ключевые слова: экономичность бега, бег на длинные дистанции, учебно-тренировочный этап, аэробная работоспособность, энергетическая стоимость бега.

LONG-DISTANCE RUNNING EFFICIENCY AT THE SPORTS SPECIALIZATION STAGE: LABORATORY EVALUATION AND COMPARATIVE ANALYSIS

V.D. Emelyanov, A.I. Larkin
Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Research into the factors that influence performance in long-distance running is an important task for improving the training process in conditions of significant competition. ***Methods.*** The study involved 6 runners 17-20 years old specializing in 1,500-5,000 m (III-I sports categories). Running efficiency was evaluated in the laboratory using a MetaLyzer 3B-R2 gas analyzer and an HP Cosmos Quasar treadmill in an 11-minute test with a 5-minute run at 16 km/h. ***Results.*** It has been found that the average value of running efficiency in runners at the sports specialization stage (3.95±0.06 J/kg/m) is higher than in non-athletes (4.19±0.10 J/kg/m), but much worse than in qualified athletes of this specialization. ***Conclusion.*** The results obtained indicate the effectiveness of improving athletic performance through pace optimization and reduced push-off time in long-distance running.
Keywords: running efficiency, long-distance running, sports specialization stage, aerobic performance, energy cost of running.

Введение. В последнее время бег на длинные дистанции стал популярным не только среди профессиональных спортсменов, но и среди любителей, что обусловливает устойчивый интерес к факторам, определяющим результативность стайеров на разных этапах многолетней подготовки. Показателями аэробной работоспособности считаются максимальное потребление кислорода (МПК), скорость бега на уровне порога анаэробного обмена (ПАНО) и экономичность бега как потребность в энергии для поддержания определенной скорости. Экономичность бега позволяет спортсмену сохранять силы для финишного ускорения и избегать преждевременного утомления. По данным В.Д. Кряжева с соавт., бегуны на этапе высшего спортивного мастерства обладают техникой, позволяющей минимизировать затраты энергии. У них большее соотношение медленных мышечных волокон к быстрым, более развиты капилляризация тканей и митохондриальная плотность в клетках мышц, что улучшает доставку кислорода и питательных веществ к работающим

мышцам, снижая потребность в кислороде [1].

По мнению ряда авторов, спортсмены с хорошими показателями экономичности бега затрачивают меньше кислорода при той же скорости бега, что и бегуны с плохим показателем. Исследования показывают, что экономичность бега имеет сильную взаимосвязь с производительностью бега на длинные дистанции, что является лучшим предиктором производительности, чем максимальное потребление кислорода (VO_2max) и коэффициент дыхательного обмена. Примером данного явления могут служить бегуны из Восточной Африки, доминирующие в беге на длинные дистанции, в том числе и за счет высокой экономичности бега [1-3].

Особенно важно формирование экономичной техники на этапе спортивной специализации, когда закладываются основы техники бега и формируются устойчивые биомеханические стереотипы. Исследования последних лет подтверждают необходимость детального изучения и разработки методических рекомендаций повышения экономичности бега у спортсменов, специализирующихся в беге на длинные дистанции [4].

Цель исследования: сравнительный анализ показателей экономичности бега у бегунов на длинные дистанции, занимающихся на различных этапах подготовки, и лиц, не занимающихся спортом.

Методы и организация исследования. Исследование проводилось на базе спортивной школы олимпийского резерва «Атлетика» города Казани. В исследовании приняли участие 6 бегунов в возрасте от 17 до 20 лет, специализирующихся в беге на дистанции 1 500-5 000 м, занимающихся на этапе спортивной специализации и имеющих I-III спортивные разряды. Педагогическое тестирование было направлено на определение показателей экономичности бега у бегунов на длинные дистанции на этапе спортивной специализации. Для этого использовались газоанализатор «MetaLyzer 3B-R2» и тредбан «HP Cosmos Quasar», что соответствует современным подходам к оценке функционального состояния стайеров. Тест включал 11-минутный протокол: первые 3 минуты – постепенное повышение скорости бега до 16 км/ч, затем поддержание данной скорости в течение 5 минут, после чего в течение 3 минут происходило постепенное снижение скорости до полной остановки. Перед тестированием спортивный врач проводил обследование, включавшее измерение артериального давления, частоты сердечных сокращений, оценку сатурации и регистрацию электрокардиограммы с целью контроля готовности испытуемых к нагрузке. Во время тестирования частота сердечных сокращений дополнительно регистрировалась с помощью нагрудного датчика Polar H10.

По данным газоанализа определялись частота дыхания, легочная вентиляция, объемы потребляемого кислорода и выделяемого углекислого газа. Экономичность бега (Crtot) вычислялась по формуле:

$$Crtot = Cr + 0{,}72 * V^2/MT + V^2/S,$$

где Cr – энергетическая стоимость бега со скоростью 16 км/ч над уровнем покоя и без учета сопротивления воздуха (Дж/кг/м на основе эквивалента: 20,9 Дж = 1 мл O_2) [5-7];

V – скорость, м/с;

MT – масса тела, кг;

S – расстояние, м.

Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием стандартной программы STATISTICA 6.0 и StatTech v. 4.10.3. Для проверки нормальности распределения данных использовался критерий Шапиро-Уилка, включавший вычисление средних значений и стандартных отклонений. Для сравнительного анализа применялись опубликованные данные об экономичности бега у лиц, не занимающихся спортом, а также у европейских и африканских квалифицированных бегунов на длинные дистанции.

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе анализа современных результатов исследований, посвященных бегу на длинные дистанции, были выделены факторы, влияющие на экономичность бега, и наиболее информативные показатели ее оценки. Физическую работоспособность для успешного преодоления марафонской дистанции можно повысить за счет активизации аэробных процессов энергетического обеспечения, т.е. за счет «экономии» гликолитического вклада энергопродукции, что

достигается тренировочной работой в больших объемах [8, 9].

Проведенное тестирование позволило сделать сравнительный анализ показателей экономичности бега бегунов на длинные дистанции, занимающихся на учебно-тренировочном этапе с бегунами на длинные дистанции на этапе высшего спортивного мастерства.

В результате проведенного исследования было установлено, что у бегунов на средние дистанции, занимающихся на учебно-тренировочном этапе, экономичность бега в среднем составляет 3,95±0,06 Дж/кг/м. При этом индивидуальные значения находились в узком диапазоне (σ=0,06), что отражает относительную однородность группы по уровню специальной выносливости и технической подготовленности.

Сопоставление с данными исследований показателя экономичности бега у квалифицированных спортсменов и людей, не занимающихся бегом, выявило, что самое лучшее значение определено у квалифицированных стайеров африканского происхождения (3,37±0,08 Дж/кг/м), в то время как у спортсменов той же квалификации европейского происхождения этот показатель в среднем равен 3,8±0,05 Дж/кг/м. У людей, не занимающихся спортом, экономичность бега составляет около 4,19±0,10 Дж/кг/м. Таким образом, экономичность бега у тестируемой группы на 5,9% выше, чем у нетренированных лиц, на 3,87% ниже, чем у европейских бегунов высокой квалификации, и на 15,85% ниже, чем у африканских стайеров.

Следовательно, у спортсменов, специализирующихся в беге на длинные дистанции, на учебно-тренировочном этапе показатели экономичности бега достаточно высокие по сравнению с лицами, не занимающимися спортом, что обусловлено регулярной тренировкой аэробной направленности, совершенствованием техники и адаптацией функциональных систем. Вместе с тем выявленное отставание от показателей бегунов на этапе высшего спортивного мастерства указывает на наличие значительных резервов дальнейшего повышения экономичности бега.

Ряд исследователей отмечают, что высокоэкономичные бегуны характеризуются благоприятным сочетанием биомеханических, морфологических и функциональных характеристик: оптимальными росто-весовыми показателями, рациональной техникой, высоким содержанием медленно сокращающихся мышечных волокон, развитой капилляризацией и мощной митохондриальной сетью. На учебно-тренировочном этапе (спортивной специализации) указанные компоненты продолжают активно формироваться, что позволяет рекомендовать дальнейшую работу над улучшением данного показателя как одного из основных факторов, влияющих на результат. Наиболее эффективными средствами большинство специалистов считают:

- бег по наклонной поверхности (продолжительность – не менее 2-х минут, интенсивность – 70-80% от максимальной, величина уклона – 7-10%);
- силовые упражнения, направленные на развитие силовой выносливости сгибателей-разгибателей бедра, с отягощениями 30-40% от повторного максимума;
- прыжковые упражнения – многоскоки, в том числе на наклонной поверхности, на отрезках до 150 м, интенсивность – около 70%;
- гипоксические тренировки в условиях среднегорья;
- упражнения по совершенствованию техники бега, по оптимизации длинны и частоты шагов.

Также важно проводить регулярный функциональный мониторинг с применением газоанализа и тестирования беговой экономичности. На этапе спортивной специализации особое значение приобретают задачи формирования устойчивых двигательных стереотипов, оптимизации длины и частоты шага, снижения вертикальных колебаний центра масс и сокращения избыточной мышечной активности.

Заключение. Проведенное исследование показало, что на учебно-тренировочном этапе (спортивной специализации) в беге на длинные дистанции сохраняется потенциал для роста спортивного результата за счет повышения показателей экономичности бега. Экономичность бега у исследуемой группы на 5,9% выше, чем у нетренированных лиц, на 3,87% ниже, чем у европейских стайеров, и на 15,85% ниже,

чем у африканских бегунов высокой квалификации, что отражает промежуточный характер функционального статуса спортсменов на этапе спортивной специализации. Оценка показателей экономичности бега на основе расчета потребления кислорода и расхода энергии позволит корректировать тренировочный процесс, используя методические приемы. Повышение показателей экономичности бега у спортсменов на этапе спортивной специализации должно включать комплексное воздействие на аэробную производительность, развитие силовых, скоростно-силовых и координационных способностей, совершенствование техники.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кряжев, В.Д. Экономичность бега: определение, оценка, элементы и структура, резервы повышения / В.Д. Кряжев, Е.В. Толстой, Н.Н. Маринина // Вестник спортивной науки. – 2020. – № 4. – С. 9-15.
2. Дэниелс, Дж. От 800 метров до марафона. Проверенные методы и программы подготовки для успеха в беге на выносливость / пер. с англ. Н. Беловой; под ред. И. Нечаева. – Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2019. – 304 с.
3. Трясов, В.Б. Сравнительный анализ в беге на марафонские дистанции в России и мире / В.Б. Трясов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2020. – № 5. – С. 438-442.
4. Соломахин, О.Б. Информированность тренеров о методах тренировок и тестирования в легкой атлетике / О.Б. Соломахин, А.И. Слепнева, Ф.А. Мавлиев // Наука и спорт: современные тенденции. – 2021. – Т. 9. – № 4. – С. 83-90. DOI: 10.36028/2308-8826-2021-9-4-83-90.
5. Каплан, С.Э. Мониторинг функционального состояния бегунов-марафонцев / С.Э. Каплан. – Ульяновск: Ульяновский государственный университет, 2017. – 312 с.
6. Ларин, С.В. Использование специализированных методов тестирования бегунов-марафонцев / С.В. Ларин. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2018. – 288 с.
7. Милодан, В.А. Возможности прогнозирования теста на максимальное потребление кислорода / В.А. Милодан // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2009. – № 1(74) – С. 73-75.
8. Волков, Н.И. Биоэнергетика спорта: монография / Н.И. Волков, В.И. Олейников. – Москва: Советский спорт, 2011. – 160 с.
9. Кашапов, Р.И. Особенности энергообеспечения мышечной деятельности в марафонском беге / Р.И. Кашапов, Р.Р. Кашапов // Наука и спорт: современные тенденции. – 2018. – Т. 21. – № 4. – С. 50-54.

REFERENCES

1. Kryazhev V.D., Tolstoy E.V., Marinina N.N. Running economy: definition, estimation, elements and structure, reserves of improving. *Sports Science Bulletin*, 2020, no. 4, pp. 9-15. (in Russ.)
2. Daniels J. Daniels' Running Formula: Proven programs: 800 m to the marathon. Belova N., transl. into Russian; Nechaev I. ed. Moscow: Mann, Ivanov and Ferber, 2019. 304 p. (in Russ.)
3. Tryasov V.B. Comparative analysis in running marathon distances in Russia and the world. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2020, no. 5, pp. 438-442. (in Russ.)
4. Solomakhin O.B., Slepneva A.I., Mavliev F.A. Awareness of coaches about training and testing methods in athletics. *Science and sport: current trends*, 2021, vol. 9, no. 4, pp. 83-90. DOI: 10.36028/2308-8826-2021-9-4-83-90. (in Russ.)
5. Kaplan S.E. Monitoring the functional status of marathon runners. Ulyanovsk: Ulyanovsk State University, 2017. 312 p. (in Russ.)
6. Larin S.V. Use of specialized testing methods for marathon runners. Kursk: Southwestern State University, 2018. 288 p. (in Russ.)
7. Milodan V.A. The possibilities of predicting the test for maximum oxygen consumption. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2009, no. 1(74), pp. 73-75. (in Russ.)
8. Volkov N.I., Oleinikov V.I. Bioenergetics of sports: a monograph. Moscow: Sovetsky sport, 2011. 160 p. (in Russ.)
9. Kashapov R.I., Kashapov R.R. Features of energy supply of muscle activity in marathon. *Science and sport: current trends*, 2018, vol. 21, no. 4, pp. 50-54. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Василий Дмитриевич Емельянов – доцент кафедры теории и методики легкой атлетики и гребных видов спорта им. Г.В. Цыганова, Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань, e-mail: emelianov68@list.ru.
Артем Игоревич Ларькин – студент кафедры теории и методики легкой атлетики и гребных видов спорта им. Г.В. Цыганова, Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань, e-mail: artlarkin05@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Vasily D. Emelyanov – Associate Professor of the Department of Theory and Methodology of Athletics and Rowing Sports named after G.V. Tsyganova, Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism. Kazan, e-mail: emelianov68@list.ru.
Artyom I. Larkin – Student of the Department of Theory and Methodology of Athletics and Rowing Sports named after G.V. Tsyganova, Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, e-mail: artlarkin05@mail.ru.

Для цитирования: Емельянов, В.Д. Экономичность бега у бегунов на длинные дистанции на этапе спортивной специализации / В.Д. Емельянов, А.И. Ларькин // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_34

For citation: Emelyanov V.D., Larkin A.I. Long-distance running efficiency at the sports specialization stage: laboratory evaluation and comparative analysis. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_34

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_35
УДК 796.015.686

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_35
UDC 796.015.686

ДИНАМИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ БАСКЕТБОЛИСТОК СТУДЕНЧЕСКОЙ КОМАНДЫ ПРИ БЛОКОВОЙ ПЕРИОДИЗАЦИИ В ГОДИЧНОМ ЦИКЛЕ ПОДГОТОВКИ

Ю.Н. Емельянова, Е.О. Степанов
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Казань, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Особенности организации физической подготовки в студенческом баскетболе создают методические трудности в планировании физической подготовки, поэтому оценка динамики функциональной подготовленности баскетболисток студенческой команды важна для эффективного планирования годичного цикла. ***Методы.*** В педагогическом эксперименте участвовали 15 спортсменок женского баскетбольного клуба «Крылатые барсы». Динамика функциональной подготовленности определялась с помощью биоимпедансного анализатора; прыжкового теста на тензоплатформе; 5-ти секундного Вингейт-теста в начале, в середине и в конце годичного цикла. ***Результаты.*** В экспериментальной группе зафиксирован статистически значимый прирост ($p<0,05$) по всем показателям. ***Заключение.*** Изучение динамики функциональной подготовленности баскетболисток показало эффективность блоковой периодизации физической подготовки в годичном цикле.
Ключевые слова: физическая подготовка, студенческий баскетбол, функциональная подготовленность.

DYNAMICS OF FUNCTIONAL FITNESS OF STUDENT BASKETBALL PLAYERS DURING BLOCK PERIODIZATION IN THE ANNUAL TRAINING CYCLE

Yu.N. Emelyanova, E.O. Stepanov
Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The peculiarities of the physical training organization in the student basketball creates methodological difficulties in planning physical training. The objective of the study is to assess the dynamics of the functional fitness of student basketball players during the block periodization of the annual cycle. ***Methods.*** The pedagogical experiment involved 15 athletes of the Winged Leopards basketball club. The dynamics of functional fitness were identified with a bioimpedance analyzer, a jumping test on a force plate, and a 5-second Wingate Test at the beginning, middle and end of the annual cycle. ***Results.*** In the experimental group, a statistically significant increase ($p<0.05$) was recorded for all the indicators. ***Conclusion.*** A study of the dynamics of the functional fitness of basketball players showed the effectiveness of block periodization of physical training in the annual cycle.
Keywords: physical fitness, college basketball, functional fitness.

Введение. Несмотря на то, что в нашей стране студенческий баскетбол еще не стал полноценной площадкой для перехода спортсмена от молодежного спорта к профессиональному, тренировочный и соревновательный процессы в нем подчиняются тем же принципам, что и у квалифицированных спортсменов. При этом студенческий спорт имеет свои особенности, связанные с учебной деятельностью, а также структурой чемпионата студенческой лиги. Соревнования в студенческой лиге Российских железных дорог (РЖД) проходят по туровой системе, где игры проводятся в течение 3-4 дней, перерывы между турами составляют 1-2 месяца.

Изучение данных современных исследований показало, что достижение максимально возможных результатов в соревновательной деятельности в баскетболе обусловлено высокой степенью функциональной подготовленности игроков [1]. Информация о комплексной оценке функционального состояния организма представляет собой многофакторную систему и должна осуществляться с учетом основных компонентов (двигательных, энергетических, психологических). В свою очередь

оценка динамики функциональной подготовленности спортсмена является важным компонентом планирования его подготовки.

Анализ специальной литературы показывает, что вопросы планирования физической подготовки у квалифицированных баскетболисток изучены преимущественно на уровне сборных команд или профессионального резерва [2-5]. Для студенческого баскетбола такие работы единичны, а тренировочный процесс часто носит хаотичный характер. Тренеры сталкиваются с дилеммой: подготовка к следующему туру или долгосрочное развитие игроков. Классическая периодизация В.Н. Платонова, ориентированная на длительный подготовительный период, не в полной мере соответствует специфике туровой системы студенческого баскетбола. Альтернативой выступает блочная периодизация, предполагающая концентрированное воздействие на ограниченное число двигательных способностей в коротких мезоциклах (2-4 недели) [6-9].

Однако для женских студенческих команд адаптированных моделей блоковой периодизации до настоящего времени не предложено. Этим обусловлена актуальность и определена цель исследования: оценка динамики функциональной подготовленности баскетболисток студенческой команды при блоковой периодизации физической подготовки в годичном цикле. Согласно результатам ряда исследований, функциональная подготовленность представляет собой комплексный показатель, отражающий процессы совершенствования определенных механизмов и функций систем организма. При этом функциональная подготовленность отражает потенциал спортсмена во всех видах подготовки [10].

Методы и организация исследования. Исследование проводилось на базе Поволжского государственного университета физической культуры, спорта и туризма. В педагогическом эксперименте приняли участие 15 баскетболисток женского баскетбольного клуба «Крылатые барсы». Средний возраст спортсменок – 20,5 лет. Для оценки функциональной подготовленности применялись следующие методы:

- определение компонентного состава тела с помощью биоимпедансного анализатора «АВС-01 Медасс» – определялись масса тела и массовая доля жировой и мышечной ткани;

- вертикальный прыжковый тест на тензоплатформе «TJ4002» (однократный и пятикратный прыжки с определением индекса реактивной силы (ИРС) в обоих тестах и индекса усталости в пятикратном прыжке (FI, %);

- 5-секундный Вингейт-тест PWC_{170} на ножном велоэргометре «Monark 894EPeakBike».

Тестирование проводилось утром, после стандартной разминки. Вначале проводилась оценка компонентного состава тела. Далее выполнялся 5-секундный Вингейт-тест. Вес сопротивления составлял 7% от веса спортсменки и подбирался индивидуально. Выполнение теста заключается в педалировании велоэргометра с максимальной скоростью в течение 5-ти секунд после достижения 100 оборотов в минуту. Для оценки ИРС и FI использовалось тестирование на тензометрической платформе, которое заключалось в выполнении прыжка вверх толчком двумя ногами. Сначала выполнялся однократный прыжок с максимальным выпрыгиванием, после – пятикратный прыжок [11].

Программа комплексного контроля функциональной подготовленности баскетболисток студенческой команды в годичном цикле включала в себя 5 исследований: в начале и в конце подготовительного периода, и три раза по окончании каждого из туров Студенческой лиги РЖД. Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием стандартной программы STATISTICA 6.0 и StatTech v. 4.10.3. Для проверки нормальности распределения данных использовался критерий Шапиро-Уилка, t-критерий Стьюдента для связанных выборок. Уровень значимости достоверности различий при $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате разработки методики блоковой периодизации с учетом календаря чемпионата Ассоциации студенческого баскетбола были выделены три типа мезоцикловых блоков:

- накопительный (продолжительность 3-1-2-1, т.е. 5 тренировочных дней, 2 дня отдыха) включал упражнения для развития координационных способностей и гибкости, силы и силовых способностей, общей выносливости, выполняемых в режиме умеренной и большой мощности (частота сердечных сокращений (ЧСС) 140-160 уд/мин);
- трансформирующий (структура 5-2) включал упражнения для развития скоростно-силовых способностей и специальной выносливости, выполняемые контрастным методом в режиме субмаксимальной интенсивности 80-90% (ЧСС 160-180 уд/мин);
- реализационный (соревновательные дни) включал упражнения для развития скоростных, скоростно-силовых способностей, выполняемых в основном игровым методом в режиме максимальной субмаксимальной мощности (ЧСС 160-180 уд/мин).

Блоки следуют последовательно: накопительный → трансформирующий → реализационный, что обеспечивает кумуляцию тренировочного эффекта и выход на пик формы к соревновательным турам (рис. 1).

Результаты оценки функциональной подготовленности баскетболисток показаны как различные показатели в годичном цикле при блочной периодизации физической подготовки. На рисунке 2 представлена динамика изменений в показателях биоимпедансометрии.

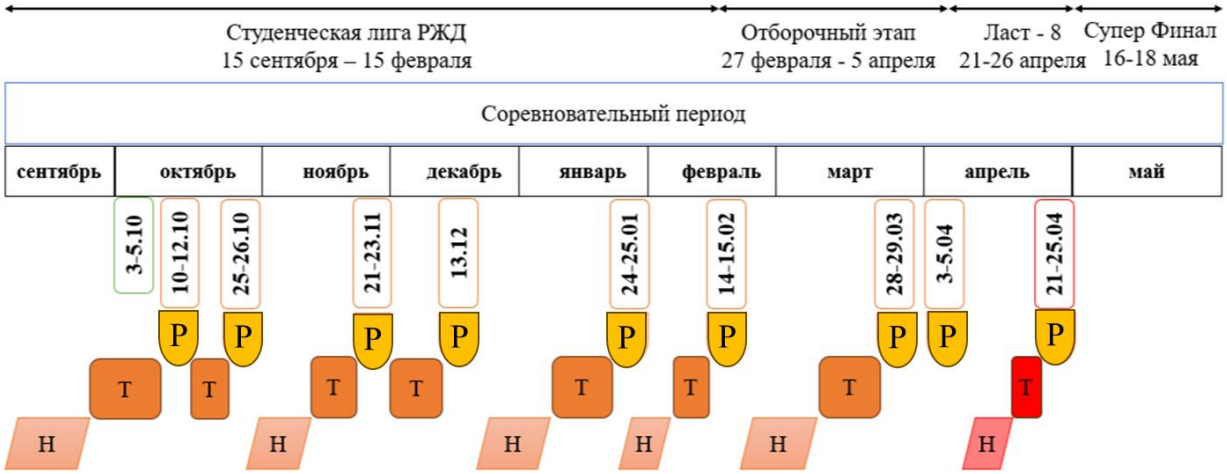


Рис. 1. Структура планирования физической подготовки баскетболисток студенческой команды «Крылатые Барсы» на сезон 2025/2026 на основе блоковой периодизации

Примечание: РЖД – Российские железные дороги; Н – накопительный блок; Т – трансформирующий блок; Р – реализационный блок.

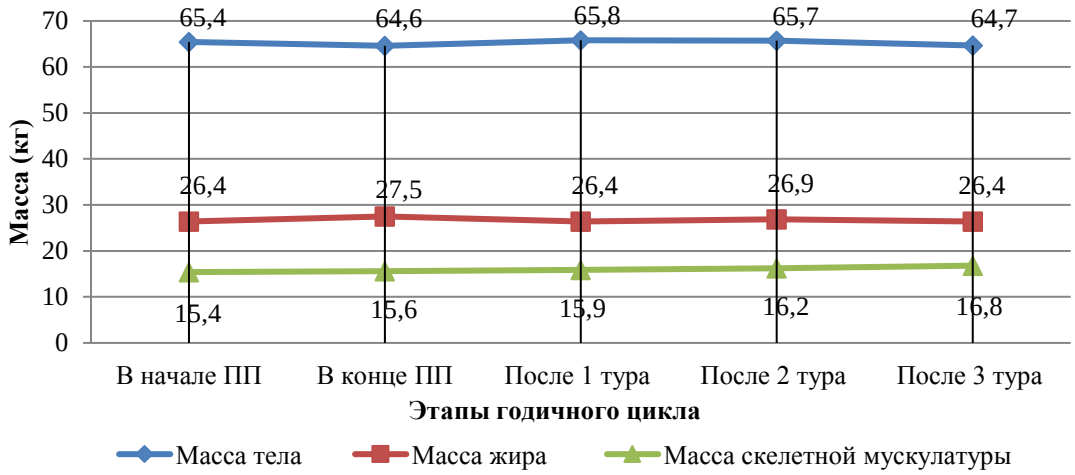


Рис. 2. Изменение показателей биоимпедансного анализа состава тела баскетболисток студенческой команды в годичном цикле

Примечание: ПП – подготовительный период.

Показатели биоимпедансного анализа состава тела в среднем по группе имеют тенденцию к незначительному увеличению общей массы тела в течение года при снижении в конце подготовительного периода на 1,2% и на 1% относительно начала года в конце сезона. После первого и второго туров общая масса несколько увеличивается. Можно отметить, что снижение общей массы тела происходит за счет уменьшения массы жира в теле к концу подготовительного периода на 6,7%, к концу 1-го тура на 10,5% и на 8,8% к концу 2-го тура относительно начала подготовительного. Также отмечен рост скелетной мускулатуры баскетболисток к концу подготовительного периода на 1,3%, в соревновательном периоде после 3-го тура на 5,3% относительно 1-го тура и на 18,5% относительно начала подготовительного периода. В целом результаты отражают тенденцию к постепенному набору мышечной массы тела в течение года.

Также было проведено тестирование при помощи тензометрической платформы с применением следующих тестов: «Прыжок вверх с места», «Серия из 5 прыжков» по показателям ИРС (рис. 3).

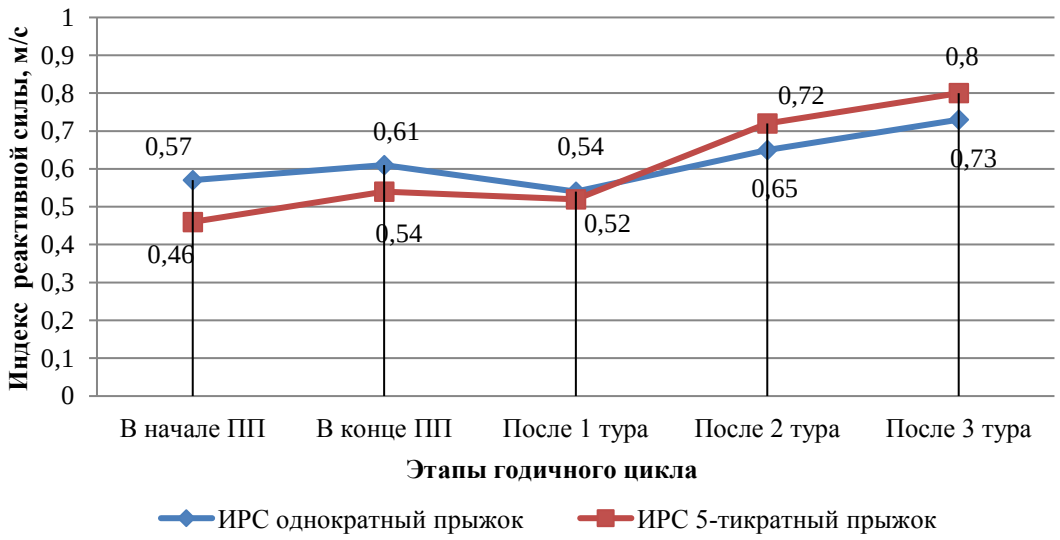


Рис. 3. Изменение показателей ИРС баскетболисток студенческой команды в годичном цикле
Примечание: ПП – подготовительный период; ИРС – индекс реактивной силы.

Анализ показателей вертикального ИРС в однократном прыжке вверх показал, что после 1 тура происходит снижение относительно начала подготовительного периода на 10%, однако далее происходит увеличение показателя на 12,3% после 2 тура и на 10,1% после 3 тура. К концу соревновательного периода показатель ИРС вырос на 22%. В 5-кратном прыжке показатель увеличился на 14,8% к концу подготовительного периода, далее ИРС показал тенденцию к снижению на 3,7% после 1 тура относительно конца подготовительного периода. После 3 тура повышение показателя ИРС составило более 42% относительно начала подготовительного периода. Стоит отметить, что значения данного показателя у баскетболисток женского баскетбольного клуба «Крылатые барсы» находятся в диапазоне от 0,75 до 0,85 м/с, что соответствует низкому уровню для спортсменок данного возраста.

Также был проведен анализ динамики FI в тесте на тензометрической платформе и в Вингейт-тесте. FI в тесте на тензометрической платформе показывает, как снижается мощность вертикального прыжка в 5-кратном прыжковом тесте. Анализ FI в тесте на тензометрической платформе показал, что к концу подготовительного периода скоростно-силовая выносливость повышается на 8% и еще на 3% к концу первого тура, далее показатели скоростно-силовой выносливости ухудшаются и после 3 тура этот показатель хуже, чем в начале подготовительного периода на 2%. Очевидно, что в соревновательном

периоде утомление нарастает, влияя на снижение работоспособности мышц, проявляющееся в изменении силовых, скоростных или равновесных характеристик движений.

Анализ изменения результатов Вингейт-теста выявил в показателях пиковой (PP, Ватт) и относительной мощности (AP, Ватт на килограмм) рост к концу первого тура на 8 и 6% соответственно, а также снижение до исходных показателей после 3 тура. FI в Вингейт-тесте показывает снижение мощности анаэробных процессов. В ходе исследования было установлено, что данный показатель в начале подготовительного периода составляет 11,2% и после первого тура снижается до 10,4%, а к концу соревновательного периода снова увеличивается и после 3 тура составляет 11,6%. Изменение значений FI свидетельствует о способности спортсменок поддерживать высокую мощность работы нижних конечностей в движениях высокой интенсивности, но в течение непродолжительного времени. Косвенно данный показатель служит оценкой функционального состояния при нагрузках высокой интенсивности и характеризует хорошую устойчивость испытуемых к утомлению.

Для определения достоверности различий между показателями функциональной подготовленности баскетболисток студенческой команды в течение годичного цикла сравнивались показатели тестирования на тензометрической платформе в начале и конце исследования (табл. 1).

Таблица 1

Результаты изменения показателей функциональной подготовленности баскетболисток студенческой команды на тензометрической платформе за период эксперимента, M±m

Тест	Показатель	Начало	Конец	tp	P<	Прирост
Прыжок вверх с места со взмахом руками	Высота прыжка, см	30,0±0,29	33,0±0,25	2,8	0,05	+9,1%
	Время опоры, с	0,52±0,01	0,45±0,01	2,3	0,05	-13,5%
	Время полета, с	0,54±0,01	0,50±0,01	2,2	0,05	+7,4%
	ИРС	0,57±0,01	0,73±0,01	4,8	0,05	+21,9%
Серия из пяти прыжков	Высота прыжка, см	26,50±0,2	28,25±0,1	2,4	0,05	+6,6%
	Время опоры, с	0,57±0,02	0,49±0,02	2,2	0,05	-14,1%
	Время полета, с	0,58±0,01	0,61±0,02	2,2	0,05	+4,9%
	ИРС	0,46±0,02	0,80±0,01	5,0	0,05	+42,5%

Примечание: ИРС – индекс реактивной силы; tp – расчетное значение критерия Стьюдента; критическое значение критерия Стьюдента для связанных совокупностей = 2,145; p – уровень значимости при 0,05.

Как видно из таблицы 1, у испытуемых экспериментальной группы произошли значительные изменения в показателях функциональной подготовленности при прыжках на тензометрической платформе: увеличилась высота однократного прыжка в среднем по группе на 3 см ($p<0,05$), показатель времени опоры снизился на 0,07 мс в среднем по группе ($p<0,05$). В то же время увеличился показатель времени полета на 0,03 мс ($p<0,05$), а ИРС – на 0,13 ($p<0,05$).

В тесте «Серия из 5 прыжков»: средняя высота прыжка в серии увеличилась на 1,75 см ($p<0,05$), время опоры уменьшилось на 0,08 мс ($p<0,05$), время полета увеличилось на 0,03 мс ($p<0,05$), а ИРС – на 0,17 ($p<0,05$).

В таблице 2 представлены результаты сравнительного анализа показателей функциональной подготовленности баскетболисток в начале и в конце исследования.

Как видно из таблицы 2, за период эксперимента у испытуемых произошли значительные изменения в показателях функциональной подготовленности, характеризующиеся адаптивными реакциями к скоростно-силовой нагрузке, выросли показатели: «Пиковая мощность» – на 2,67 Вт/кг ($p<0,05$); «Падение мощности» – на 200 Вт/кг ($p<0,05$); «Мощность на максимальной скорости» – на 45,45 Вт ($p<0,05$). Показатель «Время на максимальной мощности» уменьшился на 134,33 мс ($p<0,05$).

Таблица 2

Результаты изменения показателей функциональной подготовленности баскетболисток студенческой команды в Вингейт-тесте за период эксперимента, M±m

Показатель	Начало	Конец	tp	P<	Прирост
Пиковая мощность, Вт/кг	9,03±0,89	11,7±0,49	2,2	0,05	+29,5%
Падение мощности, Вт/кг	2050,6±817,	2250,0±418	2,3	0,05	+9%
Мощность на макс. скорости, Вт	666,55±12,25	712,00±1,25	2,5	0,05	+6,8%
Время макс. мощности, мс	2481,33±174,1	2347,00±17,3	2,3	0,05	-5,5%

Примечание: tp – расчетное значение критерия Стьюдента, критическое значение критерия Стьюдента = 2,145; p – уровень значимости при 0,05.

Таким образом, во всех результатах тестирования функциональной подготовленности наблюдаются положительные статистически значимые улучшения в показателях.

Заключение. Подводя итог проведенного исследования, нами был сделан ряд выводов: функциональная подготовленность баскетболисток студенческой команды подвержена выраженной динамике в течение годичного цикла, при этом изменения состава тела спортсменок зависит от периода годичного цикла, интенсивности тренировочной и соревновательной нагрузок, отмечается снижение жировой и рост мышечной массы как положительный эффект тренировочного процесса, организованного на основе блочной периодизации. Под влиянием соревновательной нагрузки происходит кратковременное увеличение показателей скоростно-силовых способностей, выражающееся в повышении мощности, но без долгосрочного прогресса. Оптимизация структуры тренировочного и соревновательного периодов планирования физической подготовки на основе блочной периодизации с последовательным применением накопительного, трансформирующего и реализационного мезоциклов более адекватна для поддержания спортивной формы в условиях длительных соревновательных периодов и неравномерных межтуровых интервалов. Динамика функциональной подготовленности отражает эффективность блоковой периодизации, что привело к статистически значимому улучшению всех показателей ($p<0,05$).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елевич, С.Н. Особенности макроциклов в подготовке команд высокой квалификации по баскетболу / С.Н. Елевич // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2007. – № 2(24). – С. 13-20.
2. Андрианова, Р.И. Содержание нагрузок на этапе непосредственной предсоревновательной подготовки баскетболисток 19-20 лет / Р.И. Андрианова, М.В. Леньшина, Г.Н. Германов // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 11. – С. 58.
3. Данилова, Е.М. Женский баскетбол и особенности проведения специальных упражнений для девушек-баскетболисток / Е.М. Данилова, И.Р. Суханова, А.В. Ведринцев // Вестник науки. – 2024. – № 5(74).
4. Комерческая, С.П. Особенности функционирования женской команды по баскетболу в спортивном клубе вуза / С.П. Комерческая, С.С. Иванова, А.В. Стафеева // Проблемы современного педагогического образования. – 2024. – № 84-2. – С. 87-89.
5. Значение показателей биомеханических характеристик движений, способствующих эффективному развитию скоростно-силовых способностей в системе подготовки баскетболисток / А.Г. Родионова, И.А. Батракова, В.В. Поллачек, С.Ю. Власенко // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2025. – № 4(242). – С. 137-146.
6. Германов, Г.Н. Технология блочно-модульного построения физкультурных занятий баскетболистов-студентов основного учебного отделения на основе двигательных заданий / Г.Н. Германов, В.Г. Никитушкин, Д.И. Войтович // Культура физическая и здоровье. – 2015. – Т. 53. – № 2. – С. 70-75.
7. Исаев, Ю.Н. Ретроспективный анализ возникновения многоцелевой блоковой модели периодизации в планировании спортивной подготовки / Ю.Н. Исаев // Автономия личности. – 2020. – № 1(21). – С. 134-140.

8. Иссурин, В.Б. Результаты исследований и практические рекомендации по построению тренировки спортсменов на основе блоковой периодизации / В.Б. Иссурин, В.И. Лях, С.П. Левушкин // Вестник спортивной науки. – 2023. – № 2. – С. 15-22.
9. Взаимосвязь факторов морфо-функционального статуса организма с уровнем физической работоспособности пловцов разной квалификации / И.Н. Солопов, И.В. Суслина, А.И. Солопов, В.Б. Авдиенко // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_03_40.
10. Чернова, Т.С. Показатели функциональной подготовленности в обеспечении физической работоспособности спортсменок разной квалификации / Т.С. Чернова, Г.Д. Алексанянц // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2017. – № 1. – С. 71-80.
11. Емельянова, Ю.Н. Контроль функциональной и физической подготовленности баскетболисток студенческой команды / Ю.Н. Емельянова, Е.О. Степанов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2025. – № 8(246). – С. 102-109. DOI: 10.5930/1994-4683-2025-102-109.

REFERENCES

1. Elevich S.N. Features of macrocycles in the training of elite basketball teams. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2007, no. 2(24), pp. 13-20. (in Russ.)
2. Andrianova R.I., Len'shina M.V., Germanov G.N. Pre-season loads for female basketball players aged 19-20 years movement in higher education. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2015, no. 11, p. 58. (in Russ.)
3. Danilova E.M., Sukhanova I.R., Vedrintsev A.V. Women's basketball and features of special exercises for female basketball players. *Vestnik nauki*, 2024, no. 5(74), pp. 1900-1905. (in Russ.)
4. Komercheskaya S.P., Ivanova S.S., Stafeeva A.V. Features of the functioning of the women's basketball team in the university sports club. *Problems of Modern Pedagogical Education*, 2024, no. 84-2, pp. 87-89. (in Russ.)
5. Rodionova A.G., Batrakova I.A., Pollachek V.V., Vlasenko S.Yu. The significance of the indicators of biomechanical characteristics of movements that contribute to the effective development of speed-strength abilities in the training system of female basketball players. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2025, no. 4(242), pp. 137-146. (in Russ.)
6. Germanov G.N., Nikitushkin V.G., Voitovich D.I. Technology of block and modular construction sports occupations of basketball players students the main educational office on the basis motive tasks. *Physical Culture and Health*, 2015, vol. 53, no. 2, pp. 70-75. (in Russ.)
7. Isaev Yu.N. Retrospective analysis of the origin of the multipurpose block periodization model in planning of sports training. *The autonomy of personality*, 2020, no. 1(21), pp. 134-140. (in Russ.)
8. Issurin V.B., Lyakh V.I., Lyovushkin S.P. Research results and practical recommendations on the construction of athletes' training based on block periodization. *Sports science bulletin*, 2023, no. 2, pp. 15-22. (in Russ.)
9. Solopov I.N., Suslina I.V., Solopov A.I., Avdienko V.B. Interrelation of morphofunctional state factors with the level of physical working capacity in swimmers of different qualification. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_03_40. (in Russ.)
10. Chernova T.S., Aleksanyants G.D. Indicators of functional fitness in ensuring physical performance of athletes of different qualifications. *Physical Culture, Sport – Science and Practice*, 2017, no. 1, pp. 71-80. (in Russ.)
11. Emelyanova Yu.N., Stepanov E.O. Monitoring functional and physical fitness of female basketball players of the university team. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2025, no. 8(246), pp. 102-109. DOI: 10.5930/1994-4683-2025-102-109. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Юлия Николаевна Емельянова – кандидат педагогических наук, доцент, Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань, e-mail: emelianova2003@list.ru.
Ефим Олегович Степанов – магистрант, Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань, e-mail: efim.stepanov2018@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Yulia N. Emelyanova – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, e-mail: emelianova2003@list.ru.
Efim O. Stepanov – Master's student, Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, e-mail: efim.stepanov2018@yandex.ru.

Для цитирования: Емельянова, Ю.Н. Динамика функциональной подготовленности баскетболисток студенческой команды при блоковой периодизации в годичном цикле подготовки / Ю.Н. Емельянова, Е.О. Степанов // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_35

For citation: Emelyanova Yu.N., Stepanov E.O. Dynamics of functional fitness of student basketball players during block periodization in the annual training cycle. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_35

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_36
УДК 796.83

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_36
UDC 796.83

ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ БОКСЕРОВ 13-14 ЛЕТ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

М.В. Жуков[1], В.В. Козин[2]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург, Россия

[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Для боксеров 13-14 лет содержание и технология индивидуализации, опирающейся на анализ соревновательной деятельности, разработаны недостаточно. Цель исследования – разработка и экспериментальная проверка содержания и технологии индивидуализации тактико-технической подготовки боксеров 13-14 лет. ***Методы.*** Анкетирование 39 боксеров высокой квалификации, видеоанализ 54 поединков, экспертная оценка, тестирование, педагогический эксперимент (n=32). ***Результаты.*** Типизированы девять минимальных ситуаций поединка, обоснованы критерии индивидуализации, индивидуальный профиль и пятиуровневая шкала освоения действий; разработана трехкомпонентная технология. В экспериментальной группе результативность атакующих действий возросла на 31,8%, эффективность контратакующих – на 40,4%, вариативность решений – на 64,5% (d=1,32-1,65). ***Заключение.*** Технология достоверно повышает тактико-техническую подготовленность боксеров 13-14 лет.

Ключевые слова: бокс, боксеры 13-14 лет, индивидуализация, тактико-технические действия, соревновательная деятельность, минимальные ситуации, ситуационный подход.

INDIVIDUALIZATION OF TACTICAL AND TECHNICAL TRAINING OF 13-14-YEAR-OLD BOXERS BASED ON COMPETITIVE ACTIVITY ANALYSIS

M.V. Zhukov[1], V.V. Kozin[2]

[1]Baltic State Technical University “VOENMEKH” named after D.F. Ustinov, Saint Petersburg, Russia

[2]Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, Saint Petersburg, Russia

Abstract. ***Introduction.*** For 13-14-year-old boxers, the content and technology of individualization based on competitive activity analysis remain insufficiently developed. The aim of the study was to develop and experimentally verify the content and technology of individualization of tactical and technical training of 13-14-year-old boxers. ***Methods.*** A survey of 39 elite boxers, video analysis of 54 bouts, expert evaluation, testing, and a pedagogical experiment (n=32). ***Results.*** Nine typical minimal situations of a bout were classified; criteria of individualization, an individual profile, and a five-level scale of action mastery were substantiated; a three-component technology was also developed. In the experimental group, the effectiveness of attacking actions increased by 31.8%, counterattacking actions – by 40.4%, the variability of decisions – by 64.5% (d=1.32-1.65). ***Conclusion.*** The technology significantly improves the tactical and technical fitness of 13-14-year-old boxers.

Keywords: boxing, 13-14-year-old boxers, individualization, tactical and technical actions, competitive activity, minimal situations, situational approach.

Введение. Поединок в боксе складывается из коротких эпизодов, в каждом из которых спортсмен принимает решение при дефиците времени и активном противодействии соперника [1, 2]. Исход эпизода определяет не объем освоенного технического арсенала, а точность распознавания условий и своевременность выбора действия, то есть перцептивно-когнитивные умения боксера [3]. Возраст 13-14 лет благоприятен для формирования индивидуального стиля деятельности [4, 5]: именно на учебно-тренировочном этапе закладываются предпочтения по дистанции,

темпу и характеру инициативы, которые позднее перестраиваются с трудом.

Сложившаяся практика подготовки юных боксеров ориентирована на усредненные программные требования: группа осваивает единый набор приемов, а индивидуальные различия учитываются эпизодически, на уровне тренерской интуиции. Работы по индивидуализации в боксе и кикбоксинге выполнены главным образом на материале этапов совершенствования спортивного мастерства [6]. Обозначилось противоречие между потребностью практики в индивидуализации тактико-технической подготовки юных боксеров и отсутствием научно обоснованных содержания и технологии для возраста 13-14 лет. Методологической опорой для его разрешения выступают ситуационный подход к тактико-технической подготовке спортивного резерва [7] и опыт ситуационного анализа соревновательной деятельности в игровых видах спорта и единоборствах [8].

Цель исследования – разработать содержание и технологию индивидуализации тактико-технической подготовки боксеров 13-14 лет на основе анализа соревновательной деятельности и экспериментально проверить их эффективность.

Методы и организация исследования. Исследование выполнено в 2023-2026 гг. на базе Спортивной федерации бокса Санкт-Петербурга и Санкт-Петербургского государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения «Олимпийские надежды». Применялись анализ литературы, анкетирование, видеоанализ соревновательной деятельности, экспертная оценка, педагогическое тестирование, педагогический эксперимент и математико-статистические методы. Средства контроля подготовленности юных боксеров обоснованы нами ранее [9, 10].

Респондентами анкетирования выступили 39 боксеров высокой квалификации – от Олимпийских чемпионов до мастеров спорта международного класса; их соревновательный опыт рассматривался как эталонная модель для построения критериев индивидуализации. Видеоанализу подвергнуты 54 поединка мирового уровня – от финалов Олимпийских игр до титульных боев профессионального бокса. Единицей анализа служила минимальная ситуация – элементарный эпизод поединка, обладающий временной и смысловой завершенностью. Разметку каждого поединка независимо выполняли два специалиста; экспертная комиссия – 18 специалистов со стажем работы с боксерами учебно-тренировочного этапа не менее восьми лет, согласованность мнений контролировалась коэффициентом конкордации Кендалла.

В педагогическом эксперименте участвовали 32 боксера 13-14 лет не ниже второго юношеского разряда; случайным отбором сформированы экспериментальная (ЭГ, n=16) и контрольная (КГ, n=16) группы, исходные различия между ними статистически недостоверны ($p>0,05$). Формирующая фаза продолжалась девять месяцев (август 2025 г. – апрель 2026 г.). КГ тренировалась по типовой программе учебно-тренировочного этапа; в ЭГ реализована разработанная технология индивидуализации при равных объеме и интенсивности нагрузки по федеральному стандарту спортивной подготовки. Достоверность различий оценивалась по t-критерию Стьюдента ($p<0,05$), практическая значимость изменений – по величине эффекта Дж. Коэна (d).

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ соревновательной деятельности выполнялся по пятикомпонентной модели: оперативное пространство поединка – минимальная ситуация – действие – значимая информация – результат. В оперативном пространстве выделены три дистанции взаимодействия с характерными наборами решений – от одиночных прямых ударов и встречных контратак на дальней до ударов снизу и сбоку, клинча и защитно-маневренных перемещений на ближней. На пересечении характера тактической инициативы (атакующая, контратакующая, защитно-маневренная) и дистанции типизированы девять минимальных ситуаций поединка. Для каждой существует ограниченный набор устойчивых решений – как правило, от трех до пяти – внутри которого боксеры высокой квалификации демонстрируют выраженные индивидуальные предпочтения.

По анкетам спортсменов упорядочен перечень опорных сигналов принятия решения: положение рук соперника,

перенос веса тела, направление взгляда, изменение дистанции, признаки утомления, микродвижения подготовки удара. Перечень образует индивидуально-вариативное поле восприятия, что само по себе подтверждает необходимость индивидуализации.

На этой основе сформулированы четыре группы критериев индивидуализации: уровень освоения базовых действий; ведущие способы решения типовых минимальных ситуаций; индивидуальные особенности оперативного пространства боя; индивидуальный профиль значимой информации. Обобщение критериев дает восьмиблочный индивидуальный профиль тактико-технических действий – педагогическую единицу планирования и контроля, ориентированную не на сравнение с нормативом, а на сопоставление спортсмена с самим собой в динамике подготовки.

Контроль строился на пятиуровневой возрастно-дифференцированной шкале освоения действий: ненадежный (результативность менее 30%), ситуационный (30-50%), стабильный (50-70%), адаптивный (70-85%) и функциональный (выше 85%). Отнесение боксера к уровню выполняется комплексно – по количественному ориентиру и экспертной оценке качества выполнения.

Технология объединила три компонента в замкнутый цикл. Аналитический компонент – предварительный, текущий и заключительный анализ соревновательной деятельности с формированием индивидуального профиля; средства регистрации при этом не подменяют тренерскую интерпретацию данных, а требуют ее [11]. Методический компонент – ситуационные упражнения на типовых минимальных ситуациях, организованные по четырехфазной структуре ситуационного восприятия: восприятие информации, ее фильтрация, ориентация в оперативном пространстве, выбор и реализация действия. Мы исходили из того, что обучение действиям должно происходить сопряженно со структурой ситуаций, которые возникают в процессе соревнований, а сами ситуации с учетом возрастных особенностей должны быть минимизированы, так как спортсмены в основном полагаются на ситуативность представлений об окружающих условиях [12]. Последовательность операций внутри упражнения задавалась алгоритмическими предписаниями [13]. В тренировочных занятиях упражнения формировались с учетом индивидуальных особенностей каждого спортсмена: постепенно повышались интенсивность, время и повторение каждого упражнения, при этом уменьшалось время отдыха между упражнениями [12]. Повышение сложности ситуаций от минимальных к типовым в тренировочном процессе юных спортсменов требует формирования умения систематизировать соревновательные ситуации и сопоставлять их в процессе качественного анализа, что повышает эффективность обучения двигательным действиям [12]. Контрольно-оценочный компонент замыкает цикл: диагностика по пятиуровневой шкале, сопоставление достигнутого уровня с целевым в профиле, коррекционное задание, повторная диагностика. Обратная связь «тренер-спортсмен» велась по циклу из шести шагов – от видеофиксации до повторной съемки с занесением результата в профиль [15]; наглядная реконструкция эпизодов помогает боксеру визуализировать собственные действия и участвовать в их коррекции [16].

Результаты педагогического тестирования технической и тактической подготовленности представлены в таблице 1.

В ЭГ достоверно улучшились все показатели ($p<0,05$); наибольшие приросты получены по тактическим характеристикам – вариативности (60,7%) и рациональности выбора решений (43,9%) против 17,2% и 13,8% в КГ.

Динамика показателей соревновательной деятельности и экспертной оценки в условиях официальных соревнований приведена в таблице 2.

В условиях официальных соревнований приросты ЭГ по всем показателям заметно превышают приросты КГ, межгрупповые различия достоверны в пользу ЭГ ($p<0,05$), а величины эффекта $d=1,32$-$1,65$ соответствуют большому эффекту и подтверждают практическую значимость изменений.

Качественная оценка выполнена по распределению боксеров по уровням освоения действий (табл. 3).

Таблица 1

Показатели технической и тактической подготовленности боксеров 13-14 лет по результатам педагогического тестирования, M±σ

Показатель	ЭГ, до	ЭГ, после	Δ, %	КГ, до	КГ, после	Δ, %	d
Экспертная оценка техники ударов, балл	3,15±0,60	4,10±0,60	30,2	3,25±0,60	3,60±0,62	10,8	1,58
Точность защитных действий (из 20 предъявлений), количество	11,2±3,1	15,8±3,2	41,1	11,4±3,0	12,9±3,1	13,2	1,46
Скорость реакции выбора, с	0,54±0,07	0,44±0,07	-18,5	0,53±0,07	0,50±0,07	-5,7	-1,43
Вариативность решений, количество вариантов	2,8±1,2	4,5±1,2	60,7	2,9±1,1	3,4±1,2	17,2	1,42
Рациональность выбора решения (из 10 заданий), количество	5,7±1,8	8,2±1,8	43,9	5,8±1,7	6,6±1,8	13,8	1,39

Примечание: ЭГ – экспериментальная группа; КГ – контрольная группа; M – среднее арифметическое значение; σ – стандартное отклонение; Δ – относительный прирост показателя; d – величина эффекта Дж. Коэна.

Таблица 2

Показатели соревновательной деятельности и экспертной оценки тактико-технических действий боксеров 13-14 лет, M±σ

Показатель	ЭГ, до	ЭГ, после	Δ, %	КГ, до	КГ, после	Δ, %	d
Результативность атакующих действий, %	34,6±7,3	45,6±7,5	31,8	35,0±7,1	38,4±7,3	9,7	1,49
Эффективность контратакующих действий, %	30,2±7,8	42,4±8,0	40,4	30,6±7,6	34,0±7,8	11,1	1,54
Вариативность решений в поединке, количество вариантов	3,1±1,4	5,1±1,4	64,5	3,2±1,3	3,9±1,4	21,9	1,43
Рациональность выбора решений, %	56,4±9,8	71,4±10,0	26,6	57,0±9,6	61,4±9,8	7,7	1,52
Оперативность принятия решения, с	0,62±0,09	0,49±0,09	-21,0	0,61±0,09	0,57±0,09	-6,6	-1,44
Рациональность действий (экспертная оценка), баллы	3,20±0,68	4,15±0,68	29,7	3,30±0,66	3,65±0,68	10,6	1,40
Надежность реализации действий (экспертная оценка), баллы	3,10±0,60	4,05±0,60	30,6	3,20±0,60	3,55±0,62	10,9	1,58

Примечание: ЭГ – экспериментальная группа; КГ – контрольная группа; M – среднее арифметическое значение; σ – стандартное отклонение; Δ – относительный прирост показателя; d – величина эффекта Дж. Коэна

Таблица 3

Распределение боксеров экспериментальной и контрольной групп по уровням освоения тактико-технических действий, кол-во человек

Уровень освоения действий	ЭГ, до	ЭГ, после	КГ, до	КГ, после
Ненадежный	5	0	5	3
Ситуационный	7	2	7	6
Стабильный	3	5	3	5
Адаптивный	1	6	1	2
Функциональный	0	3	0	0

Примечание: ЭГ – экспериментальная группа; КГ – контрольная группа.

К завершению эксперимента 14 из 16 боксеров ЭГ достигли стабильного, адаптивного и функционального уровней; в КГ большинство осталось на ситуационном и стабильном уровнях, функционального не достиг никто. Технология дала не только количественный прирост, но и качественный переход на более высокие уровни освоения действий.

Опережающая динамика когнитивно-тактических показателей указывает на направленное воздействие технологии на процессы восприятия и принятия решения, что отвечает природе бокса как ситуационного вида спорта, где действие рождается из распознавания условий эпизода [14]. Освоение действий по фазам ситуационного восприятия обеспечило перенос умений в соревновательный поединок, а расширение вариативности навыка выступило условием формирования индивидуального стиля [4, 15, 17]: модель повышения вариативности с учетом оперативного пространства [17] получила здесь возрастную конкретизацию. Подростки чувствительны к оценке тренера, поэтому обратная связь включала разбор не только ошибок, но и удачных решений, что согласуется с практикой психологического сопровождения спортивного резерва [18].

Заключение. Разработаны и экспериментально проверены содержание и технология индивидуализации тактико-технической подготовки боксеров 13-14 лет, опирающиеся на анализ соревновательной деятельности. Содержание индивидуализации образуют пятикомпонентная модель анализа, девять типовых минимальных ситуаций, четыре критерия индивидуализации, восьмиблочный индивидуальный профиль и пятиуровневая шкала освоения действий. Технология объединяет аналитический, методический и контрольно-оценочный компоненты в замкнутый цикл «анализ – профиль – ситуационные упражнения – контроль и коррекция».

Педагогический эксперимент подтвердил эффективность разработки: ЭГ достоверно превзошла КГ по всем показателям технической и тактической подготовленности ($p<0,05$) при больших величинах эффекта ($d=1,32-1,65$), а 14 из 16 ее боксеров перешли на стабильный, адаптивный и функциональный уровни освоения действий. Результаты применимы в работе тренеров спортивных школ и федераций, в повышении квалификации тренеров по боксу и в вузах физической культуры.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Performance aspects and physiological responses in male amateur boxing competitions: a brief review / M. Slimani, H. Chaabène, P. Davis [et al.] // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2017. – Vol. 31. – No. 4. – P. 1132-1141.
2. El-Ashker, S. Technical and tactical aspects that differentiate winning and losing performances in boxing / S. El-Ashker // International Journal of Performance Analysis in Sport. – 2011. – Vol. 11. – No. 2. – P. 356-364.
3. Russo, G. The perceptual-cognitive skills of combat sports athletes: a systematic review / G. Russo, G. Ottoboni // Psychology of Sport and Exercise. – 2019. – No. 44. – P. 60-78.
4. Калмыков, Е.В. Индивидуальный стиль деятельности в спортивных единоборствах : автореферат дис. … д-ра пед. наук : 13.00.04 / Евгений Викторович Калмыков. – Москва, 1996. – 48 с.
5. Колесник, И.С. Формирование индивидуального стиля боксера как условие роста спортивного мастерства / И.С. Колесник // Теория и практика физической культуры. – 2009. – № 12. – С. 69-72.
6. Филимонов, В.И. Индивидуализация подготовки в боксе и кикбоксинге / В.И. Филимонов, А.А. Калайджан // Актуальные проблемы физической культуры, спорта и туризма : материалы Международной научно-практической конференции, Уфа, 19-21 марта 2015 года. – Уфа : Педагогическая книга, 2015. – С. 284-286.
7. Козин, В.В. Ситуационный подход к тактико-технической подготовке спортивного резерва в командно-игровых видах спорта : автореферат дис. … д-ра пед. наук / Вадим Витальевич Козин. – Санкт-Петербург, 2024. – 50 с.
8. Особенности ситуационного анализа соревновательной деятельности в игровых видах

спорта и единоборствах / В.В. Козин, А.В. Новиков, Е.В. Кошкин, Г.М. Максимов // Современные вопросы биомедицины. – 2021. – Т. 5. – № 1(14). – С. 218-228.
9. Жуков, М.В. Содержание контроля технической и тактической подготовленности юных боксеров / М.В. Жуков, С.И. Петров, В.В. Козин // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2024. – № 8(234). – С. 121-126.
10. Петров, С.И. Методы, средства и технологии анализа тактико-технической подготовленности боксеров / С.И. Петров, М.В. Жуков, В.В. Козин // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2023. – № 12(226). – С. 125-131.
11. Семантика тактики и техники спортсменов в современных технологиях регистрации и анализа спортивной деятельности / В.В. Козин, Д.В. Федосеев, В.В. Сумина, И.Г. Еремин // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 1(18). – С. 306-312.
12. Жуков, М.В. Роль минимальных ситуаций в двигательной подготовке юных спортсменов / М.В. Жуков, В.В. Козин // Современные проблемы теории и методики хоккея. Научно-методические и организационно-правовые аспекты подготовки хоккеистов : материалы XVII Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 59-62.
13. Макаров, Ю.М. Обучение ситуационной технике бросков мяча в гандболе с использованием системы развернутых алгоритмов / Ю.М. Макаров, А.А. Чуркин, А.А. Рамзайцева // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2012. – № 10 (92). – С. 104-109.
14. How boxers decide to punch a target: emergent behaviour in nonlinear dynamical movement systems / R. Hristovski, K. Davids, D. Araújo, C. Button // Journal of Sports Science and Medicine. – 2006. – Vol. 5. – No. CSSI-1. – P. 60-73.
15. Жуков, М.В. Соревновательная деятельность в тактико-технической подготовке боксеров : учебное пособие / М.В. Жуков, Ф.В. Салугин, В.В. Козин. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2024. – 121 с.
16. Савинский, П.С. Содержание моделирования и визуализации тактико-технической деятельности в спортивных играх и единоборствах / П.С. Савинский, В.В. Козин, Ф.В. Салугин // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 2(19). – С. 308-314.
17. Салугин, Ф.В. Модель повышения вариативности тактико-технических действий спортсменов с учетом оперативного пространства / Ф.В. Салугин, В.В. Козин // Теория и практика физической культуры. – 2018. – № 12(963). – С. 22.
18. Бабушкин, Г.Д. Интеграция психологических средств и методов в систему подготовки спортивного резерва / Г.Д. Бабушкин // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2023. – Т. 28. – № 3(94). – С. 339-344.

REFERENCES

1. Slimani M., Chaabène H., Davis P. et al. Performance aspects and physiological responses in male amateur boxing competitions: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2017, vol. 31, no. 4, pp. 1132-1141.
2. El-Ashker S. Technical and tactical aspects that differentiate winning and losing performances in boxing. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2011, vol. 11, no. 2, pp. 356-364.
3. Russo G., Ottoboni G. The perceptual-cognitive skills of combat sports athletes: A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise*, 2019, no. 44, pp. 60-78.
4. Kalmykov E.V. Individual style of activity in combat sports: an author's abstract. Moscow, 1996. 48 p. (in Russ.)
5. Kolesnik I.S. Formation of individual style of boxer as a condition of growth of sportsmanship. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2009, no. 12, pp. 69-72. (in Russ.)
6. Filimonov V.I., Kalajdzhan A.A. Individualization of training in boxing and kickboxing. Actual Problems of Physical Culture, Sports and Tourism: Materials of the International Scientific and Practical Conference (Ufa, March 19-21). Ufa: Periodicheskaya kniga, 2015. pp. 284-286. (in Russ.)
7. Kozin V.V. Situational approach to the tactical and technical training of sports reserve in team sports: an author's abstract. Saint Petersburg, 2024. 50 p. (in Russ.)
8. Kozin V.V., Novikov A.V., Koshkin E.V., Maksimov G.M. Special features of the situational analysis of competitive activity in playing and combat sports. *Modern Issues of Biomedicine*, 2021, vol. 5, no. 1(14), pp. 218-228. (in Russ.)
9. Zhukov M.V., Petrov S.I., Kozin V.V. The content of the control of technical and tactical preparedness of young boxers. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2024, no. 8(234), pp. 121-126. (in Russ.)
10. Petrov S.I., Zhukov M.V., Kozin V.V. Methods, means and technologies analysis of tactical and technical preparation of boxers. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2023, no. 12(226), pp. 125-131. (in Russ.)
11. Kozin V.V., Fedoseev D.V., Sumina V.V., Eremin I.G. Semantics of tactics and technique of athletes in modern technologies of registering and analyzing sports activity. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 1 (18), pp. 306-312. (in Russ.)

12. Zhukov M.V., Kozin V.V. The role of minimal situations in the motor training of young athletes. Modern Problems of the Theory and Methodology of Hockey: Proceedings of the 17th All-Russian Scientific and Practical Conference. Saint Petersburg, 2024. pp. 59-62. (in Russ.)
13. Makarov Yu.M., Churkin A.A., Ramzajtseva A.A. Training to situational technique of the ball throws in handball with the use of extended algorithm. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2012, no. 10(92), pp. 104-109. (in Russ.)
14. Hristovski R., Davids K., Araújo D., Button C. How boxers decide to punch a target: Emergent behaviour in nonlinear dynamical movement systems. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2006, vol. 5, no. CSSI-1, pp. 60-73.
15. Zhukov M.V., Salugin F.V., Kozin V.V. Competitive activity in the tactical and technical training of boxers: a textbook. Omsk: OmSTU Publishing House, 2024. 121 p. (in Russ.)
16. Savinskij P.S., Kozin V.V., Salugin F.V. Content of modeling and visualization of tactical and technical activities in sports games and single combats. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 2(19), pp. 308-314. (in Russ.)
17. Salugin F.V., Kozin V.V. Model to increase variety of athletes' tactical and technical actions in view of operational space. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2018, vol. 963, no. 12, p. 22. (in Russ.)
18. Babushkin G.D. Integration of psychological means and methods into the sports reserve training. *Psychopedagogy in Law Enforcement*, 2023, vol. 28, no. 3(94), pp. 339-344. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Максим Владимирович Жуков – директор Института «Физической культуры и спортивных технологий», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, e-mail: boxing@lesgaft.spb.ru.
Вадим Витальевич Козин – доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры теории и методики хоккея, Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, e-mail: cousi@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Maksim V. Zhukov – Director of the Institute of Physical Culture and Sports Technologies, Baltic State Technical University "VOENMEKH" named after D.F. Ustinov, Saint Petersburg, e-mail: boxing@lesgaft.spb.ru.
Vadim V. Kozin – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Theory and Methods of Ice Hockey, P.F. Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, Saint Petersburg, e-mail: cousi@mail.ru.

Для цитирования: Жуков, М.В. Индивидуализация тактико-технической подготовки боксеров 13-14 лет на основе анализа соревновательной деятельности / М.В. Жуков, В.В. Козин // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_36

For citation: Zhukov M.V., Kozin V.V. Individualization of tactical and technical training of 13-14-year-old boxers based on competitive activity analysis. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_36

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_37
УДК 796.92.093.642

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_37
UDC 796.92.093.642

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СТРЕЛКОВОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ЮНЫХ БИАТЛОНИСТОВ

Н.С. Загурский, Я.С. Романова, В.И. Михалев
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет физической культуры и спорта», г. Омск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** В настоящее время недостаточно сведений о лимитирующих факторах стрелковой подготовленности юных биатлонистов во время физической нагрузки различной интенсивности. Цель исследования – совершенствование комплексного подхода к оценке стрелковой и функциональной подготовленности юных биатлонистов. ***Методы.*** Анализ состояния проблемы по данным научной литературы, показателей стрелкового компьютерного тренажера «Скатт», биохимических (лактат) показателей, показателей частоты сердечных сокращений, результатов ступенчатого теста на тренажере Concept2 SkiErg, применение методов математической статистики. ***Результаты.*** Показано, что устойчивость системы «стрелок-оружие» у юных биатлонистов при стрельбе стоя является одним из ключевых факторов, предопределяющих качество выстрела как в покое, так и в процессе физической нагрузки. Взаимосвязь количества очков и длины траектории линии прицеливания при стрельбе стоя составляет r=-0,69-0,74 при p<0,05. Взаимосвязь устойчивости оружия в габарите 6.0 (74 мм) и длины траектории линии прицеливания составляет при стрельбе стоя r=-0,91-0,92 при p<0,05. ***Заключение.*** Предложенный комплексный подход к оценке стрелковой и функциональной подготовленности юных биатлонистов информативен и позволяет выявить лимитирующие факторы. Кроме того, такой подход позволяет оценить уровень сопряженного проявления функциональной и стрелковой подготовленности биатлонистов при специфической нагрузке различной интенсивности.
Ключевые слова: стрелковая подготовка, юные биатлонисты, длина траектории прицеливания, устойчивость оружия, лактат, тренажер Concept2 SkiErg, стрелковый тренажер «Скатт».

A COMPREHENSIVE APPROACH FOR THE ASSESSMENT OF SHOOTING AND FUNCTIONAL FITNESS IN YOUNG BIATHLETES

N.S. Zagurskiy, Ya.S. Romanova, V.I. Mikhalev
Siberian State University of Physical Education and Sports, Omsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Currently, there is insufficient data regarding the factors limiting the shooting proficiency of young biathletes during physical activity of varying intensity. The research objective – to improve the comprehensive approach to assessing the shooting and functional fitness of young biathletes. ***Methods.*** Analysis of the current state of the issue according to scientific literature, analysis of the data from the “Scatt” shooting simulator, as well as biochemical markers (lactate) and heart rate, analysis of results of the power test on the Concept2 SkiErg ergometer, use of methods of mathematical statistics. ***Results.*** It has been shown that the stability of the “shooter-weapon” system in young biathletes during standing shooting is a key factor determining shot quality, both at rest and during physical activity. The correlation between the score and the length of the aiming line trajectory during standing shooting ranges from r=-0.69 to -0.74 (p<0.05). The correlation between weapon stability within the 6.0 zone (74 mm) and the length of the aiming line trajectory during standing shooting ranges from r=-0.91 to -0.92 (p<0.05). ***Conclusion***. The proposed comprehensive approach for the assessment of the shooting and functional fitness of young biathletes is informative and makes it possible to identify the limiting factors. Furthermore, this approach allows for the assessment of the level of integrated manifestation of functional and shooting fitness under specific activity of varying intensity.
Keywords: marksmanship training, young biathletes, aiming trajectory length, weapon stability, lactate, Concept2 SkiErg trainer, Scatt shooting simulator.

Введение. Актуальность исследования обусловлена возрастающими требованиями к качеству стрельбы в условиях высокой физической нагрузки в процессе тренировочной и соревновательной деятельности биатлонистов [1-6]. В научной литературе практически не раскрыты вопросы сопряженного воздействия физической нагрузки различной интенсивности и показателей стрелковой подготовленности юных биатлонистов [1, 7]. Основная часть исследований посвящена высококвалифицированным биатлонистам [2-6]. Лыжный тренажер Concept2 SkiErg используется для тестирования силовых и аэробных возможностей рук лыжников-гонщиков и биатлонистов высокой квалификации [7]. В ранних исследованиях авторы были лимитированы техническими ограничениями приборов того времени. Приборы, как правило, были стационарными и громоздкими, что не позволяло широко их использовать для целей комплексного контроля физической и стрелковой составляющей, особенно в полевых условиях [7].

В настоящее время появилась уникальная возможность использовать стрелковый тренажер «Скатт» как для холостой стрельбы, так и для стрельбы в полевых условиях [1]. Беспроводная система сенсора и связь по Wi-Fi с компьютером или телефоном позволяют получать не только реальное отображение мишеней и пробоин, но и около 20 показателей техники выстрела во время прицеливания и стрельбы. Тренер и спортсмен теперь могут в режиме реального времени увидеть всю картину стрельбы с ее цифровыми показателями и те ошибки, которые трудно увидеть даже опытному тренеру.

Недостаточность сведений о лимитирующих факторах стрелковой подготовленности юных биатлонистов во время физической нагрузки, необходимость совершенствования комплексного подхода к оценке стрелковой и функциональной подготовленности определяют проблему исследования.

С целью совершенствования комплексного подхода к оценке стрелковой и функциональной подготовленности юных биатлонистов нами предложен комплексный тест сопряженного воздействия физической нагрузки различной интенсивности и показателей стрелковой подготовленности юных биатлонистов. В данном тесте со ступенчато возрастающей нагрузкой на тренажере Concept2 SkiErg в качестве сопряженных средств выступают одновременный бесшажный ход (ОБХ) и стрельба после каждой ступени на компьютерном тренажере «Скатт».

Методы и организация исследования. Для тестирования стрелковой и функциональной подготовленности юных биатлонистов использовался алгоритм, предложенный Н.С. Загурским и Д.В. Поповым [1, 7], с применением тренажера «Скатт-биатлон» и беспроводного сенсорного датчика WS-03. Спортсмены выполняли ступенчатый тест с возрастающей нагрузкой до отказа на лыжном тренажере Concept2 SkiErg со стрельбой на компьютерном тренажере «Скатт» из положения «стоя» (10 выстрелов на каждой степени). Увеличение мощности работы на каждой ступени работы составляло 25 Вт у девушек и 30 Вт у юношей, продолжительность ступени – 2 минуты. На каждой ступени работы определялась мощность нагрузки (абсолютная и относительная), частота сердечных сокращений (ЧСС), пройденное расстояние, значения лактата и показатели микроструктуры техники выстрела. После стрельбы на каждой ступени у спортсмена брали капиллярную кровь из пальца (10 мкл) для определения концентрации лактата. Концентрацию лактата определяли электрохимическим методом с помощью анализатора Super easy compact (Dr. Mueller GmbH, Германия). Порог анаэробного обмена (ПАНО) определяли, как потребление кислорода при достижении концентрации лактата в крови 4 ммоль [7]. Статистическая обработка материалов исследования проводилась с использованием пакета программ Statistica 10.

Исследования проходили в подготовительном периоде 2023-2026 гг. в рамках этапных комплексных обследований юношеского проекта Союза биатлонистов России. Это специальная программа системного поиска, отбора и централизованной подготовки талантливых молодых биатлонистов и биатлонисток из регионов страны под руководством опытных специалистов. Возраст спортсменов – 16-18 лет,

квалификация у большинства – кандидаты в мастера спорта, часть спортсменов – мастера спорта и 1 разряд. Общее количество юношей и девушек на этапных тестированиях было примерно одинаковым и в среднем составляло около 28-34 человек.

Результаты исследования и их обсуждение. Применяемые в настоящее время тесты комплексной подготовки при стрельбе по биатлонным установкам широко используются в практике тренировки биатлонистов высокого класса [2-6]. Однако при решении ряда практических задач по оценке специальной стрелковой подготовленности эти тесты имеют существенные недостатки. Попадание пули в этих тестах может быть как в центр мишени, так и в ее габарит, но в обоих случаях это расценивается как 100% попадание. Кроме того, сложно судить о том, что является лимитирующим фактором у спортсмена при стрельбе после физической нагрузки различной интенсивности. Причина промахов может быть обусловлена низкой устойчивостью оружия, рядом других ошибок, которые сложно выявить без использования инструментальных методик [1, 6]. В этой связи использование компьютерного стрелкового тренажера «Скатт» для измерения стрелковых показателей у биатлонистов в процессе дозированной физической нагрузки является обоснованным и актуальным [1]. С начала юношеского проекта в период 2023-2026 годов отработана методика комплексного подхода к оценке стрелковой и функциональной подготовленности юных биатлонистов. В рамках этого проекта ежегодно проводится 3-4 комплексных этапных тестирования юношей-биатлонистов. Три тестирования проводятся в начале, середине и конце подготовительного периода, что позволяет эффективно осуществлять мониторинг процесса подготовки, проследить динамику показателей и эффективность тренировочных программ.

На рисунке 1 представлен общий вид тестирования юношей-биатлонистов на тренажере Concept2 SkiErg и компьютерном стрелковом тренажере «Скатт» на базе биатлонного комплекса «Жемчужина Сибири» в г. Тюмени.

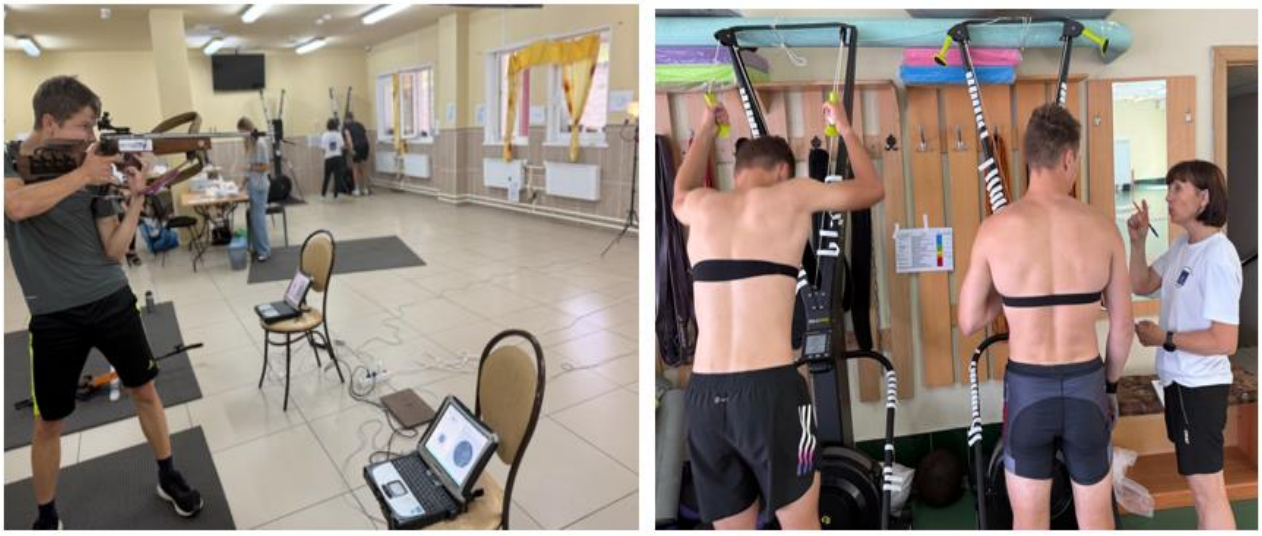


Рис. 1. Фрагмент проведения комплексного тестирования юношей-биатлонистов на лыжном тренажере Concept2 SkiErg со стрельбой на тренажере «Скатт»

Выбор средней длины траектории прицеливания и результата стрельбы в серии из 10 выстрелов в тесте со ступенчато повышающейся нагрузкой обусловлен тем, что количество очков в серии выстрелов является интегральным показателем уровня стрелковой подготовленности, а устойчивость системы «стрелок-оружие» является базовым элементом стрельбы.

При анализе динамики показателей точности стрельбы и траектории линии прицеливания на ступенях работы следует отметить следующее. Существует сильная зависимость между суммой очков в серии из 10 выстрелов и длиной траектории линии прицеливания ($r=-0,74$ при $p<0,05$) на ступенях работы. Зависимость точности стрельбы от величины мощности работы на

лыжном тренажере Concept2 SkiErg приведена на рисунке 2. Траектория линии прицеливания имеет непрерывный тренд повышения с 309 мм/с в состоянии покоя до 427 мм/с на заключительной ступени работы (увеличение на 38,1%). Уравнение регрессии и величина достоверности аппроксимации имеют следующий вид: y=14,749x+311,55, R2=0,91, что говорит о практически линейной зависимости длины траектории линии прицеливания и мощности нагрузки на тренажере Concept2 SkiErg. Тренд зависимости количества очков в серии из 10 выстрелов от мощности нагрузки имеет тенденцию к снижению с 58,3 в состоянии покоя до 45,4 (22,1%) очков на последней ступени теста при r=-0,69-0,83 (p<0,05) для разных групп спортсменов и этапов тестирования. Уравнение регрессии и величина достоверности аппроксимации имеют следующий вид: y=-1,2073x+55,485, R2=0,57. Такой тренд объясняется тем, что кроме устойчивости оружия качество выстрелов определяется и другими факторами, где к основным можно отнести согласованность прицеливания, удержания оружия и обработки спуска, выбор оптимального момента устойчивости для нажатия спускового крючка, оптимальное дыхание при заводке оружия в мишень, остановке и выстреле и др. (рис. 2).

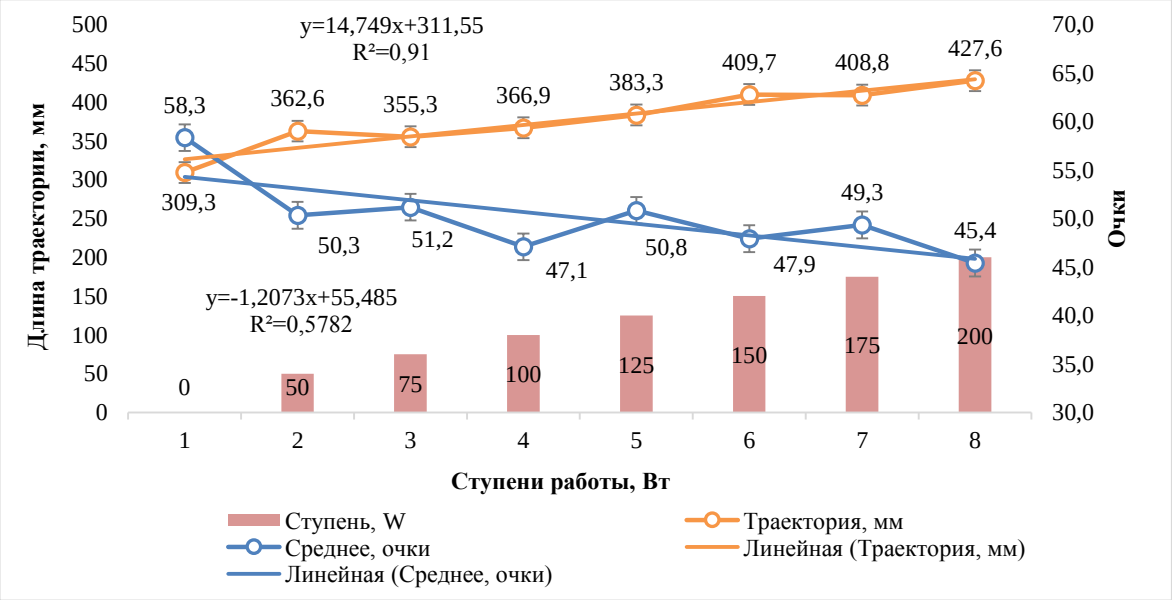


Рис. 2. Динамика траектории линии прицеливания и среднее количество очков в серии из 10 выстрелов на ступенях работы на тренажере Concept2 SkiErg у девушек-биатлонисток (n=14)

Тренд снижения устойчивости винтовки и количества очков на ступенях работы на тренажере Concept2 SkiErg у девушек-биатлонисток имеет следующий вид (рис. 3). Начиная с состояния покоя до нагрузки 75 Вт оба показателя однонаправленно снижаются, а начиная с нагрузки 100 Вт эти показатели имеют свои особенности снижения. Устойчивость винтовки в габарите 6.0 имеет тренд прямолинейного снижения, тогда как снижение качества стрельбы в диапазоне 100-175 Вт практически не наблюдается. На последней ступени работы (200 Вт) идет резкое снижение качества стрельбы до 45 очков, что объясняется высоким физическим напряжением. На заключительной степени теста у девушек-биатлонисток величина лактата в среднем составила 14,1±3,2 ммоль/л при средней ЧСС 191±4,9 уд/мин.

В целом у юных биатлонистов наблюдается значительная вариативность показателей устойчивости винтовки и качества стрельбы, что предполагает индивидуальный подход к комплексной оценке стрелковой и функциональной подготовленности. Спортсмены с высоким уровнем устойчивости способны выполнять стрельбу на «выцеливание» габарита мишени, тогда как при недостаточной

устойчивости они вынуждены стрелять на «подлавливание» мишени, что приводит к нестабильной стрельбе и промахам [1]. В качестве примера модельных характеристик можно привезти показатели элитной биатлонистки, заслуженного мастера спорта, которая в условиях соревнований имеет процент попаданий на уровне 87-90% при показателях устойчивости в покое около 80% и сумме очков в серии выстрелов 75-80. На последней ступени работы у элитной биатлонистки снижаются показатели стрельбы до 60-65 очков в серии из 10 выстрелов, а длина траектории прицеливания увеличивается при этом до 280-300 мм/с. Следует отметить, что юные биатлонисты начинают стрельбу с такими показателями устойчивости, которые элитные биатлонисты демонстрируют на последних ступенях работы.

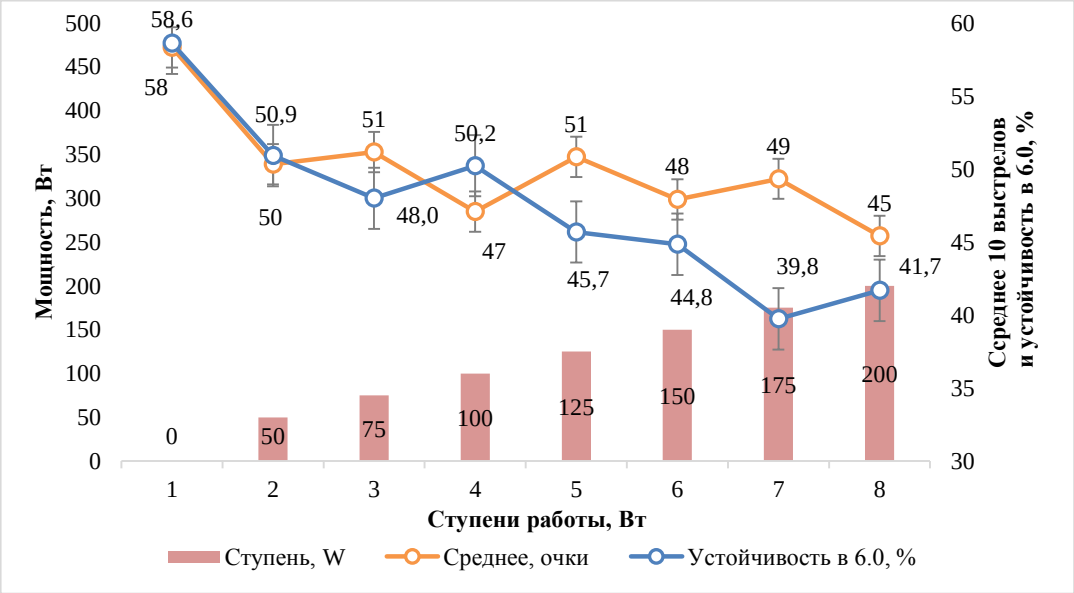


Рис. 3. Динамика устойчивости винтовки в габарите 6.0 (74 мм) и среднее количество очков в серии из 10 выстрелов на ступенях работы на тренажере Concept2 SkiErg у девушек-биатлонисток (n=14)

В таблицах 1 и 2 приведены данные комплексного тестирования юношей и девушек в тесте с возрастающей нагрузкой на тренажере Concept2 SkiErg. У девушек-биатлонисток максимальная мощность на заключительной ступени работы составила в среднем 200 Вт, а у юношей-биатлонистов – в среднем 270 Вт.

Таблица 1

Динамика показателей в тесте со ступенчато возрастающей нагрузкой на тренажере Concept2 SkiErg у девушек-биатлонисток (n=14), M±σ

Мощность, Вт	Сумма 10 выстрелов, очки	Длина траектории, мм	Устойчивость в 6.0 (74 мм), %	ЧССмакс, уд/мин	La, ммоль/л
50	50±7,7	362±77	52±13	129±15	2,0±0,5
75	51±11	355±71	48±15	143±14	2,5±0,7
100	47±10	366±72	51±14	157±10	3,4±1,1
125	51±12	383±62	46±12	168±10	4,8±1,9
150	48±14	409±74	45±14	178±7,5	7,5±2,9
175	49±12	418±83	41±12	185±5,6	9,6±2,3
200	45±14	427±80	34±7,4	191±4,9	14,1±3,2

Примечание: ЧССмакс – максимальная частота сердечных сокращений; La – уровень лактата.

У юношей в среднем большее количество очков на ступенях работы и лучше показатели устойчивости оружия в габарите 6.0, чем у девушек. Показатели ЧСС и

лактата повышаются на ступенях работы и достигают уровня ПАНО у девушек примерно на 120 Вт, тогда как у юношей-биатлонистов ПАНО достигается на 150 Вт. Работа при ЧСС свыше 165±10 уд/мин и лактате 4,4-4,6 ммоль является началом анаэробных процессов как у юношей, так и у девушек. В целом можно резюмировать, что аэробный потенциал юношей-биатлонистов недостаточно развит, и спортсменам приходится работать в анаэробном режиме уже на первых ступенях работы.

Таблица 2

Динамика показателей в тесте со ступенчато возрастающей нагрузкой на тренажере Concept2 SkiErg у юношей-биатлонистов (n=16), M±σ

Мощность, Вт	Сумма 10 выстрелов, очки	Длина траектории, мм	Устойчивость в 6.0 (74 мм), %	ЧССмакс, уд/мин	La, ммоль/л
60	60±9,5	316±50	64±11	123±15	1,9±0,2
90	59±11	350±68	60±14	141±14	2,7±0,7
120	54±10	354±71	61±15	155±13	3,5±1,1
150	57±12	356±67	55±12	167±12	4,6±1,7
180	58±8,6	387±70	50±11	176±11	6,0±2,0
210	59±8,7	394±64	50±11	182±8,7	8,61±2,9
240	54±11	410±66	48±11	188±7,4	11,1±3,6
270	50±11	432±66	40±14	190±6,2	13,1±3,5

Примечание: ЧССмакс – максимальная частота сердечных сокращений; La – уровень лактата.

Показатели ЧСС и лактата широко используются в комплексных тестированиях спортсменов, что обусловлено высокой информативностью этих показателей и хорошим индикатором того, как организм спортсмена отвечает на нагрузку определенной интенсивности [1, 2, 7]. Кривая зависимости «ЧСС-лактат-мощность нагрузки» позволяет определить зоны интенсивности и эффективность программ тренировки на основе зон энергообеспечения с использованием индивидуальной лактатной кривой и ЧСС. На рисунке 4 представлена зависимость «лактат-мощность нагрузки» на лыжном тренажере Concept2 SkiErg у лидера среди девушек-биатлонисток Е. Лян-ной в подготовительном периоде 2024 года.

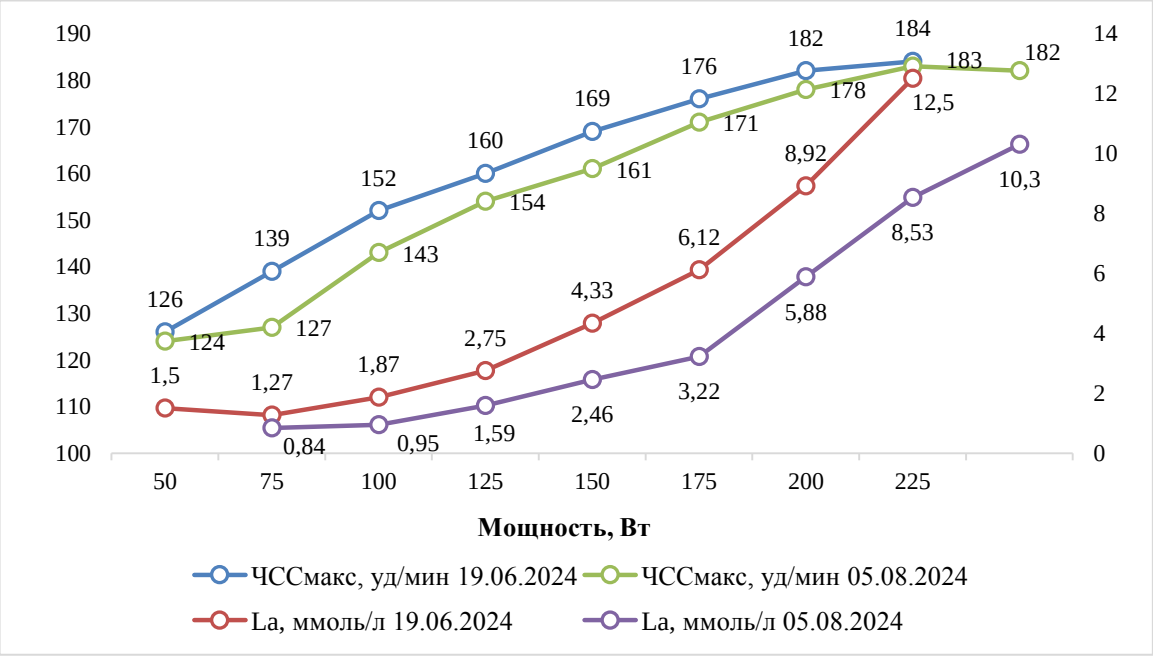


Рис. 4. Показатели частоты сердечных сокращений (ЧСС) и лактата (La) у девушки-биатлонистки в ступенчатом тесте со стрельбой на лыжном тренажере Concept2 SkiErg на этапах подготовительного периода

Лактатная кривая на втором тестировании сдвинута значительно правее по отношению к началу подготовительного периода (рис. 4). При этом ЧСС на стандартных ступенях работы уменьшилась на 5-6 ударов. Такая динамика и величина показателей свидетельствуют о высоких функциональных возможностях спортсменки. В сезонах 2024-2026 гг. эта биатлонистка является лучшей среди девушек по скорости передвижения по дистанции. Анализ показателей тестирования за период 2023-2026 гг. говорит о том, что такая динамика в совокупности с величиной показателей на различных ступенях работы могут применяться как модель для теста девушек-биатлонисток (рис. 4).

В целом девушки-биатлонистки демонстрируют относительно низкий уровень мощности работы на тренажере, что требует коррекции программ силовой подготовки мышц плечевого пояса. Предложенная методика комплексного подхода к оценке стрелковой и функциональной подготовленности юных биатлонистов позволяет выявлять как функциональные возможности спортсменов, так и лимитирующие факторы и ошибки в стрелковой подготовленности.

Заключение:

1. У биатлонистов-юношей устойчивость системы «стрелок-оружие» при стрельбе стоя является одним из ключевых факторов, предопределяющих качество выстрела как в покое, так и в тесте с возрастающей нагрузкой до отказа. Взаимосвязь количества очков и длины траектории линии прицеливания при стрельбе стоя составляет r=-0,69-0,74 при p<0,05. Взаимосвязь устойчивости оружия в габарите 6.0 (74 мм) и длины траектории линии прицеливания составляет при стрельбе стоя r=-0,91-0,92 при p<0,05.

2. У биатлонистов-юношей в целом зарегистрированы средние и низкие значения устойчивости оружия в покое и в процессе выполнения физической нагрузки. Так, длина траектории линии прицеливания в покое составляет 316±50 мм/с у юношей и 362±77 мм/с у девушек при устойчивости оружия в габарите 6.0 равной соответственно 64±11% и 52±13%. На заключительной ступени работы длина траектории линии прицеливания составляет 432±66 мм/с у юношей и 427±80 мм/с у девушек при устойчивости оружия в габарите 6.0 равной 40±14% и 34±7,4% соответственно.

3. Кривая зависимости «ЧСС-лактат-мощность нагрузки» позволяет определить зоны интенсивности и эффективность программ тренировки на основе зон энергообеспечения с использованием индивидуальной лактатной кривой и ЧСС. Смещение лактатной кривой и ЧСС позволяет оценить уровень функциональных возможностей подготовленности спортсменов и определить ее лимитирующие стороны.

4. Предложенный комплексный подход к оценке стрелковой и функциональной подготовленности юных биатлонистов информативен и позволяет выявить лимитирующие факторы подготовленности спортсменов. Кроме того, такой подход позволяет оценить уровень сопряженного проявления функциональной и стрелковой подготовленности биатлонистов-юношей при специфической нагрузке различной интенсивности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загурский, Н.С. Комплексный тест для оценки интегральной подготовленности биатлонистов / Н.С. Загурский, Я.С. Романова // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2017. – № 10(152). – С. 64-71. [in English] Zagurskiy N.S., Romanova Ya.S. Complex test for assessing integral preparedness of biathletes. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2017, no. 10(152), pp. 64-71. (in Russ.)

2. Effect of Exercise Intensity on Biathlon Standing Shooting Performance and Rifle Movement during Outdoor Roller Skiing / J. Danielsen, H. Luchsinger, A. Ravndal [et al.] // Medicine and Science in Sports and Exercise. – 2024. – Vol. 57(2). – P. 355-364. DOI: 10.1249/MSS.0000000000003563.

3. Technical determinants of biathlon standing shooting performance before and after race simulation / S. Ihalainen, T. Linnamo, M. Oksa [et al.] // Scandinavian Journal of Medicine & Science

in Sports. – 2018. – Vol. 28(6). – P. 1700-1707. DOI: 10.1111/sms.13072.
4. Effects of rifle carriage on performance, physiological responses, power output and external work in a simulated biathlon competition / M. Jonsson Kårström, J.O. Lundberg, E. Andersson [et al] // European Journal of Applied Physiology. – 2026. DOI: 10.1007/s00421-026-06301-x.
5. Rifle and aiming point accelerations do not differ between the most and least accurate shots in biathlon shooting within an athlete / M. Köykkä, T. Linnamo, M. Oksa [et al.] // Biomed Human Kinetics. – 2023. – Vol. 15(1). – P. 139-147.
6. Postural balance and rifle stability during standing shooting on an indoor gun range without physical stress in different groups of biathletes / G. Sattlecker, M. Buchecker, E. Müller, S.J. Lindinger // International Journal of Sports Science & Coaching. – 2014. – Vol. 9(1). – P. 171-184.
7. Попов, Д.В. Организация физиологического тестирования биатлонистов и лыжников / Д.В. Попов, Н.С. Загурский // Современная система спортивной подготовки в биатлоне : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Омск, 23-24 апреля 2015 г. / Сибирский государственный университет физической культуры и спорта. – Омск : СибГУФК, 2015. – С. 236-248. [in English] Popov D.V., Zagurskiy N.S. Organization of physiological testing for biathletes and cross-country skiers. Modern System of Sports Training in Biathlon: Proceedings of the 4th All-Russian Scientific and Practical Conference (Omsk, April 23-24, 2015). Omsk: SibSUPC, 2015, pp. 236-248. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Николай Степанович Загурский – кандидат педагогических наук, профессор, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института деятельности в экстремальных условиях Сибирского государственного университета физической культуры и спорта, Омск, e-mail: n.zagurskiy@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7188-0701.
Яна Сергеевна Романова – кандидат педагогических наук, доцент, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института деятельности в экстремальных условиях Сибирского государственного университета физической культуры и спорта, Омск, e-mail: romanova8383@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8081-7202.
Владимир Иванович Михалев – доктор педагогических наук, профессор, президент Сибирского государственного университета физической культуры и спорта, Омск, e-mail: michalev@sibgufk.ru, ORCID: 0000-0002-1452-9226.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Nikolay S. Zagurskiy – Candidate of Pedagogical Sciences, Professor, Senior Researcher, Research Institute of Activity in Extreme Conditions, Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, e-mail: n.zagurskiy@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7188-0701.
Yana S. Romanova – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Research Institute of Activity in Extreme Conditions, Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, e-mail: romanova8383@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8081-7202.
Vladimir I. Mikhalev – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, President of the Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, e-mail: michalev@sibgufk.ru, ORCID: 0000-0002-1452-9226.

Для цитирования: Загурский, Н.С. Комплексный подход к оценке стрелковой и функциональной подготовленности юных биатлонистов / Н.С. Загурский, Я.С. Романова, В.И. Михалев // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_37

For citation: Zagurskiy N.S., Romanova Ya.S., Mikhalev V.I. A comprehensive approach for the assessment of shooting and functional fitness in young biathletes. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_37

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_38
УДК 796.6

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_38
UDC 796.6

БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ ЗАРУБЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ, ПОСВЯЩЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ В ВЕЛОСПОРТЕ

Ю.В. Корягина[1,2], С.В. Нопин[2], В.С. Нопина[3], О.Н. Акимкина[2]
[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр физической культуры и спорта», г. Москва, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия
[3]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Целью работы явился поиск и анализ современных тенденций в публикациях зарубежных ученых, посвященных актуальным аспектам технической подготовки и техники движений в велоспорте. ***Методы.*** Поиск журнальных статей проводился по ключевому слову «cycling» в базах данных PubMed, Elsevier, Google scholar. Глубина поиска не ограничивалась. Статистический анализ проводился с использованием программы VOSviewer 1.6.20. ***Результаты.*** Определены основные направления исследований зарубежных ученых, посвященные актуальным вопросам технической подготовки в велосипедном спорте: биомеханика велосипедной езды, факторы результативности профессиональных велосипедистов, исследование технической подготовленности. Ведущими зарубежными научными школами, занимающимися исследованиями в области биомеханики и технической подготовки велосипедистов, являются австрийская и испанская. ***Заключение.*** Технику движений велосипедиста ученые рассматривают как фундаментальное свойство нервной системы по управлению движением. Частными актуальными вопросами техники велосипедной езды, находящимися под прицельным изучением исследователей, являются параметры каденса, поза или посадка велосипедиста, работа коленного и тазобедренного суставов, способность мышц к своевременной активации и расслаблению. Представленный анализ научных работ позволил сформулировать следующие практические рекомендации по совершенствованию технической подготовленности велосипедистов.
Ключевые слова: велоспорт, библиометрический анализ, технико-тактическая подготовленность велосипедиста, биомеханика спортивных движений, функциональная подготовленность, педалирование.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF FOREIGN PUBLICATIONS DEDICATED TO TECHNICAL TRAINING IN CYCLING

Yu.V. Koryagina[1,2], S.V. Nopin[2], V.S. Nopina[3], O.N. Akimkina[2]
[1]Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports, Moscow, Russia
[2]North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, Russia
[3]I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Objective – to search and analyze modern trends in foreign publications, dedicated to relevant aspects of technics training and movement technique in cycling. ***Methods.*** The search of articles by the keyword “cycling” was conducted in the PubMed, Elsevier, Google scholar databases. The search depth was not limited. We also carried out a statistical analysis using the VOSviewer 1.6.20. ***Results.*** The main directions in foreign research on relevant issues of technical training in cycling have been identified, including: biomechanics of cycling, performance factors of professional cyclists, research on technical fitness. The leading foreign scientific schools engaged in research in the field of biomechanics and technical training of cyclists are the Austrian and Spanish. ***Conclusion.*** Scientists consider the cyclist’s movement technique as a fundamental property of the nervous system for movement control. Particular topical issues of cycling technique that are under the targeted study of researchers are cadence parameters, the riding position of the cyclist, the work of the knee and hip joints, the ability of muscles to activate and relax in a timely manner. The presented analysis of scientific papers allowed us to formulate the following practical guidelines for improving the technical fitness of cyclists.
Keywords: cycling, bibliometric analysis, technical and tactical fitness of a cyclist, biomechanics of athletic movements, functional fitness, pedaling.

Введение. Велосипед остается основным средством передвижения во многих странах мира, он также достаточно популярен как вид активного отдыха и спорта. Техника движений велосипедиста – это комплексный показатель, зависящий от множества факторов: от технических особенностей велосипеда и специфики трассы до тактики прохождения дистанции. Важную роль играет чередование фаз педалирования, наката, торможения и велосипедных прыжков [1-2]. Техника езды на велосипеде характеризуется значительной сложностью и многообразием – они напрямую связаны со спецификой отдельных дисциплин: шоссейного велоспорта, трека, горного велосипеда, BMX, велокросса. Для каждой из этих дисциплин характерны свои биомеханические требования – они касаются и посадки спортсмена, и динамики ускорений, и особенностей работы педалями. В шоссейных гонках первостепенное значение имеет способность удерживать стабильный циклический ритм на протяжении длительного времени. В трековом спринте приоритеты совершенно иные: здесь на первый план выходят способность мгновенно генерировать взрывную мощность, оперативно наращивать каденс и предельно точно управлять велосипедом на высоких скоростях [3]. Кроме того, участие в многодневных гранд-турах вроде «Тур де Франс», «Джиро д'Италия» или «Вуэльта» предъявляет к атлетам особые требования: помимо высочайшего уровня выносливости от гонщиков требуются владение максимально экономичной техникой езды, а также умение грамотно распределять силы на дистанции [4-6]. Следовательно, анализ современных тенденций в технике велоспорта будет способствовать лучшему представлению причин лидерства в велоспорте и формированию обоснованных подходов и методик подготовки юных велосипедистов.

Цель работы – поиск и анализ современных тенденций в публикациях зарубежных ученых, посвященных актуальным аспектам технической подготовки и техники движений в велоспорте.

Методы и организация исследования. Поиск журнальных статей проводился по ключевому слову «cycling» в базах данных PubMed, Elsevier, Google scholar. Глубина поиска не ограничивалась. Найденные источники отбирались, переводились и подвергались анализу и синтезу.

Сбор публикаций из баз данных и их обработка производились с использованием программы Zotero 7.0.11 (управление библиографической информацией) и расширением Zotero Connector для браузера. Экспорт отобранных публикаций (всего отобрано 68 релевантных публикаций) осуществлялся в формате RIS, их статистический анализ проводился с использованием программы VOSviewer 1.6.20.

Результаты исследования и их обсуждение. Статистический анализ в отобранных специализированных публикациях выделил наиболее часто встречающиеся ключевые слова, сгруппированные в 3 кластера (табл. 1, рис. 1). 1-й кластер (названный нами условно «биомеханика велосипедной езды») включал термины: изменение, валовая механическая эффективность, угол в коленном суставе, кинематические параметры нижних конечностей, позиция (положение), высота седла, изучение. 2-й кластер («факторы результативности профессиональных велосипедистов») включал термины: велосипедная езда, частота педалирования, результативность, тренировка, профессиональный велосипедист. 3-й кластер («исследование-эксперимент») включал три термина: различие, группа, участник эксперимента. Следовательно, проведенный анализ позволил выявить основные направления исследований зарубежных ученых, посвященные актуальным вопросам технической подготовки в велосипедном спорте: биомеханика велосипедной езды, факторы результативности профессиональных велосипедистов, исследование технической подготовленности.

Работы исследователей 1-го кластера «биомеханика велосипедной езды» посвящены изучению роли позы тела, а конкретно влияния ориентации верхней части тела (обычная вертикальная поза против аэродинамической) на кинематику ног и активацию мышц [7]. Авторы изучают и пишут о том, как центральная нервная система управляет мышцами при

педалировании и как это управление изменяется под влиянием многолетней тренировки. Они отмечают, что техника педалирования – это не только траектория движения ног и приложение силы к педали, но и сформированный навык своевременного включения и выключения отдельных мышц [8].

У квалифицированных спортсменов активация мышц четко ограничивалась необходимыми фазами оборота и меньше зависела от увеличения каденса, что является результатом долговременной нейромышечной адаптации к многократно повторяемому педальному движению. Таким образом, ученые рассматривают техническое мастерство как способность нервной системы избирательно активировать нужные мышцы в нужной фазе педального цикла, избегая избыточного напряжения [9].

Специальными исследованиями было доказано, что при подборе велосипедного седла нельзя ограничиваться только замерами. Нужно обязательно смотреть, как тело работает в движении. Динамическая оценка дает более точную картину для конкретного спортсмена. Была выявлена очень сильная статистическая связь (R^2=0,963, p<0,001) между тремя факторами: высотой седла, длиной inseam (длина ноги по внутренней поверхности: от промежности до пола) и углом сгибания колена. На основе этой связи авторы предложили новую формулу. Расчеты по этой формуле соответствовали приблизительно 108,6-110,4% длины ноги, то есть несколько более высокому диапазону, чем традиционные 106-109%, по их мнению, это более надежно, помогает добиться оптимального угла и снизить риск травм [10].

Таблица 1

Данные статистического анализа специализированных зарубежных публикаций по актуальным аспектам технической подготовки велосипедистов

Кластер	Наиболее часто встречающиеся термины англ. / русский перевод	Количество связей термина с другими терминами	Общая сила связи термина с другими элементами сети с учетом их веса	Частота встречаемости термина в документах или исследованиях	Средний год публикации документов, в которых встречается термин
1	Change / изменение	13	296	22	2015,636
	Gross efficiency / валовая механическая эффективность	10	150	9	2010,667
	Knee angle / угол в коленном суставе	10	45	8	2013,25
	Lower limb kinematic / кинематические параметры нижних конечностей	10	144	8	2015,125
	Position / позиция, положение	13	179	22	2015,046
	Saddle height / высота седла	10	283	29	2018,621
	Study / изучение	14	316	35	2017,086
2	Cycling / велосипедная езда	14	375	54	2015,482
	Cadence / частота педалирования	14	160	19	2014,526
	Performance / результативность	13	259	30	2014,8
	Training / тренировка	10	307	37	2011,487
	Professional cyclist / профессиональный велосипедист	7	49	7	2017,286
3	Difference / различие	13	145	21	2016,81
	Group / группа	10	177	22	2015,682
	Participant / участник	9	85	9	2022,333

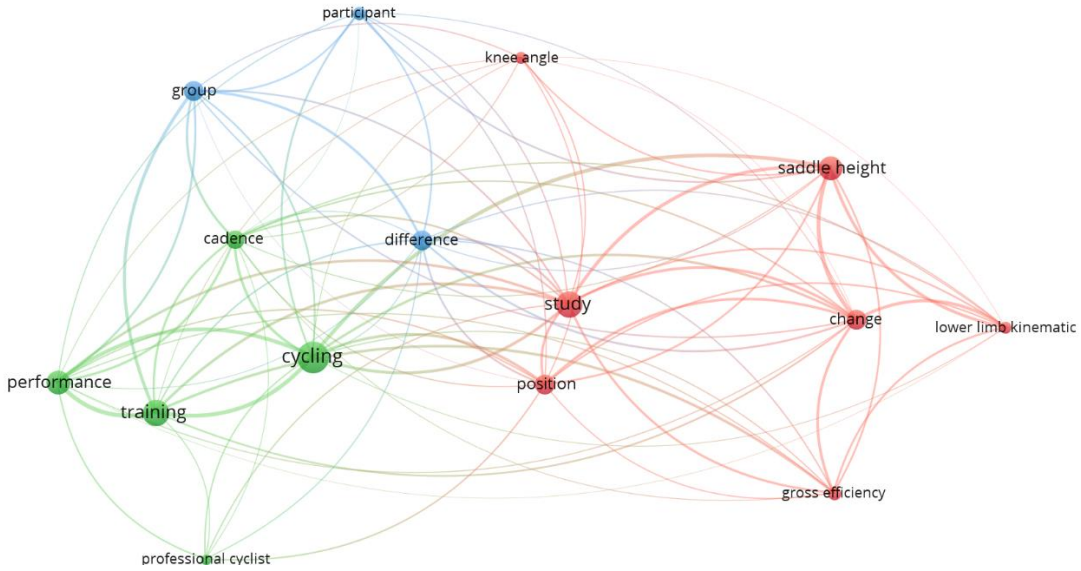


Рис. 1. Визуализация связей терминов специализированных зарубежных публикаций по актуальным аспектам технической подготовки велосипедистов

Примечание: перевод терминов см. в таблице 1.

В работах 2-го кластера («факторы результативности профессиональных велосипедистов») ученые изучали, как частота педалирования (каденс) влияет на механику движений и энергозатраты при постоянной мощности. Авторы проверяли предположение, что более высокий привычный каденс может быть выгоден не с точки зрения общей экономичности, а с точки зрения механических условий работы мышц – прежде всего латеральной широкой мышцы бедра (vastus lateralis). Как показало исследование, самый экономичный и предпочитаемый каденс не совпадает. Минимальные метаболические затраты были зарегистрированы при 60 об/мин, тогда как спортсмены самостоятельно выбирали в среднем около 81 об/мин. Повышение каденса не приводило к существенному перераспределению положительной работы между суставами. Во всех условиях наибольшую долю выполнял коленный сустав, далее следовали тазобедренный и голеностопный суставы. Уменьшалась работа за один оборот, но относительный вклад суставов оставался сходным. Расчетная способность мышцы производить мощность достигала максимума примерно при 80 об/мин, то есть близко к свободно выбранному каденсу участников [11]. Авторы пытались выяснить, почему велосипедисты встают из седла при спринте, резком ускорении и прохождении крутых подъемов и как при этом перераспределяется механическая работа между тазобедренным, коленным и голеностопным суставами. Как показало исследование, педалирование стоя – это не просто тот же педальный цикл без опоры на седло. Оно представляет собой отдельную координационную стратегию: мощность перераспределяется от колена к тазобедренному и голеностопному суставам; увеличивается использование массы тела; меняется направление результирующей силы на педаль; улучшается механическое преимущество коленного сустава; возрастает участие тазобедренных мышц; создаются условия для приложения большого крутящего момента. Поэтому положение стоя наиболее оправдано при кратковременной необходимости развить очень высокую мощность: во время атаки, старта, спринта или подъема на большой передаче. Особенно выраженные механические преимущества наблюдались при сочетании высокой мощности и относительно низкого каденса. Однако положение стоя не всегда «разгружает колено» или снижает риск его травмы [12].

В исследовании испанских специалистов анализировалось влияние незначительных отклонений высоты велосипедного седла (±2%) на энергоэффективность и биомеханику педалирования велогонщиков. Лучшие результаты показали заниженное

положение седла, но индивидуальные показатели эффективности спортсменов варьировались. Следовательно, подбор посадки должен быть комплексным: помимо антропометрических данных и углов в суставах необходимо учитывать кинематику, стабильность таза, субъективный комфорт и физиологический ответ атлета [13].

В исследованиях 3-го кластера (2024-2025 гг.) основное внимание уделено тому, как велосипедисты контролируют торможение, то есть перцептивно-двигательному управлению при остановке перед препятствием. Ученые изучали связь между опытом райдера и выбранной им стратегией торможения. Выяснилось, что у опытных велосипедистов склонность к «агрессивному» стилю торможения заметно выше: они начинают тормозить позже и достигают более высокого пикового замедления – такая тактика встречалась у них в 4,25 раза чаще, чем у менее опытных участников. При этом даже при использовании «агрессивного» подхода спортсмены не задействовали весь свой тормозной потенциал: фактически они применяли лишь порядка 40% от максимально возможной силы торможения, сохраняя ощутимый запас безопасности. Из этого следует важный методический вывод: обучать торможению, просто давая указания сильнее или слабее нажимать на рычаг, недостаточно. Эффективнее выстраивать тренировки так, чтобы велосипедист учился точно калибровать торможение: для этого полезно варьировать скорость движения и расстояние до точки остановки. При этом не стоит целенаправленно прививать привычку тормозить максимально поздно – ключевая задача состоит в развитии способности гибко подстраивать торможение под конкретную ситуацию [14].

Таблица 2

Визуализация связей зарубежных авторов-лидеров, занимающихся проблемами технической подготовки велосипедистов

Кластер	Наиболее часто встречающиеся авторы	Количество связей автора с другими авторами	Общая сила связи автора с другими элементами сети с учетом их веса	Частота встречаемости автора в документах или исследованиях	Средний год публикации документов, в которых встречается автор
1	Chapman, Andrew R	3	9	3	2008
	Blanch, Peter	3	9	3	2008
	Hodges, Paul W	3	9	3	2008
	Vicenzino, Bill	3	9	3	2008
2	Ferrer-Roca, Ventura	3	7	3	2017
	Galilea, Piero	3	6	2	2013
	García-López, Juan	3	7	4	2016,75
	Roig, Andreu	3	6	2	2013
3	Bellenger, Clint	2	4	2	2024
	Grimshaw, Paul	2	4	2	2024
	Winter, Lachlan	2	4	2	2024
4	Carpes, Felipe P	1	1	2	2012
	Faria, Irvin E	1	1	2	2007,5
5	Cresswell, Andrew G	1	2	2	2019,5
	Lichtwark, Glen A	1	2	2	2019,5
6	Ettema, Gertjan	0	0	2	2015,5
7	Gregor, Robert J	0	0	2	1996,5
8	Lenoir, Matthieu	0	0	2	2017,5

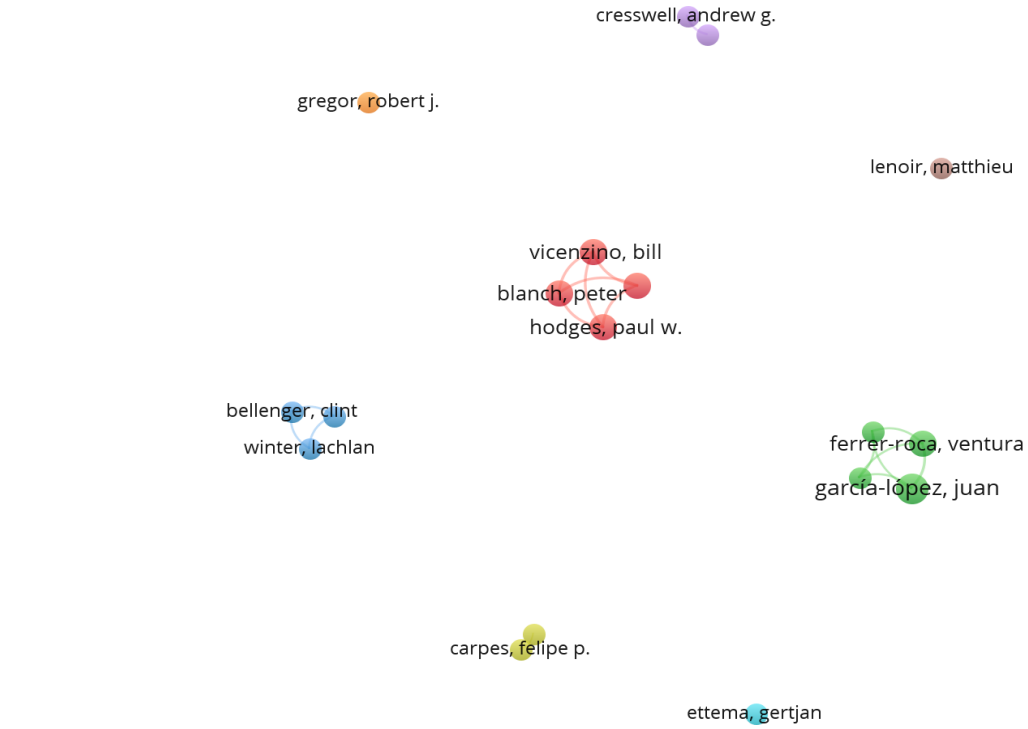


Рис. 2. Визуализация связей зарубежных авторов-лидеров, занимающихся проблемами технической подготовки велосипедистов

Отдельно в исследованиях рассматривали эффективность 3D-подбора велосипеда с применением кинематического анализа. Цель состояла в том, чтобы выяснить, помогает ли такой подход уменьшить дискомфорт во время езды. Результаты показали, что у участников, прошедших 3D-фит, по сравнению с контрольной группой достоверно улучшились показатели по трем параметрам – комфорту, усталости и боли (уровень значимости $p<0,05$). Особенно выраженным оказался эффект по шкалам комфорта и усталости: средние различия составили 3,12 и 3,95 балла соответственно. Это говорит о том, что 3D-анализ посадки – действенный способ повысить удобство езды и снизить утомляемость [15].

Ученые проверяли, сохраняется ли феномен сгибания-расслабления – flexion-relaxation phenomenon, т.е. нормальное выключение разгибателей спины в крайнем наклоне у велосипедистов, регулярно находящихся в длительной согнутой позе. По данным исследований феномен сгибания-расслабления был обнаружен не у всех велосипедистов и часто не одинаково в разных мышцах: в грудном отделе для мышц-разгибателей позвоночника он выявлен у 60% велосипедистов, в поясничном отделе для мышц-разгибателей позвоночника – 87%, для большой ягодичной мышцы – 73%. Результаты могут использоваться при изучении болей в пояснице, устойчивости туловища и построении программ тренировки мышц корпуса [16].

Большой интерес представляет анализ зарубежных научных школ по проблеме технической подготовки в велоспорте. Статистический анализ в тех же отобранных 68 специализированных публикациях выделил наиболее часто встречающиеся фамилии ученых, сгруппированные в 8 несвязанных между собой кластеров (табл. 2, рис. 2). 1-й кластер (Австралийская научная школа) включал 4 ученых, это: Эндрю Р. Чепмен (Andrew R. Chapman), PhD, лектор и консультант Университета Квинсленда (Брисбен); Питер Бланш (Peter Blanch), консультант университета Сиднея; Пол У. Ходжес (Paul W. Hodges), PhD, профессор Университета Квинсленда (The University of Queensland); Билл Вичензино (Bill Vicenzino) – ведущий австралийский ученый в области физиотерапии и спортивной медицины, PhD, профессор Университета Квинсленда. Их работы посвящены в основном биомеханике велосипедной езды [7-9].



Рис. 3. Различия и особенности кинематики движений в разных дисциплинах велоспорта по данным литературных источников [4, 22-28]

2-й кластер (Испанская научная школа) включает 2-х ученых: Хуан Гарсия Лопес (Juan García López), PhD, руководитель лаборатории биомеханики в Центре высоких спортивных достижений Леона (Испания); Вентура Феррер-Рока, PhD, спортивный биомеханик в Центре высшего спортивного мастерства в Сан-Кугат-дель-Вальес [10, 13, 17, 18].

3-й кластер составили молодые ученые из Австралийской научной школы, университета Южной Австралии, их публикации самые свежие, средний год публикаций 2024. Остальные с 4 по 8 кластер представлены отдельными исследователями из Бразилии, США и Великобритании.

Заключение. Таким образом, проведенный статистический анализ опубликованных специализированных статей позволил выявить основные направления исследований зарубежных ученых, посвященные актуальным вопросам технической подготовки в велосипедном спорте: биомеханика велосипедной езды, факторы результативности профессиональных велосипедистов, исследование технической подготовленности. Также выделены ведущие зарубежные научные школы, занимающиеся исследованиями в области биомеханики и технической подготовки велосипедистов: австрийская и испанская.

Технику движений велосипедиста ученые рассматривают как фундаментальное свойство нервной системы по управлению движением. Частными актуальными вопросами техники велосипедной езды, находящимися под прицельным изучением исследователей, являются параметры каденса, поза или посадка велосипедиста, работа коленного и тазобедренного суставов, способность мышц к своевременной активации и расслаблению.

Систематизация научных работ ведущих зарубежных ученых [4, 22-28] позволила построить схему различий и особенностей кинематики движений в разных дисциплинах велоспорта (рис. 3).

Проведенный анализ зарубежных научных источников позволил сформулировать следующие практические рекомендации по совершенствованию основных параметров техники движений велосипедистов:

Контроль и оценка техники. Оценка педалирования должна быть комплексной. Нельзя ограничиваться только физическими параметрами частоты и силы педалирования, необходимо анализировать последовательность, длительность и вариативность активации мышц по фазам цикла. Высота седла, углы, каденс – это ориентиры, а не догмы. Даже небольшие изменения данных параметров сильно влияют на суставы и энергозатраты.

Тренировка координации и нейромышечного контроля. Необходимо развивать устойчивость координации при меняющихся условиях. Включайте педалирование с изменением каденса, мощности и положения туловища. Осваивайте аэродинамическую посадку как отдельную задачу. Переход к низкой посадке – это новая координация: следите за устойчивостью таза, симметрией, амплитудами в суставах и привычной структурой педалирования. Техника педалирования стоя – отдельный навык. При смене позиции меняется биомеханика: перераспределяется нагрузка на тазобедренный и голеностопный суставы, активнее используется масса тела.

Работа с каденсом. При планировании тренировочного процесса велосипедиста необходимо придерживаться следующих параметров нагрузки: низкий каденс – для силы и крутящего момента; средний – для экономичности и выносливости; высокий – для нейромышечной координации и скорости движений. Низкий каденс может быть метаболически экономичнее, но он повышает пиковую нагрузку на мышцы. Оптимальным часто оказывается привычный темп спортсмена – он дает баланс силы и скорости.

Торможение и ситуационная готовность. Необходимо обучать спортсмена способностям оценивать скорость, дистанцию и условия, чтобы точно выбирать момент начала торможения и дозировать усилие.

Стабилизация корпуса и профилактика травм. Для удержания аэродинамической посадки без лишнего напряжения необходимо укреплять глубокие мышцы корпуса, ягодицы и разгибатели позвоночника.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в соответствии с государственным заданием №77-00021-26-00 от 30.12.2025 ФГБУ «Федеральный научный центр физической культуры и спорта» на НИР: «Формирование актуальных направлений совершенствования методик обучения юных спортсменов технике спортивных движений в различных группах видов спорта (по данным российских и зарубежных научных исследований)».

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Financing. The work was performed under the state assignment No 77-00021-26-00 dated 30.12.2025 of the Federal Scientific Center for Physical Culture and Sports for the Research Project titled “Formation of relevant directions for improving methods of teaching young athletes the technique of sports movements in various groups of sports (according to Russian and foreign scientific research)”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Three-dimensional kinematics of competitive and recreational cyclists across different workloads during cycling / R.R. Bini, F. Dagnese, E. Rocha [et al.] // European Journal of Sport Science. – 2016. – Vol. 16. – No. 5. – P. 553-559. DOI: 10.1080/17461391.2015.1135984.
2. Kinematics of backward standing starts in elite cyclists: The effect of initial crank angle / F. Nardello, R. Bernabè, S. Bettega [et al.] // Research Quarterly for Exercise and Sport. – 2023. – Vol. 94. – No. 2. – P. 476-484. DOI: 10.1080/02701367.2021.2009109.
3. Bini, R.R. Biomechanics of cycling / R.R. Bini, F.P. Carpes. – Springer, 2014. – URL: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-05539-8.pdf (дата обращения: 07.08.2026).
4. Faria, E.W. The Science of Cycling: Physiology and Training – Part 1 / E.W. Faria, D.L. Parker, I.E. Faria // Sports Medicine. – 2005. – Vol. 35. – No. 4. – P. 285-312. DOI: 10.2165/00007256-200535040-00002.
5. An analysis of intrinsic factors, performance, comfort and economy in relation to static and dynamic whole body kinematics in recreational and elite cyclists / J. Swart, W. Holiday, R. Teo, J. Fisher // Journal of Science and Cycling. – 2015. – Vol. 4. – No. 2. – URL: https://jsc-journal.com/index.php/JSC/article/view/208 (дата обращения: 07.08.2026).
6. Корягина, Ю.В. Современные тенденции научно-методического обеспечения в велоспорте (по материалам зарубежной печати) / Ю.В. Корягина // Научные труды Сибирского государственного университета физической культуры и спорта за 2012 год: материалы Итоговой конференции профессорско-преподавательского состава СибГУФК по итогам работы за 2012 год. – 2013. – С. 94-99. [In English] Koryagina Yu.V. Modern trends in scientific and methodological support in cycling (according to foreign materials). Scientific papers of the Siberian State University of Physical Culture and Sports for 2012: materials of the Final Conference of the SibSUPC faculty on the results of work for 2012. 2013. pp. 94-99. (in Russ.)
7. The influence of body position on leg kinematics and muscle recruitment during cycling / A.R. Chapman, B. Vicenzino, P.D. Blanch [et al.] // Journal of Science and Medicine in Sport. – 2008. – Vol. 11. – No. 6. – P. 519-526. DOI: 10.1016/j.jsams.2007.02.008.
8. Patterns of leg muscle recruitment vary between novice and highly trained cyclists / A.R. Chapman, B. Vicenzino, P. Blanch, P.W. Hodges // Journal of Electromyography and Kinesiology. – 2008. – Vol. 18. – No. 3. – P. 359-371. DOI: 10.1016/j.jelekin.2005.12.007.
9. Does cycling affect motor coordination of the leg during running in elite triathletes? / A.R. Chapman, B. Vicenzino, P. Blanch [et al.] // Journal of Science and Medicine in Sport. – 2008. – Vol. 11. – No. 4. – P. 371-380. DOI: 10.1016/j.jsams.2007.02.008.
10. Influence of saddle height on lower limb kinematics in well‐trained cyclists: static vs. dynamic evaluation in bike fitting / V. Ventura Ferrer-Roca, A. Roig, P. Galilea, J. García-López // The Journal of Strength & Conditioning Research. – 2012. – Vol. 26. – No. 11. – P. 3025–3029. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318245c09d.
11. The effect of cadence on the mechanics and energetics of constant power cycling / S.F. Brennan, A.G. Cresswell, D.J. Farris [et al.] // Medicine & Science in Sports & Exercise. – 2019. – Vol. 51. – No. 5. – P. 941-950. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001863.
12. Wilkinson, R.D. The mechanics of seated and nonseated cycling at very-high-power output: a joint-level analysis / R.D. Wilkinson, G.A. Lichtwark, A.G. Cresswell // Medicine & Science in Sports

& Exercise. – 2020. – Vol. 52. – No. 7. – P. 1585-1594. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002285.
13. Acute effects of small changes in bicycle saddle height on gross efficiency and lower limb kinematics / V. Ferrer-Roca, R. Bescós, A. Roig [et al.] // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2014. – Vol. 28. – No. 3. – P. 784-791. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3182a1f1a9.
14. Affordance-based control of braking in cycling: experience reveals differences in the style of control / G.C. Gotardi, J. van der Kamp, M. Navarro [et al] // Human Movement Science. – 2024. – Vol. 95. – P. 103225. DOI: 10.1016/ j.humov.2024.103225.
15. Effectiveness of a 3D bikefitting method in riding pain, fatigue, and comfort: a randomized controlled clinical trial / R.D. Scoz, P.R. de Oliveira, C.C. Pelegrina Junior [et al.] // Sports Biomechanics. – 2025. – Vol. 24. – No. 3. – P. 624-637. DOI: 10.1080/14763141.2022.2140701.
16. The occurrence of flexion-relaxation phenomenon in elite cyclists during trunk forward bending / M. Hashem Boroojerdi, A. Rahimi, M.M. Roostayi [et al.] // Sports Biomechanics. – 2024. – Vol. 23. – No. 12. – P. 3538-3550. DOI: 10.1080/14763141.2022.2126326.
17. Differences in pedalling technique between road cyclists of different competitive levels / J. García-López, S. Díez-Leal, A. Ogueta-Alday [et al.] // Journal of Sports Sciences. – 2016. – Vol. 34. – No. 17. – P. 1619-1626. DOI: 10.1080/02640414. 2015.1127987.
18. García-López, J. The effect of changes in saddle height on coordination and its variability during pedalling cycle / J. García-López, V. Ferrer-Roca, P. Floría // Sports Biomechanics. – 2025. – Vol. 24. – No. 2. – P. 277-290. DOI: 10.1080/ 14763141.2022.2109510.
19. Analysis of movement variability in cycling: an exploratory study / L. Winter, C. Bellenger, P. Grimshaw, R.G. Crowther // Sensors. – 2023. – Vol. 23. – No. 10. – P. 4972. DOI: 10.3390/s23104972.
20. A comparison between novice and elite cyclists movement stability during cycling / L. Winter, P. Grimshaw, C. Bellenger, R. Crowther // Journal of Sports Sciences. – 2025. – Vol. 43. – No. 10. – P. 995-1004. DOI: 10.1080/02640414.2025.2482356.
21. Carpes, F.P. On the bilateral asymmetry during running and cycling – a review considering leg preference / F.P. Carpes, C.B. Mota, I.E. Faria // Physical Therapy in Sport. – 2010. – Vol. 11. – No. 4. – P. 136-142. DOI: 10.1016/j.ptsp.2010.03.001.
22. Hansen, E.A. Biomechanics of cycling: a review / E.A. Hansen, J.L. Jensen // Journal of Sports Sciences. – 2002. – Vol. 20. – No. 11. – P. 927-946. DOI: 10.1080/026404102101517350.
23. Effect of crank length on cycling mechanics and muscle activity / M.R. Bin, P.A. Hume, J.L. Croft, A.E. Kilding // Journal of Science and Cycling. –2011. – Vol. 1. – No. 1. – P. 31-42. DOI: 10.2147/JSC.S13833.
24. Leleu, T.T.B.M.A. Biomechanical aspects of the ergometer and bicycle racing, competitive cycling / T.T.B.M.A. Leleu, P. Aerts, J.P. Clarys // Journal of Human Kinetics. – 2013. – Vol. 36. – P. 161-172. DOI: 10.2478/hukin 2013 0016.
25. Lucia, A. Physiology of professional road cycling / A. Lucia, J. Hoyos, J.L. Chicharro // Sports Medicine. – 2001. – Vol. 31. – No. 5. – P. 325-337. DOI: 10.2165/00007256-200131050-00003.
26. McNaughton, L.R. The biomechanics of cycling / L.R. McNaughton, J.B. Cronin // Biomechanics in Sport. – Blackwell Publishing, 2008. – P. 169-200.
27. A review of cycling on rough terrain: biomechanical and physiological considerations / T. Bernard, P. Eduoard, F. Degache, A. Belli // Sports Medicine – Open. – 2014. – Vol. 1. – No. 35. DOI: 10.1186/s4079801400351.
28. Some mechanical aspects of the ergometer and bicycle racing / G. Van Ingen Schenau, G. de Groot, A.P. Hollander, C. Offinga // Journal of Biomechanics. – 1992. – Vol. 25. – Suppl. 1. – P. S41-S48. DOI: 10.1016/0021 9290(92)90019.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Юлия Владиславовна Корягина – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр физической культуры и спорта, Москва; руководитель центра медико-биологических технологий Северо-Кавказского федерального научно-клинического центра Федерального медико-биологического агентства России, Ессентуки, e-mail: koryagina.y.v@vniifk.ru, nauka@skfmba.ru.

Сергей Викторович Нопин – доктор биологических наук, главный научный сотрудник центра медико-биологических технологий, Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства России, Ессентуки, e-mail: work800@yandex.ru.

Вероника Сергеевна Нопина – студент, Институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России, Москва, e-mail: vernopina@yandex.ru.

Оксана Николаевна Акимкина – научный сотрудник центра медико-биологических технологий, Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства России, Ессентуки, e-mail: o.akimkina@skfmba.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Yulia V. Koryagina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Leading Researcher, Federal Scientific Center of Physical Culture and Sports, Moscow; Head of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: koryagina.y.v@vniifk.ru, nauka@skfmba.ru.
Sergey V. Nopin – Doctor of Biological Sciences, Lead Researcher of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: work800@yandex.ru.
Veronika S. Nopina – Student, N.V. Sklifosovskij Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow e-mail: vernopina@yandex.ru.
Oksana N. Akimkina – Researcher of the Center of Biomedical Technologies, North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, e-mail: o.akimkina@skfmba.ru.

Для цитирования: Библиометрический анализ публикаций зарубежных исследователей, посвященных технической подготовке в велоспорте / Ю.В. Корягина, С.В. Нопин, В.С. Нопина, О.Н. Акимкина // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_38

For citation: Koryagina Yu.V., Nopin S.V., Nopina V.S., Akimkina O.N. Bibliometric analysis of foreign publications dedicated to technical training in cycling. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_38

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_39
УДК 796.966

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_39
UDC 796.966

БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫЙ ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНИКО-ТАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ХОККЕЙНЫХ ВРАТАРЕЙ 15-16 ЛЕТ С УЧЕТОМ ЗОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ БРОСКОВ

С.К. Туржанов, В.А. Блинов, А.В. Левкин, С.Н. Мищенко
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет физической культуры и спорта», г. Омск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** В статье представлен анализ соревновательной деятельности хоккейных вратарей 15-16 лет, с помощью которого были выявлены зоны игровой площадки с наибольшим количеством бросков в створ и количество пропущенных шайб. Каждая зона имеет свое название в зависимости от эффективности отражения бросков с данного участка. Предложен недельный микроцикл подготовки хоккейных вратарей, использованный в соревновательном этапе. Также разработана структура построения отдельного тренировочного занятия с использованием блочно-модульного подхода. Описаны примеры тренировочных средств технико-тактической подготовки вратарей с учетом зональной структуры бросков. ***Методы.*** Обобщение информации из литературных источников по проблеме исследования, метод регистрации соревновательной деятельности, педагогический эксперимент, методы математической статистики. ***Результаты.*** Разработана и внедрена в тренировочный процесс методика подготовки, включающая в себя пять взаимосвязанных блоков, направленных на уменьшение количества пропущенных шайб из различных зон площадки. Экспериментально доказана эффективность блочно-модульного подхода подготовки, продемонстрировавшая увеличение показателей отражения бросков у юных голкиперов. ***Заключение.*** Доказано, что учет зональной структуры бросков по воротам дает возможность наиболее эффективно планировать тренировочный процесс и корректировать слабые точки подготовки вратарей.
Ключевые слова: блочно-модульный подход, хоккейные вратари, технико-тактическая подготовка, зональная структура бросков, методика подготовки.

A BLOCK-MODULAR APPROACH TO IMPROVING TECHNICAL AND TACTICAL TRAINING OF 15-16-YEAR-OLD HOCKEY GOALKEEPERS BASED ON THE ZONAL STRUCTURE OF SHOTS

S.K. Turzhanov, V.A. Blinov, A.V. Levkin, S.N. Mishchenko
Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** This article presents an analysis of the competitive performance of 15-16-year-old hockey goalkeepers, identifying the ice rink areas with the highest number of shots on goal and the number of goals against. Each zone has its own name depending on the effectiveness of the reflection of shots from this area. A week-long training cycle for hockey goalkeepers, used in the competition stage, is proposed. The structure of creating a separate training class using a block-modular approach was also developed. Examples of training tools for the technical and tactical training of goalkeepers are described, taking into account the zonal structure of shots. ***Methods.*** A summary of information from sources on the research problem, a method for recording competitive activity, a pedagogical experiment, and mathematical statistics methods. ***Results.*** A training methodology was developed and implemented into the training process, including five interconnected blocks aimed at reducing the number of goals against from different zones of the rink. The effectiveness the block-modular training approach was experimentally proven, demonstrating an increase in shot-stopping rates in young goalkeepers. ***Conclusion.*** It has been proven that taking into account the zonal structure of shots on goal allows for the most effective planning of the training process and the correction of weak points in goaltender training.
Keywords: block-modular approach, hockey goalkeepers, technical and tactical training, zonal structure of shots, training methods.

Введение. В современном хоккее вратарь играет ключевую роль в достижении результата команды не только в одном матче, но и в целом сезоне [1-3]. Однако несмотря на это структура ведения игры вратаря очень сильно отличается от игры

полевых игроков, в связи с чем требования к подготовке голкипера становятся все жестче [4-6].

Возраст 15-16 лет является одним из ключевых этапов формирования двигательных умений, что делает данный период наиболее благоприятным для совершенствования технико-тактической подготовки [4, 7]. Как следствие, многие исследователи отмечают, что в хоккее существует эмпирический опыт подготовки вратарей, который в настоящее время недостаточно изучен. Несмотря на всю важность совершенствования технико-тактической подготовки хоккейных вратарей данный раздел считается в недостаточной мере разработанным [8].

Особый интерес привлекает анализ соревновательной деятельности хоккейных вратарей, а именно анализ зональной структуры бросков, наносимых в створ ворот. Данные о количестве и качестве бросков позволяют оценить недостатки в подготовке вратарей и определить направление корректировки и планирования тренировочного процесса юных голкиперов.

Блочно-модульный подход в подготовке спортсменов предполагает вариативный тренировочный процесс на основе блочно-модульных структур, позволяющий гибко перестраивать подготовку в зависимости от различных ситуаций [9].

Цель исследования: теоретически обосновать и экспериментально проверить эффективность методики технико-тактической подготовки на основе блочно-модульного подхода с учетом зональной структуры бросков.

Задачи исследования:

1. Провести анализ соревновательной деятельности хоккейных вратарей 15-16 лет и выделить зональную структуру бросков;

2. Определить проблемные участки площадки с наибольшим процентом пропущенных шайб;

3. Разработать и определить эффективность блочно-модульной методики технико-тактической подготовки вратарей 15-16 лет с учетом зональной структуры бросков.

Методы и организация исследования. Педагогический эксперимент проводился на базе Ассоциации «Хоккейный клуб «Авангард» (ХК «Авангард»). В исследовании приняло участие 8 вратарей Хоккейной Академии «Авангард» 15-16 лет и 8 вратарей других хоккейных школ Уральского, Сибирского и Приволжского федеральных округов.

В данном исследовании были применены следующие методы:

1. Анализ научно-методической литературы по проблеме исследования. Для получения информации о проблеме исследования была проанализирована научно-методическая литература, посвященная технико-тактической подготовке хоккейных вратарей различной квалификации.

2. Методы регистрации соревновательной деятельности при помощи платформы, используемой внутри ХК «Авангард». В программе фиксировалось общее количество бросков в створ, нанесенных с различных зон площадки. Также было зафиксировано общее количество отраженных и пропущенных бросков.

3. Педагогический эксперимент. Нами была разработана блочно-модульная методика технико-тактической подготовки хоккейных вратарей 15-16 лет с учетом зональной структуры бросков, которая включала в себя четыре взаимосвязанный блока подготовки. Модель методики заключается в поэтапном повышении уровня сложности тренировочных средств и включение ситуационных заданий в тренировочный процесс.

4. Методы математической статистики. Анализ статистических данных проводили при помощи платформы, используемой внутри ХК «Авангард». Для определения достоверности различия использовали Т-критерий Вилкоксона. Для всех приведенных данных различия считались достоверными при $p \leq 0{,}05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Нами было проанализировано 34 матча Первенства Уральского, Сибирского и Приволжского федеральных округов (юноши 15-16 лет, группа А) в сезоне 2025/26. Всего за сезон было зафиксировано 1 104 броска в створ, из которых 101 бросок закончился взятием ворот.

В ходе анализа соревновательной деятельности была выявлена следующая зональная структура бросков по воротам.

Зона атаки была разделена на 6 позиций, с которых наносился бросок. Название зон связано с опасностью поражения ворот и эффективностью отражения броска вратарем:

1. Зона «повышенной опасности» (расстояние от ворот до вершины кругов вбрасывания 6-9 метров) – броски с «пятака» площадки и добивания;

2. Зона «средней опасности с правого фланга» (расстояние от вершины кругов вбрасывания до лицевой линии 9 метров) – броски с пол борта и острых углов с правого фланга;

3. Зона «средней опасности с левого фланга» (расстояние от вершины кругов вбрасывания до лицевой линии 9 метров) – броски с пол борта и острых углов с левого фланга;

4. Зона «пониженной опасности» 1 – броски от синей линии справа;

5. Зона «пониженной опасности» 2 – броски от синей линии слева;

6. Зона «пониженной опасности» 3 – броски от синей линии по центру зоны атаки.

Результат анализа бросков 17 игр Первенства до внедрения нашей методики представлен в таблице 1.

На рисунке 1 отображено схематичное расположение бросковых зон с статистическими данными.

Таблица 1

Статистические показатели вратарей 15-16 лет
до внедрения разработанной методики (17 матчей)

Зона броска	Количество бросков	Пропущенные голы	Эффективность отражения, %
Зона «повышенной опасности»	266	51	80,83
Зона «средней опасности с правого фланга»	56	1	98,21
Зона «средней опасности с левого фланга»	58	2	96,55
Зона «пониженной опасности» 1	65	0	100
Зона «пониженной опасности» 2	94	4	95,74



Рис. 1. Схематичное изображение бросковых зон [10]

При анализе данных таблицы 1 и схемы бросков видно, что наибольшее количество бросков и голов пропускается из зоны «повышенной опасности» (266 бросков, из них 51 пропущенный). Это говорит нам о том, что броски с близкого расстояния от ворот являются наиболее опасными и требуют большего внимания в тренировочном процессе. В данной зоне процент отражения равен 80,83%, что ниже, чем в остальных зонах.

Броски со средней дистанции со стороны флангов показывают высокий процент отражения (средний процент отражения равен 97,4%). Это указывает на то, что броски с флангов не доставляют особых проблем вратарям для отражения.

Броски из зон «пониженной опасности» показывают наибольший процент отражения по сравнению с другими зонами (средний процент отражений в трех зонах равен 98,6%). Это свидетельствует о том, насколько вратари готовы к дальним броскам и набросам от синей линии.

На основе зональной структуры бросков была разработана блочно-модульная методика совершенствования технико-тактических действий хоккейных вратарей, включающая в себя 4 взаимосвязанных между собой блока. Модель методики заключается в постепенном повышении сложности и включении в тренировочный процесс голкиперов упражнений ситуационного характера. Блоки описаны в таблице 2.

На основе предложенной блочно-модульной системы мы предлагаем один из вариантов построения тренировочного занятия на 75 минут (табл. 3).

Таблица 2

Содержание блоков методики

Название блока	Описание блока
Базовый технический блок	Данный блок подготовки заключается в совершенствовании базовых навыков техники катания, ловли и отбивания шайбы. Здесь главное – стабильность выполнения двигательных действий. Все упражнения выполняются без противодействия противника или тренера.
Специализированный блок	В данном блоке происходит отработка отражений бросков с проблемных участков площадки. Дозировка упражнений варьируется в зависимости от процента пропуска голов из той или иной зоны атаки. 50% времени уделяется зоне с наибольшим процентом пропущенных голов, 30-35% – зоне со средним количеством, 15-20% – зоне с наименьшим процентом пропущенных шайб.
Ситуационный блок	В данном разделе происходит формирование адаптации вратаря к изменениям соревновательной деятельности. Используются ситуационные задания, близкие к тем, что происходят в процессе соревновательной деятельности. Упражнения выполняются с постепенным усложнением условий, добавляются полевые игроки, трафик перед воротами, повторные броски или серии бросков с различных участков площадки.
Коррекционный блок	Данный блок направлен на выявление ошибок вратаря в процессе соревновательной деятельности и их дальнейшую корректировку. Здесь происходит видеоанализ игр и тренировочного процесса, проводятся беседы с вратарями, а также происходит подсчет статистических данных.

Таблица 3

Пример построения тренировочного занятия на 75 минут

Части занятия	Содержание	Применяемые блоки
Подготовительная (15 мин)	Общеразвивающие упражнения в движении, базовые элементы катания («полуфонарики», «фонарики», «кораблики», приставные шаги, слайды»)	1 блок
Основная часть (50 мин)	1. Зональная работа: отработка ловли отражения бросков с разных зон. 2. Ситуационные упражнения: отражение шайбы после перемещения на передачу в «опасную зону». Перемещение осуществляется несколькими вариантами (на ногах, на щитках), а также из различных исходных положений (стоя у штанги, из положения RVH (Reverse Vertical Horizontal – метод игры вратаря у ближней штанги при острых углах и за воротами: ближняя к штанге нога лежит на льду горизонтально щитком к штанге, а дальняя стоит вертикально на коньке), после перемещения «post to post» («от штанги к штанге»))	2-3 блок

Для повышения эффективности отражения бросков из различных зон можно применять следующие упражнения:

Для отражения бросков из «опасной зоны»:

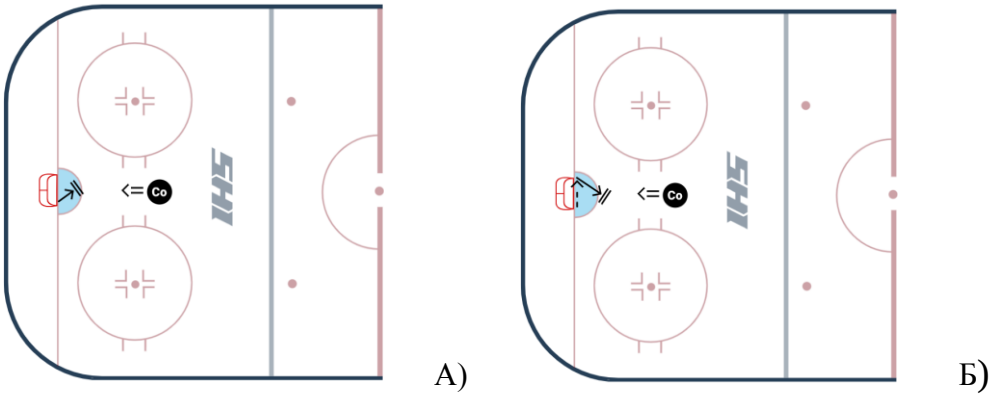
1. Отбивание повторного броска после отскока – вратарь находится посередине площади ворот, игрок или тренер выполняет бросок на отскок от вратаря, затем добивает отскочившую шайбу. Упражнение направлено на отработку отражений добивания, ближнего боя и накрывания шайбы;

2. Отражение броска с «пятака» после выхода от штанги. Упражнение выполняется в двух вариациях: с выходом от одной штанги и после перемещения от штанги к штанге. Упражнение направлено на повышение эффективности отражения шайб с ближнего «пятака» за, перед, и из-за ворот.

Для отражения бросков из зоны «средней опасности» с левого/правого фланга:

1. Отражения броска после перемещения с вершины к штанге. Голкипер расположен в верхнем секторе площади ворот, по сигналу он выполняет передвижение за игроком с шайбой. Игрок после прохождения фишки, расположенной на пол борта, совершает бросок в ближний угол ворот;

2. Отражение броска после перемещения с вершины в положение «overlap» (голкипер слегка выносит ведущую ногу (ту, что начинает движение первой) за линию штанги, перекрывая ближний угол, но при этом остается в оптимальной глубине позиции). Вратарь располагается на правой/левой вершине вратарской площади ворот. По сигналу выполняет передвижение за игроком приставными шагами до положения «overlap» (тактическое положение вратаря в хоккее, которое он принимает при атаке с острого угла). После этого происходит бросок в любую часть ворот.



А) Б)

Рис. 2. Схематичное изображение выполнения упражнения 2 в двух вариантах (А – выход от штанги, Б – выход от штанги после перемещения от штанги к штанге) [11]

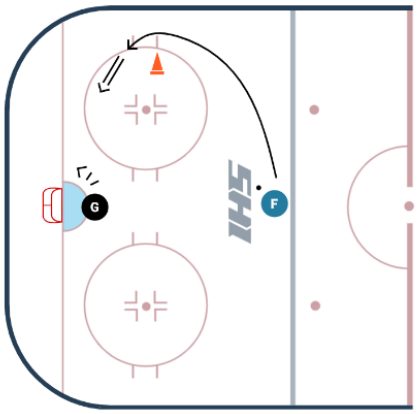


Рис. 3. Схематичное изображение выполнения упражнения 1 [11]

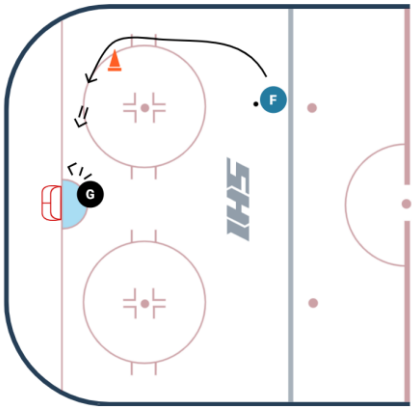


Рис. 4. Схематичное изображение выполнения упражнения 2 [11]

Для отражения бросков из зон «пониженной опасности 1, 2, 3»:

1. Отражение броска после выхода от штанги на вершину площади ворот с искусственным трафиком. Вратарь располагается у одной из штанг ворот. По сигналу вратарь выходит от штанги на вершину площади ворот и отбивает бросок от синей линии. В это время перед вратарем располагается манекен, имитирующий трафик перед воротами. Это заставляет вратаря двигать корпусом и головой для того, чтобы увидеть момент броска.

2. Отражение броска после перемещения с вершины на вершину. Вратарь располагается на одной из вершин площади ворот. По сигналу вратарь выполняет перемещение Т-образным шагом на противоположную вершину площади и отражает бросок с дальней дистанции в противоход.

Также нами предложен недельный микроцикл подготовки вратарей, который мы рекомендуем использовать в соревновательном этапе подготовки (табл. 4).

Данная блочно-модульная методика совершенствования технико-тактических действий хоккейных вратарей 15-16 лет с учетом зональной структуры бросков применялась на протяжении 6 недель. Упражнения ситуационного характера обсуждались с главными тренерами команд для совместного планирования тренировочного процесса. Подбирались такие средства тренировки, которые решали задачи коррекции игры вратарей и совершенствования игры полевых игроков на командных тренировках. На вратарских тренировках (раз в неделю) применялись средства базового блока подготовки для отработки технической подготовки вратарей.

Таблица 4

Недельный микроцикл подготовки вратарей

День недели	Содержание	Направленность
Понедельник	Отдых + коррекционный блок	Разбор ошибок по видео
Вторник	Базовый блок + Зональный блок: броски из зоны «повышенной опасности»	Техника перемещений Техника ловли и отражения бросков корпусом ловушкой/блокером
Среда	Зональный блок: отражение бросков с зоны «средней опасности»: с флангов площадки Броски из зоны «пониженной опасности»	Техника ловли/отбивания бросков ловушкой/блокером Работа при трафике Исправление ошибок в процессе тренировки
Четверг	Работа с командой Коррекционный блок	Исправление ошибок в процессе тренировки
Пятница	Ситуационный блок: упражнения, имитирующие игровые ситуации	Принятие решений в зависимости от ситуации Чтение игры

В ходе исследования вратари были разделены на две группы: контрольную и экспериментальную. Экспериментальная группа состояла из вратарей Хоккейной Академии «Авангард» 15-16 лет (n=8), а в контрольную группу входили вратари других хоккейных школ Уральского, Сибирского и Приволжского федеральных округов (n=8). Методика котрольной группы не подверглась изменению, а в тренировочный процесс экспериментальной группы был внедрен разработанный нами блочно-модульный подход. Сравнительный анализ результатов двух групп представлен в таблице 5.

На рисунке 5 показано схематичное изображение бросковых зон после педагогического эксперимента.

Таблица 5

Сравнительные показатели КГ и ЭГ до и после педагогического эксперимента, %

Зоны бросков	КГ до эксперимента	ЭГ до эксперимента	P≤	КГ после эксперимента	ЭГ после эксперимента	P≤
Зона «повышенной опасности»	81,67	80,83	–	83,75	91,37	0,05
Зона «средней опасности с правого фланга»	93,42	98,21	–	94,54	97,73	–
Зона «средней опасности с левого фланга»	90,12	96,55	0,05	91,46	100	0,05
Зона «пониженной опасности» 1	97,23	100	–	96,67	100	–
Зона «пониженной опасности» 2	95,45	95,74	–	94,32	100	0,05
Зона «пониженной опасности» 3	97,56	100	–	97,31	100	–

Примечание: КГ – контрольная группа; ЭГ – экспериментальная группа.



Рис. 5. Схематичное изображение бросковых зон [10]

При анализе результатов таблицы 5 видно, что статистические показатели экспериментальной группы значительно улучшились. Наиболее высокий процент прироста зафиксирован в отражении бросков в зоне «повышенной опасности» (с 80,83 до 91,37%, прирост равен 10,51%). Процент отражения бросков в данной зоне до внедрения нашей методики был наименьший, что показывает насколько эффективен оказался блочно-модульный подход к тренировочному процессу хоккейных вратарей с учетом зональной структуры бросков. Показатели контрольной группы тоже увеличились, но процент прироста незначительный (с 81,67 до 83,75%, прирост

составил 2,08%). Повышение эффективности соревновательной деятельности вратарей экспериментальной группы связано с включением в тренировочный процесс ситуационных заданий из модуля подготовки. Вратари выполняли технико-тактические задания ситуационного характера, при этом интеграция данных ситуаций производилась исходя из выявленной зональной структуры бросков, что привело к повышению эффективности соревновательной деятельности вратарей. Данный подход позволил оптимизировать процесс планирования тренировочных нагрузок.

Заключение. Анализ соревновательной деятельности показал, что наибольшее число бросков и пропущенных шайб приходится на зону «повышенной опасности» (6-9 метров от ворот). Следовательно, необходимо уделять повышенное внимание отработке отражения бросков с данной дистанции.

В ходе исследования нами была разработана и внедрена в тренировочный процесс блочно-модульная методика совершенствования технико-тактических действий хоккейных вратарей 15-16 лет с учетом зональной структуры бросков, включающая в себя 4 взаимосвязанных между собой блока подготовки: базовый технический, специализированный, ситуационный и коррекционный. Методика заключается в повышении сложности тренировочных заданий и включении в тренировочный процесс ситуационных средств подготовки.

В результате внедрения нашей методики подготовки в тренировочный процесс хоккейных вратарей 15-16 лет произошло достоверное повышение эффективности отражения бросков из различных зон площадки. Результаты обеих исследуемых групп демонстрировали рост показателей (табл. 5). Предложенный подход позволил повысить уровень технико-тактических действий вратарей, при этом эффективность технико-тактических действий возросла на достоверном уровне ($p \leq 0,05$).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никонов, Ю.В. Подготовка юных хоккеистов: учебное пособие / Ю.В. Никонов. – Минск: Асар, 2008. – 320 с.
2. Севенард, Д.В. Голкипер в современном российском хоккее с шайбой. Часть 2. Подготовка и игра вратаря: обзор состояния дел / Д.В. Севенард, С.И. Швед, В.С. Волков // Научно-спортивный журнал. – 2023. – Т. 1. – № 2. – С. 74-119.
3. Daccord, B. Hockey goaltending. Proven techniques for dominating the net / B. Daccord. – USA: “Human Kinetics”, 2009. – 268 p.
4. Бабаев, Н.М. Структура методики тактико-технической подготовки хоккейных вратарей 15-17 лет на основе вариативности действий в условиях неопределенности / Н.М. Бабаев, В.В. Козин, К.К. Михайлов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2026. – № 3. – С. 76-81.
5. Соловьев, Н.М. Морфологические особенности как фактор выбора стиля игры хоккейного вратаря / Н.М. Соловьев, О.С. Васильченко // Тезисы докладов XLV научной конференции студентов и молодых ученых вузов Южного федерального округа: Часть 2. – Краснодар: Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, 2018. – С. 47.
6. Ice Hockey Goaltender Physiology Profile and Physical Testing: A Systematic Review and Meta-Analysis / V. Marcotte-L’Heureux, J. Charron, R. Panenic, A.S. Comtois // International Journal of Exercise Science. – 2021. – Vol. 6. – No. 14. – P. 855-875.
7. Крутских, В.В. Особенности физической подготовки хоккейных вратарей 15-16 лет на этапах подготовительного периода: специальность 13.00.04: дисс … канд. пед. наук / Владислав Вячеславович Крутских. – Москва, Рос. гос. акад. физ. культуры, 2002. – 157 с.
8. Прохоренко, А.Н. Эффективность использования вратарями своих профессиональных навыков: методическое пособие / А.Н. Прохоренко. – Прокопьевск, 2025. – 24 с.
9. Блочно-модульная физическая подготовка хоккеистов высокой квалификации / В.В. Рыбаков, А.В. Уфимцев, В.А. Молчанов, А.А. Зуев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2005. – № 4-1. – С. 237-242.
10. A1Stat. – URL: https://stars.hawk.ru/statistics (дата обращения: 20.06.2026).
11. IceHockeySystems.com: hockey coaching tools and resources / Ice Hockey Systems Inc. – URL: https://www.icehockeysystems.com/ (дата обращения: 20.07.2026).

REFERENCES

1. Nikonov Yu.V. Training of Young Hockey Players: a textbook. Minsk: Asar, 2008, 320 p. (in Russ.)
2. Sevenard D.V., Shved S.I., Volkov V.S. Goalkeeper in contemporary/modern Russian ice hockey. Part 2. Goalkeeper training and play: overview of the current situation. *Scientific and Sports Magazine*, 2023, vol. 1, no. 2, pp. 74-119. (in Russ.)
3. Daccord B. Hockey goaltending. Proven techniques for dominating the net. USA: Human Kinetics, 2009. 268 p.
4. Babaev N.M., Kozin V.V., Mikhailov K.K. Structure of the technical and tactical training methodology for ice hockey goaltenders aged 15-17 based on action variability under conditions of uncertainty. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2026, no. 3, pp. 76-81. (in Russ.)
5. Solovyov N.M., Vasilchenko O.S. Morphological features as a factor in choosing a hockey goalkeeper's playing style. Abstracts of the XLV Scientific Conference of Students and Young Scientists of Southern Federal District Universities. Part 2. Krasnodar: Kuban State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 2018, pp. 47. (in Russ.)
6. Marcotte-L'Heureux V., Charron J., Panenic R., Comtois A.S. Ice Hockey Goaltender Physiology Profile and Physical Testing: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Exercise Science*, 2021, vol. 6, no. 14, pp. 855-875.
7. Krutskikh V.V. Features of physical training of hockey goalkeepers aged 15-16 at the preparatory period stages: an author's dissertation. Moscow: Russian State Academy of Physical Culture, 2002. 157 p. (in Russ.)
8. Prokhorenko A.N. The Effectiveness of Goalkeepers' Use of Their Professional Skills: methodological guide. Prokopyevsk, 2025. 24 p. (in Russ.)
9. Rybakov V.V., Ufimtsev A.V., Molchanov V.A., Zuev A.A. Block-modular physical training of highly qualified hockey players. *Bulletin of the South Ural State University*, 2005, no. 4-1, pp. 237-242. (in Russ.)
10. A1Stat. Available at: https://stars.hawk.ru/statistics (accessed 20.06.2026).
11. IceHockeySystems.com: hockey coaching tools and resources. Ice Hockey Systems Inc. Available at: https://www.icehockeysystems.com/ (accessed: 20.07.2026).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Сергей Конакпаевич Туржанов – аспирант, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, Омск, e-mail: sergei.turzhanov@mail.ru.

Вячеслав Анатольевич Блинов – кандидат педагогических наук, доцент, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, Омск, e-mail: timfh@mail.ru.

Артем Викторович Левкин – кандидат педагогических наук, доцент, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, Омск, e-mail: lyovkin.av@mail.ru.

Сергей Николаевич Мищенко – преподаватель, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, Омск, e-mail: sergey-m1972@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Sergey K. Turzhanov – Post-Graduate Student, Lecturer, Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, e-mail: sergei.turzhanov@mail.ru.

Vyacheslav A. Blinov – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, e-mail: timfih@mail.ru.

Artyom V. Levkin – Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor, Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, e-mail: lyovkin.av@mail.ru.

Sergey N. Mishchenko – Lecturer, Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, e-mail: sergey-m1972@mail.ru.

Для цитирования: Блочно-модульный подход к совершенствованию технико-тактической подготовки хоккейных вратарей 15-16 лет с учетом зональной структуры бросков / С.К. Туржанов, В.А. Блинов, А.В. Левкин, С.Н. Мищенко // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_39

For citation: Turzhanov S.K., Blinov V.A., Levkin A.V., Mishchenko S.N. A block-modular approach to improving technical and tactical training of 15-16-year-old hockey goalkeepers based on the zonal structure of shots. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_39

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_40
УДК 57.056

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_40
UDC 57.056

ВЛИЯНИЕ ПОЛУШАРНОГО ДОМИНИРОВАНИЯ НА ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ В АЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДАХ СПОРТА СПОРТСМЕНОВ-ИНВАЛИДОВ С СЕНСОРНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ

К.С. Кошкина, Е.В. Быков, Е.Г. Сидоркина, А.В. Чипышев, В.В. Сверчков
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет физической культуры», г. Челябинск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Тип полушарного доминирования влияет на постуральную устойчивость, но у спортсменов с сенсорными нарушениями этот механизм изучен недостаточно. Цель – выявить особенности постуральной устойчивости у спортсменов-инвалидов по слуху в зависимости от полушарного доминирования. ***Методы.*** Обследовано 39 спортсменов (26 глухих, 13 с нормальным слухом), специализирующихся в ациклических видах спорта. Тип доминирования определяли тестом Тимченко. Стабилометрию проводили в пробе Ромберга с открытыми и закрытыми глазами. ***Результаты.*** У глухих спортсменов с доминированием левого полушария при закрытых глазах снижается площадь статокинезиограммы, тогда как у них же возрастают длина пути, скорость и энергозатраты (зрительно-перцептивный контроль). У глухих со смешанным типом доминирования при закрытых глазах все параметры увеличиваются (зрительный контроль). ***Заключение.*** Левополушарные глухие спортсмены демонстрируют уникальный проприоцептивный профиль с компенсаторной перестройкой. Тип доминирования следует учитывать при тренировке баланса.
Ключевые слова: полушарное доминирование, постуральная устойчивость, сенсорные нарушения, спортсмены, инвалиды, ациклические виды спорта.

THE INFLUENCE OF HEMISPHERIC DOMINANCE ON THE FEATURES OF POSTURAL STABILITY OF ACYCLIC SPORTS ATHLETES WITH SENSORY IMPAIRMENT

K.S. Koshkina, E.V. Bykov, E.G. Sidorkina, A.V. Chipyshev, V.V. Sverchkov
Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia

Annotation. ***Introduction.*** Hemispheric dominance affects postural stability, but this mechanism is understudied in athletes with sensory impairment. The aim was to identify postural stability features in athletes with hearing impairment depending on hemispheric dominance. ***Methods.*** 39 acyclic sports athletes (26 deaf, 13 normal hearing) were examined. We assessed the dominance type using the Timchenko's test as well as the Romberg test with eyes open and closed for stabilometry. ***Results.*** The deaf athletes with left hemisphere dominance have a reduced statokinesiogram area (eyes closed), as well as increased path length, velocity and energy expenditure (visual-perceptive control). The deaf athletes with the mixed dominance type have an increase in all the parameters (visual control) with their eyes closed. ***Conclusion.*** The deaf athletes with left hemisphere dominance exhibit a unique proprioceptive profile with compensatory rearrangement. Hemispheric dominance should be taken into account in the design of balance training.
Keywords: hemispheric dominance, postural stability, sensory impairment, athletes, the disabled, acyclic sports.

Введение. В современной науке о мозге проблема функциональной межполушарной асимметрии – одна из наиболее сложных и актуальных. Профиль функциональной асимметрии мозга (ФАМ), являясь одним из основных показателей функционирования нервной системы, определяет психологическую и двигательную индивидуальность, а также играет роль в адаптации организма к условиям окружающей среды [1]. Выделяют основные виды функциональной асимметрии: моторная, сенсорная и психическая.

Для спортивных педагогов особый интерес вызывает моторная асимметрия, оказывающая влияние на технические характеристики в избранном виде спорта. Под моторной асимметрией понимается совокупность признаков неравенства функций верхних и нижних конечностей, половин туловища и лица в формировании двигательного поведения и его выразительности [2].

Отмечается, что «межполушарная асимметрия и межполушарное взаимодействие значительно изменяются под воздействием регулярных физических нагрузок» [1]. Одним из наиболее важных психофизиологических факторов, влияющих на успешность спортивной деятельности, является индивидуальный характер ФАМ [3]. Тип межполушарной асимметрии – профиль латеральной организации (ПЛО) головного мозга – может рассматриваться как фактор, обуславливающий специфику протекания высших психических процессов, включая и двигательные функции, типы ПЛО закономерно связаны с динамическими характеристиками двигательных функций и их амплитудными показателями [3]. Проявление таких физических качеств, как сила, быстрота, выносливость, зависит от типа межполушарной организации моторных и сенсорных процессов. Межполушарная организация мозга оказывает влияние на развитие физических способностей, характерных специфике избранного вида спорта [4]. И.М. Мазикин с соавт. (2016) выявили, что правостороннее доминирование мануальных, слухоречевых и зрительных функций является благоприятным показателем успешности зрительно-пространственной деятельности. К пространственным функциям относятся способность ориентироваться не только во внешнем зрительном пространстве, но и в собственном теле [5].

Л.В. Игнатьевой с соавт. (2016) среди спортсменов игровых видов спорта (баскетбол и футбол) установлено преобладание правшей над левшами (баскетболисты: 84,10% против 10,00%; футболисты: 70,40% против 19,10%), преимущественно правшами оказались 5,80% баскетболистов и 9,50% футболистов, что обусловлено спецификой игры – у баскетболистов на руки возлагается больше функций в силу специфики игры, а у футболистов игровые задачи решаются посредством ног [6]. По данным Y. Ouchi et al. (1999), в положении стоя с открытыми глазами происходит активация зрительно-ассоциативной коры головного мозга, переднего и заднего отделов червя мозжечка, а также среднего мозга; стояние с закрытыми глазами активировало префронтальную кору (область Бродмана 8 и 9) [7].

Несмотря на известную роль мозжечка и корковых структур в поддержании вертикальной позы остается неясным, как исходная функциональная асимметрия полушарий головного мозга модулирует постуральные стратегии в условиях двойной сенсорной депривации – отсутствия слуха и временного выключения восприятия зрительной информации. Понимание этих механизмов критически важно для профилактики травматизма у спортсменов с депривацией слуха, так как специфика ациклических видов спорта требует постоянной коррекции положения тела в пространстве в ответ на неожиданные нынешние стимулы.

Цель исследования – выявить влияние типа полушарного доминирования на особенности постуральной устойчивости у специализирующихся в ациклических видах спорта спортсменов-инвалидов по слуху.

Методы и организация исследования. Исследование проводилось в 2025 г. на базе Научно-исследовательского института олимпийского спорта и лаборатории кафедры спортивной медицины и физической реабилитации Уральского государственного университета физической культуры (УралГУФК) в рамках выполнения государственного задания «Особенности адаптации к физическим нагрузкам спортсменов-инвалидов в зависимости от нозологической формы инвалидности» (№ 777-00029-26-00). Исследование выполнено в соответствии с Хельсинкской декларацией и одобрено этическим комитетом УралГУФК № 2 от 08.10.2024 г.

Обследовано 39 спортсменов мужского и женского пола в возрасте 18-30 лет, специализирующихся в ациклических видах спорта. Сформировано две группы: первая –

основная группа (n=26) – включала спортсменов-инвалидов по слуху 3-й группы (с диагнозом «нейросенсорная тугоухость 3-4 степени, врожденная»); вторая – контрольная группа (n=13) – спортсмены с нормальным уровнем слуха, без инвалидности. Критерием включения в исследование являлось занятие ациклическими видами спорта, наличие инвалидности для основной группы спортсменов, отсутствие обострения хронических заболеваний на момент проведения обследования, отсутствие беременности и менструации у спортсменок, информированное добровольное согласие на участие в обследовании и согласие на обработку персональных данных.

Для оценки полушарной асимметрии применялся тест на полушарное доминирование Н.М. Тимченко на аппаратно-программном комплексе (АПК) «Психотест» (ООО «Нейрософт», Россия). Тестирование включало 20 вопросов, на которые обследуемый должен был дать один из предложенных вариантов ответа: согласие или несогласие с каждым из утверждений («Да» или «Нет») [8-10]. Обработка результатов проводилась в автоматическом режиме. Для оценки параметров постуральной устойчивости применялась компьютерная стабилометрия, проводимая на АПК «ST-150» (ООО «Мера-ТСП», Россия) [11-13]. В качестве пробы применялся модифицированный тест Ромберга с европейской установкой стоп на стабилометрической платформе [5] без применения технических средств реабилитации у спортсменов-инвалидов по слуху. Тест Ромберга включал два этапа: первый этап – с открытыми глазами (ОГ), второй этап – с закрытыми глазами (ЗГ). Каждый из этапов длился по 52 с [12].

Обработка результатов исследования проводилась с применением ПО Microsoft Excel-2017 для Windows-10 и пакета анализа SPSS STATISTICA V.10 (IBM StatSoftInc., США). Полученные результаты не подчинялись закону нормального распределения по критерию Шапиро-Уилка, поэтому в качестве метода математической статистики использовались непараметрические методы: критерии Вилкоксона (для сравнения данных внутри одной группы) и Краскела-Уоллиса (для сравнения данных между подгруппами спортсменов). Различия статистически значимы при $p<0,05$ и $p<0,01$.

Результаты исследования и их обсуждение. По данным проведенного тестирования с применением теста Н.М. Тимченко все обследованные спортсмены основной и контрольной групп были распределены по типу полушарного доминирования. Основная группа спортсменов-инвалидов по слуху была разделена на две подгруппы: подгруппа 1А – доминирование левого полушария (n=12); подгруппа 1Б – смешанный тип доминирования (n=13). Контрольная группа – спортсмены с нормальным уровнем слуха – распределены на две подгруппы: подгруппа 2А – доминирование левого полушария (n=8); подгруппа 2Б – смешанный тип доминирования (n=5). В основной группе спортсменов-инвалидов по слуху был выявлен единичный случай доминирования правого полушария, поэтому он не был учтен при анализе результатов исследования. Результаты исследования показателей стабилометрии у глухих спортсменов-инвалидов представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Динамика изменения показателей стабилометрии у глухих спортсменов с различным типом полушарного доминирования представлена на рисунке 1.

В подгруппе спортсменов-инвалидов по слуху с доминированием левого полушария головного мозга (подгруппа 1А) при проведении пробы Ромберга с ЗГ выявлено увеличение длины пути статокинезиограммы (L) на 35,13%, $p=0,006$, скорости перемещения центра давления (ЦД) (V) на 34,94%, $p=0,006$ и энергозатрат (А) на 52,80%, $p=0,022$.

В подгруппе спортсменов-инвалидов по слуху со смешанным типом доминирования (подгруппа 1Б) при проведении пробы Ромберга с ЗГ выявлено увеличение L на 51,94%, $p=0,004$, V на 50,75%, $p=0,004$ и А на 87,10%, $p=0,004$. Коэффициент Ромберга (КР) в подгруппе 1А составил 148,00%, в подгруппе 1Б – 166,00% (различия статистически не значимы: $Z=-1,142$; $p=0,247$).

Результаты исследования стабилометрии у спортсменов с нормальным уровнем слуха представлены в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 1

Показатели компьютерной стабилометрии у глухих спортсменов-инвалидов в зависимости от типа полушарного доминирования, Me [Q1; Q3]

Показатели	Глухие спортсмены		Z	P<
	Доминирует левое полушарие* (подгруппа 1А)	Смешанный тип доминирования** (подгруппа 1Б)		
L ОГ, мм	249,90 [237,10; 290,40]	200,60 [171,00; 257,90]	*2,745 **2,830	*0,006 **0,004
L ЗГ, мм	337,70 [299,90; 358,00]	304,80 [210,80; 383,90]		
S ОГ, мм^2	167,50 [124,70; 234,20]	127,70 [87,20; 162,90]	*0,235 **1,851	*0,813 **0,064
S ЗГ, мм^2	151,80 [116,60; 214,10]	162,60 [69,30; 270,80]		
V ОГ, мм/с	8,30 [7,90; 9,70]	6,70 [5,70; 8,60]	*2,745 **2,830	*0,006 **0,004
V ЗГ, мм/с	11,20 [10,00; 11,90]	10,10 [7,00; 12,80]		
A ОГ, Дж	1,25 [1,12; 1,41]	0,93 [0,69; 1,30]	*2,274 **2,830	*0,022 **0,004
A ЗГ, Дж	1,91 [1,76; 2,53]	1,74 [1,08; 2,92]		
КР ЗГ, %	148,00 [139,00; 167,00]	166,00 [133,00; 270,00]	$Z_{1А-1Б=}$-0,142	$p_{1А-1Б}$=0,247

Примечание: ОГ – открытые глаза; ЗГ – закрытые глаза; L – длина пути статокинезиограммы; S – площадь статокинезиограммы; V – скорость перемещения центра давления; А – энергозатраты; КР – коэффициент Ромберга; * – различия между показателями у спортсменов с доминированием левого полушария головного мозга; ** – различия между показателями у спортсменов со смешанным типом доминирования.

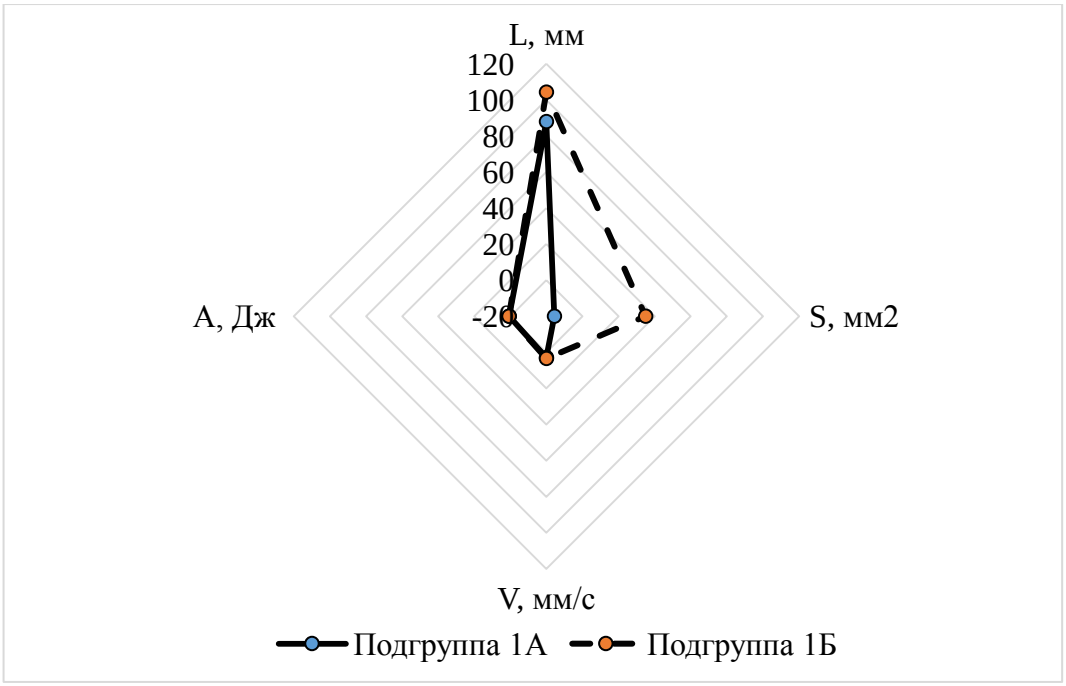


Рис. 1. Динамика показателей стабилометрии при проведении пробы Ромберга у глухих спортсменов в зависимости от типа полушарного доминирования

Примечание: L – длина пути статокинезиограммы; S – площадь статокинезиограммы; V – скорость перемещения центра давления; А – энергозатраты.

Таблица 2

Показатели компьютерной стабилометрии у спортсменов с нормальным уровнем слуха в зависимости от типа полушарного доминирования, Me [Q1; Q3]

Показатели	Спортсмены с нормальным слухом		Z	P<
	Доминирует левое полушарие* (подгруппа 2А)	Смешанный тип доминирования** (подгруппа 2Б)		
L ОГ, мм	197,10 [193,50; 233,70]	202,50 [201,90; 227,20]	*2,520 **2,022	*0,011 **0,043
L ЗГ, мм	286,40 [264,70; 335,20]	292,80 [267,50; 371,50]		
S ОГ, мм^2	79,00 [61,60; 168,90]	127,10 [87,70; 132,90]	*2,100 **0,943	*0,035 **0,345
S ЗГ, мм^2	155,40 [100,30; 269,10]	148,00 [129,70; 243,80]		
V ОГ, мм/с	6,60 [6,50; 7,80]	6,80 [6,70; 7,50]	*2,520 **2,022	*0,011 **0,043
V ЗГ, мм/с	9,60 [8,80; 11,20]	9,70 [8,90; 12,30]		
A ОГ, Дж	0,79 [0,70; 1,31]	1,13 [0,98; 1,19]	*2,520 **2,022	*0,011 **0,043
A ЗГ, Дж	1,50 [1,37; 2,59]	2,05 [1,90; 2,46]		
КР ЗГ, %	159,00 [124,00; 221,00]	218,00 [194,00; 225,00]	$Z_{2А-2Б=}$-0,026	$p_{2А-2Б}$=0,284

Примечание: ОГ – открытые глаза; ЗГ – закрытые глаза; L – длина пути статокинезиограммы; S – площадь статокинезиограммы; V – скорость перемещения центра давления; А – энергозатраты; КР – коэффициент Ромберга; * – различия между показателями у спортсменов с доминированием левого полушария головного мозга; ** – различия между показателями у спортсменов со смешанным типом доминирования.

В подгруппе спортсменов с нормальным уровнем слуха с доминированием левого полушария (подгруппа 2А) при проведении пробы Ромберга при ЗГ выявлено увеличение L на 45,31%, p=0,011, площади статокинезиограммы (S) на 96,71%, p=0,035, V на 45,45%, p=0,011 и А на 89,87%, p=0,011 (рис. 2).

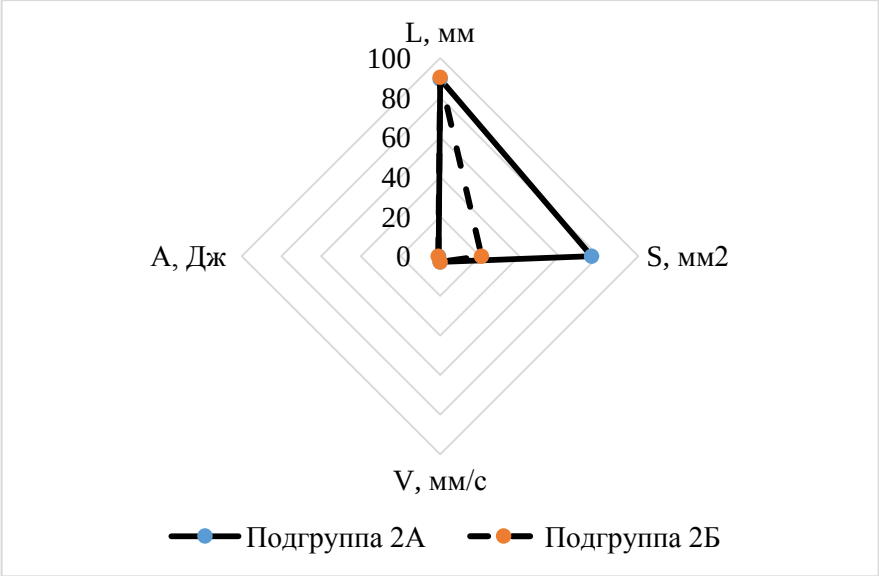


Рис. 2. Динамика показателей стабилометрии при проведении пробы Ромберга у спортсменов с нормальным уровнем слуха в зависимости от типа полушарного доминирования

Примечание: L – длина пути статокинезиограммы; S – площадь статокинезиограммы; V – скорость перемещения центра давления; А – энергозатраты.

В подгруппе спортсменов с нормальным уровнем слуха со смешанным типом доминирования (подгруппа 2Б) при проведении пробы Ромберга при ЗГ выявлено увеличение L на 44,59%, p=0,043, V на 42,65%, p=0,043 и A на 81,42%, p=0,043.

У спортсменов с нормальным уровнем слуха и левополушарным типом доминирования (группа 2А) при ЗГ показатель S возрастает (с 79,00 мм^2 до 155,40 мм^2, p=0,035), тогда как у глухих спортсменов с левополушарным типом доминирования снижается. Это позволяет предположить формирование уникального сенсорного профиля с преобладанием проприоцепции у глухих спортсменов с левополушарным типом доминирования. Межгрупповой анализ (основная и контрольная группы) показателя КР ЗГ по критерию Краскела-Уоллиса не выявил достоверных различий (p=0,221). При проведении пост-хок анализа с применением медианного теста и сравнения рангов между четырьмя подгруппами спортсменов было отмечено, что наименьшие показатели КР имели спортсмены-инвалиды по слуху с доминирующим левым полушарием (рис. 3).

Результаты проведенного исследования показали, что тип полушарного доминирования оказывает влияние на стратегии поддержания постуральной устойчивости у спортсменов-инвалидов по слуху, специализирующихся в ациклических видах спорта. В частности, у спортсменов-инвалидов по слуху с доминированием левого полушария оно происходит за счет зрительно-перцептивного контроля. Реализация данной стратегии в основной стойке характеризуется снижением S при одновременном увеличении L, V и A.

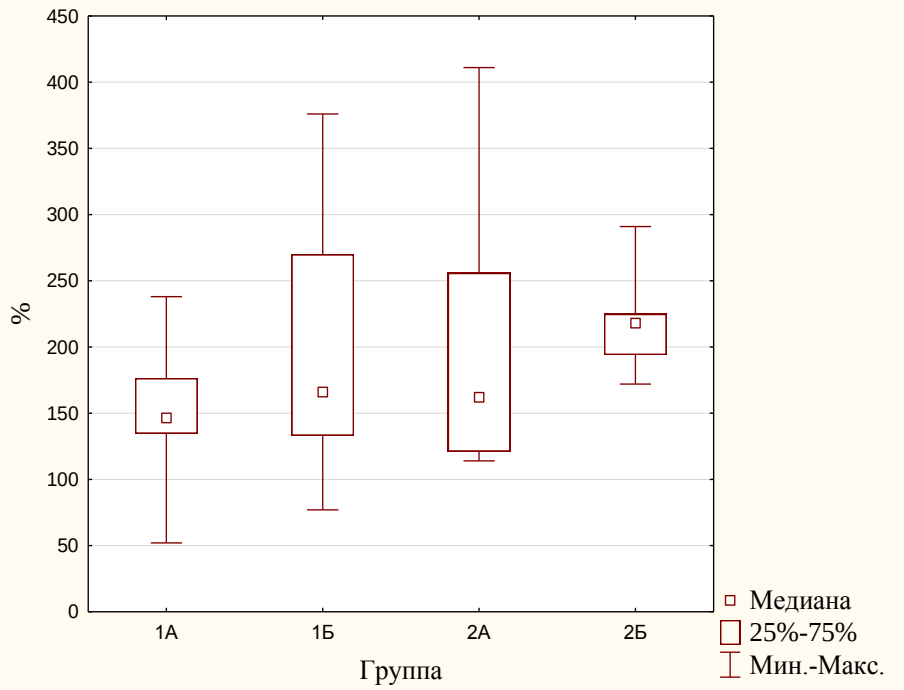


Рис. 3. Показатель коэффициента Ромберга у спортсменов основной (1) и контрольной (2) групп с различным типом полушарного доминирования

Примечание: А – спортсмены с доминированием левого полушария головного мозга; Б – спортсмены со смешанным типом доминирования.

При закрывании глаз переориентация системы контроля постуральной устойчивости приводит к активации проприоцепции, что сопровождается увеличением большинства параметров стабилографии. По данным Д.В. Скворцова (2010), увеличение L приводит к возрастанию величины девиаций центра давления и смещению спектра частот в более высокочастотную область (если величина девиаций осталась прежняя), или к изменению обоих параметров (величины и частоты) [13].

Наибольшие показатели L как при ОГ, так и при ЗГ позволяют судить о возрастании величины девиации центра давления, большее увеличение которой отмечается на

этапе проведения пробы с ЗГ. Такое сочетание параметров указывает на зрительно-перцептивный контроль с активным подключением проприоцепции. Под зрительно-перцептивным контролем мы понимаем стратегию, при которой обработка зрительной информации о положении тела в пространстве интегрируется с соматосенсорными сигналами, позволяя сохранять устойчивость даже при временном выключении зрения.

У спортсменов-инвалидов по слуху со смешанным типом доминирования (подгруппа 1Б) выявлена иная стратегия: при ОГ отмечаются низкоамплитудные колебания, а при ЗГ происходит увеличение всех стабилометрических параметров, включая S. Так, поддержание постуральной устойчивости в основной стойке у спортсменов-инвалидов по слуху со смешанным типом доминирования происходит за счет зрительного контроля, реализация которого в основной стойке происходит за счет низкого показателя S при ОГ. На этапе пробы с ЗГ происходит увеличение S, L, V и A. По данным Д.В. Скворцова (2010), увеличение S при проведении пробы с ЗГ является нормальным явлением, т.к. при переориентации системы контроля баланса тела на проприоцепцию стабильность снижается [13]. Переориентация системы контроля баланса тела при временном исключении функции органа зрения (закрывании глаз) на проприоцепцию является менее эффективной в физиологическом плане и сопровождается ростом во всех параметрах стабилографии. Эти изменения соответствуют классической реакции, описанной в литературе, когда переориентация на проприоцепцию приводит к снижению устойчивости. Таким образом, данная подгруппа демонстрирует преимущественно зрительный контроль без выраженной компенсаторной перестройки.

У глухих спортсменов, специализирующихся в ациклических видах спорта, доминирование левого полушария (аналитический локальный анализ), вероятно, способствует более эффективной обработке проприоцептивной информации в условиях как депривации слуха, так и временного исключения функции органа зрения, что проявляется в меньшей S на этапе пробы с закрыванием глаз. В отличие от них, глухие спортсмены со смешанным типом полушарного доминирования демонстрируют типичную для здоровых лиц стратегию ухудшения баланса тела при выключении функции органа зрения.

У спортсменов с нормальным уровнем слуха с доминированием левого полушария на этапе проведения пробы с ОГ выявлены наименьшие показатели компьютерной стабилометрии, что позволяет судить о поддержании постуральной устойчивости в основной стойке за счет зрительного контроля. На этапе пробы с ЗГ происходит увеличение S, L, V и A. Поддержание постуральной устойчивости в основной стойке в подгруппе спортсменов с нормальным уровнем слуха со смешанным типом доминирования происходит за счет зрительно-перцептивного контроля, реализация которого характеризовалась незначительным увеличением площади на этапе выполнения пробы с ЗГ.

Мы полагаем, что высокоамплитудные колебания центра давления и их девиация в высокочастотную область, наблюдаемые у левополушарных глухих спортсменов при ЗГ, можно рассматривать как компенсаторный механизм, а не как признак дефицита баланса: в условиях отсутствия слуха и временного отключения зрения доминирующее левое полушарие (ассоциируемое с аналитической обработкой последовательной информации) рекрутирует проприоцептивные контуры более эффективно, чем у лиц со смешанным типом. Снижение S у левополушарных глухих спортсменов при ЗГ – феномен, не наблюдаемый в контрольной группе, эта реакция не является нормой даже для лиц с депривацией слуха, и ее можно рассматривать как компенсаторную перестройку сенсорного приоритета. Предположительно, левое полушарие, ответственное за аналитическую обработку и последовательные моторные стратегии в условиях двойной сенсорной депривации (отсутствие слуха + отключение зрения) активирует компенсаторные проприоцептивные контуры, включая соматосенсорную кору и дополнительные зоны мозжечка. Это позволяет снизить площадь колебаний ЦД

за счет более жесткой центральной настройки, что трактуется нами как адаптивный компенсаторный механизм.

Заключение. В данном исследовании впервые показано, что тип полушарного доминирования значимо модулирует стратегии поддержания постуральной устойчивости у спортсменов-инвалидов по слуху, специализирующихся в ациклических видах спорта. Выявлены два качественно различных паттерна адаптации – реализации либо зрительного, либо зрительно-проприоцептивного контроля в основной стойке, что определяет сдвиги в параметрах стабилографии.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что принципиальное отличие глухих левополушарных спортсменов заключается в том, что у них при ЗГ S не увеличивается, а имеет тенденцию к снижению. Такой динамики в контрольной группе не было, и не представлено в доступной нам литературе, касающейся лиц с депривацией слуха. Данный факт позволяет предположить формирование уникального сенсорного профиля, сдвинутого в сторону проприоцепции, у глухих спортсменов с левополушарным доминированием.

Выявленные специфические особенности полушарного доминирования и его влияние на параметры постуральной устойчивости могут быть использованы в планировании и персонализации тренировочного процесса в ациклических видах спорта: спортсменам с левополушарным доминированием целесообразно включать упражнения на равновесие с закрытыми глазами, тогда как спортсменам со смешанным типом следует обеспечивать устойчивую зрительную опору. Без учета типа межполушарной асимметрии стандартные методы тренировки баланса у глухих спортсменов могут быть малоэффективными.

Ограничения исследования. Во-первых, результаты исследования ограничены невозможностью экстраполяции данных на глухих спортсменов с правополушарным типом доминирования (исключены из-за n=1). Во-вторых, на момент исследования не проводились оценка слуховых вызванных потенциалов и аудиометрия у спортсменов основной группы, что затрудняет дифференциацию особенности постуральной устойчивости и типа полушарного доминирования в зависимости от порога слышимости. В-третьих, однократность измерений не позволяет оценить изменчивость особенностей постуральной устойчивости в зависимости от типа полушарного доминирования в динамике тренировочного процесса, что требует проведения лонгитюдных исследований.

Несмотря на перечисленные ограничения результаты исследования представляют ценность в качестве первого описания особенностей постуральной устойчивости в зависимости от типа полушарного доминирования в условиях двойной депривации у спортсменов ациклических видов спорта, что может представлять интерес для тренерского состава и специалистов по спортивной медицине.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания «Особенности адаптации к физическим нагрузкам спортсменов-инвалидов в зависимости от нозологической формы инвалидности» (№ 777-00029-26-00).

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The article was prepared under the State Task “Features of adaptation to physical activity of athletes with disabilities depending on the nosological form of disability” (No. 777-00029-26-00).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реактивность нейтрофилов и уровень провоспалительных цитокинов в плазме крови у спортсменов с разным профилем функциональной асимметрии мозга / И.Н. Швыдченко, Е.М. Бердичевская, А.А. Тамбовцева [и др.] // Асимметрия. – 2015. – Т. 9. – № 3. – С. 14-30.

2. Функциональная асимметрия как биологический феномен, сопутствующий спортивному результату / С.С. Худик, А.И. Чикуров, А.Л.

Войнич, С.В. Радаева // Вестник Томского государственного университета. – 2017. – № 421. – С. 193-202. DOI: 10.17223/15617793/421/29.
3. Кабанов, Ю.Н. Успешность спортивной деятельности и функциональная асимметрия головного мозга / Ю.Н. Кабанов // Мир науки, культуры, образования. – 2009. – № 3. – С. 194-201.
4. Сарсембаева, Э.Ю. Функциональная асимметрия мозга и ее роль в успешности спортивной деятельности / Э.Ю. Сарсембаева // Наука и социум : материалы Всероссийской научно-практической конференции с Международным участием, 1 марта 2019 г. : в 2 ч. / науч. ред. М.Г. Чухрова. – Новосибирск : Изд-во АНО ДПО «СИППППИСР», 2019. – Ч. 1. – С. 92-97.
5. Влияние профиля латеральной организации головного мозга на результативность спортивной деятельности человека и методы его выявления / И.М. Мазикин, М.М. Лапкин, Н.А. Вощинина, В.Д. Прошляков // Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова. – 2016. – № 2. – С. 117-124.
6. Игнатьева, Л.Е. Диагностика межполушарной асимметрии у спортсменов-игровиков / Л.Е. Игнатьева, Л.Г. Майдокина // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 4. – С. 66.
7. Brain activation during maintenance of standing postures in humans / Y. Ouchi, H. Okada, E. Yoshikawa [et al.] // Brain. − 1999. – No. 122. – P. 329-338. DOI: 10.1093/brain/122.2.329.
8. Кисина, А.А. Роль функциональной асимметрии при осуществлении образовательной деятельности студентов / А.А. Кисина, Е.Б. Филиппова // Известия Российской военно-медицинской академии. – 2019. – Т. 38. – № 3. – С. 235-240. DOI: 10.17816/rmmar26102.
9. Мантрова, И.Н. Методическое руководство по психофизиологической и психологической диагностике / И.Н. Мантрова. – Иваново: Изд-во «ООО «Нейрософт», 2008. – 216 с.
10. Черемушникова, И.И. Комплексное исследование адаптации к социальному стрессу лиц с различными типами функциональной асимметрии мозга / И.И. Черемушникова // Асимметрия. – 2015. – Т. 9. − № 3. – С. 31-64.
11. Адаптация спортсменов с депривацией слуха к физическим нагрузкам в ациклических видах спорта : монография / Е.В. Быков, К.С. Кошкина, О.В. Балберова, А.В. Чипышев. – Челябинск: УралГУФК, 2025. – 156 с.
12. Кошкина, К.С. Гендерные различия постуральной устойчивости у спортсменов с депривацией слуха (на примере ациклических видов спорта) / К.С. Кошкина, Е.В. Быков, А.В. Чипышев // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. – 2023. – № 3(51). – С. 104-110. DOI: 10.25688/2076-9091.2023.51.3.08.
13. Скворцов, Д.В. Стабилометрическое исследование : краткое руководство / Д.В. Скворцов. – Москва : Мера-ТСП, 2010. – 171 с.

REFERENCES

1. Shvydchenko I.N., Berdichevskaya E.M., Tambovtseva A.A., Stepukova A.S., Kuzhilnaya Yu.A. Reactivity of neutrophils and level of proinflammatory cytokines in the blood plasma of athletes with a different profile of functional brain asymmetry. *Journal of asymmetry*, 2015, vol. 9, no. 3, pp. 14-30. (in Russ.)
2. Khudik S.S., Chikurov A.I., Voynich A.L., Radaeva S.V. Functional asymmetry as a biological phenomenon associated with athletic performance. *Tomsk State University Journal*, 2017, no. 421, pp. 193-202.DOI:1017223/15617793/421/29.(inRuss.)
3. Kabanov Yu.N. The successful sports activity and functional asymmetry of the brain. *The world of science, culture and education*, 2009, no. 3, pp. 194-201. (in Russ.)
4. Sarsembayeva E.Yu. Functional brain asymmetry and its role in the success of sports activity. Science and Society: proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation (March 1st, 2019). Part 1. Novosibirsk: Siberian Institute of Practical Psychology, Pedagogics and Social Work, 2019. pp. 92-97. (in Russ.)
5. Mazikin I.M., Lapkin N.A., Voshchinina M.M., Proshlyakov V.D. Influence of the brain lateral organization profile on effectiveness of sporting activity of a human and methods of its identification. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*, 2016, no. 2, pp. 117-126. (in Russ.)
6. Ignatieva L.E., Maidokina L.G. Diagnosis of hemispheric asymmetry in team sports athletes. *Modern problems of science and education*, 2016, no. 4, p. 66. (in Russ.)
7. Ouchi Y., Okada H. et al. Brain activation during maintenance of standing postures in humans. *Brain*, 1999, no. 122(2), pp. 329-338. DOI: 10.1093/brain/122.2.329.
8. Kisina A.A., Filippova E.B. The role of functional asymmetry in students educational activities. *Izvestia of the Russian Military Medical Academy*, 2019, vol. 3, pp. 235-240. DOI: 10.17816/rmmar26102. (in Russ.)
9. Mantrova I.N. Methodological guide to psychophysiological and psychological diagnostics. Ivanovo: “Neurosoft LLC”, 2007. 216 p. (in Russ.)
10. Cheremushnikova I.I. Comprehensive study of adaptation to social stress persons with different kinds of functional brain asymmetry. *Journal of asymmetry*, 2015, vol. 9, no. 3, pp. 31-63. (in Russ.)
11. Bykov E.V. et al. Adaptation of athletes with hearing deprivation to physical activity in acyclic

sports: a monograph, ed. by E.V. Bykov. Chelyabinsk: Ural State University of Physical Culture, 2025. 156 p. (in Russ.)
12. Koshkina K.S., Bykov E.V., Chipyshev A.V. Gender differences in postural stability in athletes with hearing deprivation (using the example of acyclic sports). *MCU University of Natural Sciences*, 2023, no. 3(51), pp. 104-110. DOI: 10.25688/2076-9091.2023.51.3.08. (in Russ.)
13. Skvortsov D.V. Stabilometric research: a short guide. Moscow: Publishing house “Mask”, 2010. 172 p. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Ксения Сергеевна Кошкина – научный сотрудник, научно-исследовательский институт олимпийского спорта Уральского государственного университета физической культуры, Челябинск, e-mail: caseychica@mail.ru.
Евгений Витальевич Быков – доктор медицинских наук, профессор, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: bev58@yandex.ru.
Елена Геннадьевна Сидоркина – научный сотрудник, научно-исследовательский институт олимпийского спорта Уральского государственного университета физической культуры, Челябинск, e-mail: rezenchik@bk.ru.
Антон Викторович Чипышев – кандидат биологических наук, доцент кафедры спортивной медицины и физической реабилитации Уральского государственного университета физической культуры, Челябинск, e-mail: jk_m@bk.ru.
Вадим Владимирович Сверчков – научный сотрудник, научно-исследовательский институт олимпийского спорта Уральского государственного университета физической культуры, Челябинск, e-mail: Vadim.sverchkov@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Ksenia S. Koshkina – Researcher, Scientific Research Institute of Olympic Sports, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: caseychica@mail.ru.
Evgeny V. Bykov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: bev58@yandex.ru.
Elena G. Sidorkina − Researcher, Scientific Research Institute of Olympic Sports, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: rezenchik@bk.ru.
Anton V. Chipyshev – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: jk_m@bk.ru.
Vadim V. Sverchkov – Researcher, Scientific Research Institute of Olympic Sports, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: Vadim.sverchkov@yandex.ru.

Для цитирования: Влияние полушарного доминирования на особенности постуральной устойчивости специализирующихся в ациклических видах спорта спортсменов-инвалидов с сенсорными нарушениями / К.С. Кошкина, Е.В. Быков, Е.Г. Сидоркина [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_40

For citation: Koshkina K.S., Bykov E.V., Sidorkina E.G., Chipyshev A.V., Sverchkov V.V. The influence of hemispheric dominance on the features of postural stability of acyclic sports athletes with sensory impairment. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_40

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_41
УДК 376.2

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_41
UDC 376.2

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА У ЛЕГКОАТЛЕТОВ СПОРТА ЛИЦ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ

Т.В. Красноперова, Н.Б. Лукманова, М.В. Быстрова
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт физической культуры», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Цель исследования – выявить взаимосвязь показателей биоэлектрической активности, вязко-эластических свойств мышц, постуральной устойчивости и двигательно-когнитивных реакций легкоатлетов спорта лиц с интеллектуальными нарушениями для определения интегральных маркеров по комплексу методик. ***Методы.*** В исследовании приняли участие 16 высококвалифицированных легкоатлетов-спринтеров с легкой степенью умственной отсталости, средний возраст – 21,4±2,3 год. Рассчитаны коэффициенты корреляции Спирмена. ***Результаты.*** Показатели стабилометрии в пробе Ромберга с закрытыми глазами (скорость перемещения центра давления, затраченная работа на поддержание постуральной устойчивости, длина статокинезиограммы) имели положительные корреляционные связи с результатом в беге. ***Заключение.*** Ведущую роль в управлении движениями в спринтерском беге играет статокинетический баланс спортсмена, который обеспечивается вязко-эластическими свойствами (тонус и эластичность) прямой мышцы бедра и биоэлектрической активностью (максимальная и средняя амплитуда) икроножной мышцы.
Ключевые слова: спорт лиц с интеллектуальными нарушениями, корреляционные связи, электромиография, миотонометрия, стабилометрия.

THE RELATIONSHIP BETWEEN NEUROMUSCULAR PARAMETERS IN TRACK-AND-FIELD ATHLETES WITH INTELLECTUAL DISABILITIES

T.V. Krasnoperova, N.B. Lukmanova, M.V. Bystrova
Saint Petersburg Research Institute of Physical Culture, Saint Petersburg, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The objective of the study – to identify the relationship between bioelectrical activity indices, viscoelastic muscle properties, postural stability, and motor-cognitive responses in track-and-field athletes with intellectual disabilities to identify integral markers using a combination of methods. ***Methods.*** The study involved 16 highly skilled sprinters with mild intellectual disability, mean age – 21.4±2.3 years. We calculated Spearman's correlation coefficients. ***Results.*** Stabilometry indices in the Romberg test with eyes closed (speed of the pressure movement center, work expended on maintaining postural stability, statokinesiogram length) had positive correlations with running results. ***Conclusions.*** The athlete's statokinetic balance, which is ensured by the viscoelastic properties (tone and elasticity) and bioelectrical activity (maximum and mean amplitude) of the gastrocnemius muscle, plays a leading role in the movement control strategy.
Keywords: sport of persons with intellectual disabilities, correlations, electromyography, myotonometry, stabilometry.

Введение. Одним из актуальных вопросов спортивной физиологии является адаптация нервно-мышечного аппарата (НМА) спортсменов к специфическим тренировочным и соревновательным нагрузкам. Следствием долговременных адаптационных изменений систем организма является расширение резервных возможностей, в том числе возможностей двигательной системы. Современные неинвазивные инструментальные методы исследований позволяют определить степень адаптации НМА к физическим нагрузкам. К таким методам относятся миотонометрия, электромиография, стабилометрия.

Межмышечная скоординированность и морфофункциональная специализация НМА определяются моторной спецификой спортивной деятельности и обусловлены адаптационными перестройками в организме со стороны центральной нервной системы. Л.М. Нашнером показана первостепенная значимость системы регуляции вертикальной позы как совокупности рефлекторных обратных связей по показателям суставно-мышечных рецепторов,

вестибулярного аппарата, зрительной системы [1].

Согласно A.G. Feldman [2], постуральная и двигательная устойчивость обеспечиваются общим механизмом, а реализация скоординированных движений происходит благодаря корковым и подкорковым двигательным ответам, которые направлены на включение в двигательное действие скелетной мускулатуры, в частности мышц нижних конечностей [3].

Ранее в проведенных нами исследованиях показаны изменения электромиографических, миотонометрических и стабилометрических параметров легкоатлетов-спринтеров в годичном цикле спортивной подготовки [4, 5]. Достоверно менялись мышечный тонус, мышечная жесткость, декремент упругости прямой мышцы бедра. Асимметрия мышечной жесткости в различные периоды годичного цикла была незначительной, что свидетельствует о сбалансированности состояния НМА. Показатели «Время релаксации» и «Текучесть» имели только тенденцию изменений. Наибольшие амплитуды электромиограммы прямой мышцы бедра определены в соревновательном периоде. В стандартной пробе Ромберга установлена стабильная (без достоверных различий) постуральная устойчивость легкоатлетов спорта лиц с интеллектуальными нарушениями (ЛИН) в изученных периодах годичного цикла спортивной подготовки. Во всех периодах годичного цикла показан лучший статокинетический баланс легкоатлетов в фазе без дополнительного когнитивного контроля, а в динамической пробе – в специально-подготовительном периоде.

Исследования по определению взаимосвязи параметров нервно-мышечной активности и постуральной устойчивости высококвалифицированных легкоатлетов-спринтеров с интеллектуальными нарушениями своевременны и актуальны с позиций физиологического обоснования маркеров НМА, влияющих на результат соревновательной деятельности высококвалифицированных спортсменов.

Цель исследования – выявить взаимосвязь показателей биоэлектрической активности, вязко-эластических свойств мышц, постуральной устойчивости и двигательно-когнитивных реакций легкоатлетов спорта ЛИН для определения интегральных маркеров по комплексу методик.

Методы и организация исследования. Исследования прошли с участием 16 высококвалифицированных мужчин-легкоатлетов с легкой степенью умственной отсталости (далее – легкоатлеты спорта ЛИН), специализирующихся в спринтерском беге, из которых 6 мастеров спорта, 10 кандидатов в мастера спорта, средний возраст обследуемых – 21,4±2,3 год, на этапе совершенствования спортивного мастерства.

Для изучения НМА был применен комплекс неинвазивных методик с разными тестовыми нагрузками.

В лабораторных условиях для изучения постуральной устойчивости проведена стабилометрия по трем пробам (двухфазная проба Ромберга с европейской установкой ног с открытыми и закрытыми глазами, комбинированная и динамическая пробы с биологической обратной связью). Измерялись длина статокинезиограммы (L, мм), скорость перемещения центра давления (V, мм/с), площадь статокинезиограммы (S, мм²), координаты среднего положения центра давления (X, Y, мм), соотношение площади и длины статокинезиограммы (LFS), работа (A, Дж) и радиус (R, мм), время реакции (Тср, с) в динамической пробе.

Также в лабораторных условиях для изучения биоэлектрической активности мышц применена поверхностная электромиография. Исследованы мышцы ведущей правой ноги (прямая мышца бедра и икроножная мышца) в трех сериях тестовой нагрузки (10 выпрыгиваний из глубокого приседа за 30 с, отдых между сериями 1 мин). Регистрировались средняя (А(ср), мкВ) и максимальная (А(макс), мкВ) амплитуды биоэлектрической активности мышц.

В условиях контрольной тренировки для изучения вязко-эластических свойств мышц проведена миотонометрия прямой мышцы бедра и икроножной мышцы. Регистрировались параметры вязко-эластических свойств мышц нижних конечностей справа и слева: тонус (F, Гц), жесткость (S, Н/м), эластичность (D, усл.ед.), время релаксации (R, мс), текучесть (C,

усл.ед.). Исследования проведены трижды: в состоянии покоя перед разминкой, сразу после тестовой спринтерской нагрузки (бег 100 м с регистрацией результата) и в период восстановления после тестовой нагрузки.

Для математико-статистической обработки результатов исследования использовалась программа Statgraphics plus. В результате проведенных 260 обследований спортсменов спорта ЛИН были рассчитаны референсные значения по медиане (Me) и квартилям (Q1 и Q3) [6]. Нормальность распределения выборки данных определялась с помощью теста Шапиро-Уилка. Для множественных сравнений использовались критерий Краскела-Уоллиса с поправкой Бонферрони и постхок тест Данна (Python scipy.stats). Рассчитаны коэффициенты корреляции Спирмена.

Отбор корреляций для анализа данных примененных нами неинвазивных методик проводился по следующему алгоритму. Уникальными параметрами являлись однократно измеряемые результаты стабилометрии в пробах Ромберга, комбинированной и динамической. Повторяющимися параметрами являлись результаты в беге, данные электромиографии и миотонометрии, в каждом из которых было зарегистрировано по 3 измерения. Если в коррелирующей паре один или оба параметра являются повторяющимися (не уникальными), выполнялась проверка на наличие аналогичных связей в прочих измерениях. При определении во всех измерениях результат считался значимым и регистрировался в итоговой схеме корреляционных связей. В работе представлены только достоверные ($p<0,05$) сильные связи с коэффициентом корреляции $r\geq|0,7|$.

Результаты исследования и их обсуждение. После проведенных исследований и полученных результатов была составлена корреляционная матрица. В ходе корреляционного анализа установлены мультипараметрические взаимодействия между показателями. Выявлены 253 сильные корреляционные связи. Высокий уровень взаимообусловленности показателей и теснота корреляционных связей позволили использовать ранжирование коэффициентов корреляций по признакам уникальности и частоты встречаемости.

По результатам корреляционного анализа установлены сильные положительные и отрицательные связи ($r\geq|0,7|$), что представлено в таблице 1.

Показатели стабилометрии в пробе Ромберга с закрытыми глазами (скорость перемещения центра давления, затраченная работа по перемещению центра давления, длина статокинезиограммы) имели положительные корреляционные связи с результатом в беге, который отрицательно коррелировал со средней амплитудой биоэлектрической активности икроножной мышцы справа. Отрицательные корреляционные взаимодействия определены между длиной статокинезиограммы и средней амплитудой биоэлектрической активности икроножной мышцы справа. Параметр «Затраченная работа по перемещению центра давления» отрицательно коррелировал с максимальной амплитудой биоэлектрической активности икроножной мышцы слева, а также со средней и максимальной амплитудами икроножной мышцы справа. Средняя скорость перемещения центра давления отрицательно коррелировала с максимальной и средней амплитудами биоэлектрической активности икроножной мышцы справа. Отношение длины статокинезиограммы к ее площади в пробе Ромберга с открытыми глазами положительно коррелировало со средней амплитудой биоэлектрической активности прямой мышцы бедра справа.

Параметры стабилометрии в комбинированной пробе (длина статокинезиограммы, средняя скорость перемещения центра давления, затраченная работа по перемещению центра давления) отрицательно коррелировали с декрементом упругости икроножной мышцы слева, а среднее положение центра давления по оси X положительно коррелировало с тонусом икроножной мышцы справа. В динамической пробе параметр стабилометрии «Время реакции» имел отрицательные корреляционные связи со средней амплитудой биоэлектрической активности икроножной мышцы слева и справа, максимальной амплитудой икроножной мышцы слева. Среднее положение центра давления по оси X положительно коррелировало с тонусом икроножной мышцы справа и отрицательно с декрементом упругости прямой мышцы бедра

слева. В динамической пробе чем лучше время реакции перемещения центра давления в заданном направлении, тем выше максимальная и средняя амплитуды биоэлектрической активности икроножной мышцы.

Таблица 1

Сводная таблица корреляционных связей параметров стабилометрии, электромиографии и миотонометрии со спортивным результатом

Тип пробы/связи	Первый параметр	К-т корреля-ции, p	Второй параметр
Проба Ромберга (закрытые глаза)	Скорость перемещения центра давления	r=0,85 p=0,01	Результат в беге 100 м
Проба Ромберга (закрытые глаза)	Затраченная работа по перемещению центра давления	r=0,75 p=0,03	Результат в беге 100 м
Проба Ромберга (закрытые глаза)	Длина статокинезиограммы	r=0,82 p=0,03	Результат в беге 100 м
Поверхностная электромиография	Средняя амплитуда икроножной мышцы справа	r=-0,78 p=0,02	Результат в беге 100 м
Проба Ромберга (закрытые глаза)	Длина статокинезиограммы	r=-0,79 p=0,02	Средняя амплитуда икроножной справа
Проба Ромберга (закрытые глаза)	Затраченная работа по перемещению центра давления	r=-0,71 p=0,04	Максимальная амплитуда икроножной слева
Проба Ромберга (закрытые глаза)	Затраченная работа по перемещению центра давления	r=-0,88 p=0,01	Средняя амплитуда икроножной справа
Проба Ромберга (закрытые глаза)	Затраченная работа по перемещению центра давления	r=-0,73 p=0,03	Максимальная амплитуда икроножной справа
Проба Ромберга (закрытые глаза)	Скорость перемещения центра давления	r=-0,81 p=0,02	Максимальная амплитуда икроножной справа
Проба Ромберга (закрытые глаза)	Скорость перемещения центра давления	r=-0,86 P=0,01	Средняя амплитуда икроножной справа
Проба Ромберга (открытые глаза)	Отношение длины к площади статокинезиограммы	r=0,76 p=0,03	Средняя амплитуда прямой мышцы бедра справа
Динамическая проба	Время реакции	r=-0,80 p=0,02	Средняя амплитуда икроножной слева
Динамическая проба	Время реакции	r=-0,73 p=0,03	Средняя амплитуда икроножной справа
Динамическая проба	Время реакции	r=-0,75 p=0,03	Максимальная амплитуда икроножной мышцы слева
Динамическая проба	Среднее положение центра давления по оси X	r=0,78 p=0,03	Тонус икроножной справа
Динамическая проба	Среднее положение центра давления по оси X	r=-0,83 p=0,01	Декремент упругости прямой мышцы бедра слева
Комбинированная проба (с БОС)	Длина статокинезиограммы	r=-0,79 p=0,02	Декремент упругости икроножной слева
Комбинированная проба (с БОС)	Скорость перемещения центра давления	r=-0,76 p=0,03	Декремент упругости икроножной слева
Комбинированная проба (с БОС)	Затраченная работа по перемещению центра давления	r=-0,89 p=0,01	Декремент упругости икроножной слева
Комбинированная проба (без БОС)	Среднее положение центра давления по оси X	r=0,75 p=0,03	Тонус икроножной справа
Связь вязко-эластической составляющей с БА	Тонус прямой мышцы бедра справа	r=0,88 p=0,01	Максимальная амплитуда икроножной мышцы слева
Связь вязко-эластической составляющей с БА	Тонус прямой мышцы бедра справа	r=0,75 p=0,03	Максимальная амплитуда икроножной мышцы справа

Примечание: БОС – биологическая обратная связь; БА – биоэлектрическая активность.

Показатели стабилометрии в пробе Ромберга с закрытыми глазами (скорость перемещения центра давления, затраченная работа по перемещению центра давления, длина статокинезиограммы) имели положительные корреляционные связи с результатом в беге, который отрицательно коррелировал со средней амплитудой биоэлектрической активности икроножной мышцы справа. Отрицательные корреляционные взаимодействия определены между длиной статокинезиограммы и средней амплитудой биоэлектрической активности икроножной мышцы справа. Параметр «Затраченная работа по перемещению центра давления» отрицательно коррелировал с максимальной амплитудой биоэлектрической активности икроножной мышцы слева, а также со средней и максимальной амплитудами икроножной мышцы справа. Средняя скорость перемещения центра давления отрицательно коррелировала с максимальной и средней амплитудами биоэлектрической активности икроножной мышцы справа. Отношение длины статокинезиограммы к ее площади в пробе Ромберга с открытыми глазами положительно коррелировало со средней амплитудой биоэлектрической активности прямой мышцы бедра справа.

Параметры стабилометрии в комбинированной пробе (длина статокинезиограммы, средняя скорость перемещения центра давления, затраченная работа по перемещению центра давления) отрицательно коррелировали с декрементом упругости икроножной мышцы слева, а среднее положение центра давления по оси X положительно коррелировало с тонусом икроножной мышцы справа. В динамической пробе параметр стабилометрии «Время реакции» имел отрицательные корреляционные связи со средней амплитудой биоэлектрической активности икроножной мышцы слева и справа, максимальной амплитудой икроножной мышцы слева. Среднее положение центра давления по оси X положительно коррелировало с тонусом икроножной мышцы справа и отрицательно с декрементом упругости прямой мышцы бедра слева. В динамической пробе чем лучше время реакции перемещения центра давления в заданном направлении, тем выше максимальная и средняя амплитуды биоэлектрической активности икроножной мышцы.

Выявлена связь между параметром вязко-эластических свойств (тонусом прямой мышцы бедра справа) и показателем биоэлектрической активности (максимальной амплитудой икроножной мышцы слева и справа). Полученные данные сопоставимы с результатами исследований ряда авторов по управлению двигательной активностью с участием спортсменов без отклонений в состоянии здоровья [2, 3].

Сильная связь параметров постуральной устойчивости с закрытыми глазами с результатом бега и биоэлектрической активностью икроножной мышцы можно обосновать голеностопной стратегией поддержания постуральной устойчивости – механизмом сохранения равновесия при стабилизации положения центра давления за счет вращения вокруг голеностопных суставов при минимальной активности мышц бедра и туловища.

Достоверные сильные корреляционные связи между показателями, повторяющимися во всех тестовых нагрузках, с результатом бега позволили определить ключевые показатели (маркеры), отражающие связь со спортивным результатом.

В таблицах 2 и 3 представлены референсные значения параметров неинвазивных методик, имеющих сильную корреляционную связь с результатом бега.

Результаты корреляционного анализа параметров нервно-мышечного аппарата высококвалифицированных легкоатлетов спорта ЛИН с использованием анализа взаимосвязи между показателями стабилометрии, электромиографии и миотонометрии и спортивного результата согласуются с представлениями о нейрофизиологических механизмах поддержания равновесия тела в пространстве [7].

Реализация голеностопной стратегии происходит за счет эффективной проприоцепции мышц стопы и голени, о чем свидетельствует стабильность постурального баланса в пробе Ромберга. Сильные отрицательные связи скорости перемещения центра давления, длины статокинезиограммы и затраченной работы по поддержанию устойчивости с максимальной и средней

амплитудами биоэлектрической активности икроножной мышцы свидетельствуют об улучшении устойчивости при повышении биоэлектрической активности икроножной мышцы. В комбинированной пробе, когда нужно управлять центром давления, вышеуказанные параметры стабилометрии отрицательно коррелируют с декрементом упругости, что отражает связь постуральной устойчивости с эластичностью мышц. Высокая степень возбуждения мышечных волокон в момент выполнения двигательного действия отражает оптимальную степень включения двигательных единиц и сбалансированность межмышечной скоординированности.

Таблица 2

Референсные значения показателей стабилометрии легкоатлетов спорта ЛИН

Тест		Параметр	Me [Q1; Q3]
Проба Ромберга	Глаза открыты	LFS, л/мм	2,30 [1,90; 3,25]
	Глаза закрыты	V, мм/с	9,70 [9,45; 13,53]
		A, Дж	3,05 [2,51; 4,27]
		L, мм	293,60 [284,48; 405,28]
Комбинированная проба	Без БОС	X, мм	0,00 [-1,58; 2,78]
	С БОС	V, мм/с	10,80 [9,80; 12,65]
		A, Дж	3,29 [2,32; 4,55]
		L, мм	325,70 [292,98; 380,10]
Динамическая проба		X, мм	3,00 [-3,53; 3,58]
		Tcp, с	2,44 [2,37; 3,30]

Примечание: ЛИН – лица с интеллектуальными нарушениями; БОС – биологическая обратная связь; LFS – отношение длины к площади статокинезиограммы; V – скорость перемещения центра давления; A – работа по перемещению центра давления; L – длина статокинезиограммы; X – координата среднего положения центра давления по фронтальной оси; Tcp – время реакции на визуальный стимул в динамической пробе.

Таблица 3

Референсные значения показателей миотонометрии, электромиографии легкоатлетов спорта ЛИН, Me [Q1; Q3]

Тест	Параметр	Измерение 1	Измерение 2	Измерение 3
МТМ	Тонус прямой мышцы бедра справа, Гц	15,67 [15,20; 16,26]	15,99 [15,42; 16,49]	15,23 [14,91; 16,31]
	Декремент упругости прямой мышцы бедра слева, усл.ед.	1,47 [1,40; 1,66]	1,32 [1,22; 1,69]	1,46 [1,35; 1,57]
	Тонус икроножной мышцы справа, Гц	18,35 [17,40; 19,88]	18,59 [16,87; 19,29]	17,86 [17,39; 18,75]
	Декремент упругости икроножной мышцы слева, усл.ед.	1,05 [0,93; 1,19]	1,01 [0,93; 1,10]	1,05 [1,01; 1,080]
ЭМГ	A(ср) прямой мышцы бедра справа, мкВ	957,40 [701,60; 1081,45]	941,70 [726,13; 966,30]	883,50 [746,20; 1035,83]
	A(ср) икроножной мышцы справа, мкВ	333,30 [269,00; 415,03]	303,00 [279,75; 403,50]	329,00 [280,30; 436,73]
	A(макс) икроножной мышцы справа, мкВ	846,30 [653,70; 933,53]	811,40 [717,03; 936,40]	822,60 [652,05; 1074,88]
	A(ср) икроножной мышцы слева, мкВ	431,10 [298,93; 458,30]	411,20 [278,65; 430,90]	462,60 [305,48; 559,53]
	A(макс) икроножной мышцы слева, мкВ	940,20 [847,35; 1340,40]	970,9 [779,88; 1252,56]	994,50 [777,43; 1366,90]

Примечания: ЛИН – лица с интеллектуальными нарушениями; МТМ – миотонометрия; ЭМГ – электромиография; A(ср) – средняя амплитуда биоэлектрической активности; A(макс) – максимальная амплитуда биоэлектрической активности.

Заключение. Таким образом, в результате корреляционного анализа определены интегральные маркеры, отражающие взаимосвязь между показателями комплекса методик (миотонометрии, электромиографии, стабилометрии) и спортивным результатом высококвалифицированных легкоатлетов-спринтеров спорта лиц с интеллектуальными нарушениями. Показано, что ведущую роль в стратегии управления движениями играет постуральная устойчивость спортсмена, которая обеспечивается балансом показателей тонуса и эластичности, максимальной и средней амплитудами биоэлектрической активности икроножной мышцы.

Интегральными маркерами по комплексу методик стали:

- длина статокинезиограммы, средняя скорость перемещения центра давления, затраченная работа по перемещению центра давления, направленные на сохранение постуральной устойчивости в условиях зрительной депривации;
- амплитудные параметры биоэлектрической активности икроножной мышцы, свидетельствующие о сократительной способности, скорости и синхронизации сокращения мышечных волокон;
- декремент упругости икроножной мышцы, определяющий способность мышечного волокна восстанавливать свою форму после деформации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания № 777-00015-26-00 на 2026 год Министерства спорта Российской Федерации.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The research was carried out under the State Task No. 777-00015-26-00 for 2026 of the Ministry of Sport.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nashner, L.M. Relation of automatic postural responses and reaction-time voluntary movements of human leg muscles / L.M. Nashner, P.J. Cordo // Experimental Brain Research. – 1981. – Vol. 43. – No. 3. – P. 395-405.
2. Laczko, J. Progress in motor control: Theories and translations / J. Laczko, M.L. Latash. – Cham: Springer Nature, 2016. – 388 p.
3. Грибанов, А.В. Физиологические механизмы регуляции постурального баланса человека (обзор) / А.В. Грибанов, А.К. Шерстенникова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. – 2013. – № 4. – С. 20-29.
4. Статокинетическая устойчивость легкоатлетов спорта ЛИН в годичном цикле спортивной подготовки / Т.В. Красноперова, Н.Б. Лукманова, М.В. Быстрова, А.Н. Белева // Теория и практика физической культуры. – 2025. – № 9(1047). – С. 69-70.
5. Красноперова, Т.В. Функциональное состояние мышц нижних конечностей высококвалифицированных легкоатлетов спорта лиц с интеллектуальными нарушениями / Т.В. Красноперова, Н.Б. Лукманова, М.В. Быстрова // Спорт, Человек, Здоровье: Сборник материалов XII Международного научного конгресса. – Санкт-Петербург, 2025. – С. 414-416.
6. Евгина, С.А. Современные теория и практика референтных интервалов / С.А. Евгина, Л.И. Савельев // Лабораторная служба. – 2019. – № 8(2). – С. 36-44. DOI: 10.17116/labs2019802136.
7. Самарцев, И.Н. Современные представления о нейрофизиологических механизмах и клинических проявлениях статодинамических расстройств, возможностях их коррекции / И.Н. Самарцев, С.А. Живолупов, Ю.С. Бутакова // Клиническая фармакология и терапия. – 2019. – Т. 28. – № 2. – С. 93-98.

REFERENCES

1. Nashner L.M., Cordo P.J. Relation of automatic postural responses and reaction-time voluntary movements of human leg muscles. *Experimental Brain Research*, 1981, vol. 43, no. 3, pp. 395-405.
2. Laczko J., Latash M.L. Progress in motor control: Theories and translations. Cham: Springer Nature, 2016. 388 p.
3. Gribanov A.V., Sherstennikova A.K. Physiological mechanisms of human postural balance regulation (review). *Russian Journal of Medical and Biological Research*, 2013, no. 4, pp. 20-29. (in Russ.)
4. Krasnoperova T.V., Lukmanova N.B., Bystrova M.V., Beleva A.N. Analysis of the statokinetic stability of track and field athletes with mental retardation in annual sports training cycles. *Theory*

and Practice of Physical Culture, 2025, vol. 9, no. 1047, pp. 69-70. (in Russ.)
5. Krasnoperova T.V., Lukmanova N.B., Bystrova M.V. Functional capabilities of lower limb muscles of elite athletes of sports of persons with intellectual disabilities. Sport, Man, Health: Collection of materials from the XII International scientific congress. 16-18.04.2025, St. Petersburg, 2025, pp. 414-416. (in Russ.)
6. Evgina S.A., Saveliev L.I. Current theory and practice of reference intervals. *Laboratory Service*, 2019, no. 8(2), pp. 36-44. DOI: 10.17116/labs2019802136.
7. Samartsev I.N., Zhivolupov S.A., Butakova Yu.S. Neurophysiological mechanisms, clinical features and treatment of statodynamic disorders. *Clin Pharmacol Ther*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 93-98. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Татьяна Витальевна Красноперова – кандидат биологических наук, заведующий сектором развития адаптивной физической культуры и спорта Санкт-Петербургского научно-исследовательского института физической культуры, Санкт-Петербург, e-mail: tkrasnoperova@spbniifk.ru, ORCID: 0000-0002-3898-8400.
Наталия Борисовна Лукманова – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник сектора развития адаптивной физической культуры и спорта Санкт-Петербургского научно-исследовательского института физической культуры, Санкт-Петербург, e-mail: nlukmanova@spbniifk.ru, ORCID: 0000-0002-0074-8196.
Маргарита Викторовна Быстрова – младший научный сотрудник сектора развития адаптивной физической культуры и спорта Санкт-Петербургского научно-исследовательского института физической культуры, Санкт-Петербург, e-mail: mbystrova@spbniifk.ru, ORCID: 0009-0000-1547-3001.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Tatyana V. Krasnoperova – Candidate of Biological Sciences, Head of the Adaptive Physical Culture and Sports Development Sector, Saint Petersburg Research Institute of Physical Culture, Saint Petersburg, e-mail: tkrasnoperova@spbniifk.ru, ORCID: 0000-0002-3898-8400.
Natalia B. Lukmanova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Adaptive Physical Culture and Sports Development Sector, Saint Petersburg Research Institute of Physical Culture, Saint Petersburg, e-mail: nlukmanova@spbniifk.ru, ORCID: 0000-0002-0074-8196.
Margarita V. Bystrova – Junior Researcher of the Adaptive Physical Culture and Sports Development Sector, Saint Petersburg Research Institute of Physical Culture, Saint Petersburg, e-mail: mbystrova@spbniifk.ru, ORCID: 0009-0000-1547-3001.

Для цитирования: Красноперова, Т.В. Взаимосвязь параметров нервно-мышечного аппарата у легкоатлетов спорта лиц с интеллектуальными нарушениями / Т.В. Красноперова, Н.Б. Лукманова, М.В. Быстрова // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_41

For citation: Krasnoperova T.V., Lukmanova N.B., Bystrova M.V. The relationship between neuromuscular parameters in track-and-field athletes with intellectual disabilities. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_41

Дата публикации: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_42
УДК 615.46; 678.01:53

Publication date: 01.09.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_42
UDC 615.46; 678.01:53

БИОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КАППА-КАРРАГИНАНА И АЛЬГИНАТА НАТРИЯ

П.А. Марков, Е.А. Рожкова, П.С. Еремин
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Исследование проведено с целью оценить структурно-механические, сорбционно-десорбционные и биологические свойства гидрогелей на основе каппа-каррагинана и альгината натрия (Карр/Алг). ***Методы.*** В исследовании использовали методы текстурного анализа материалов, биохимические и иммуноферментные методы количественного определения белков, метод поточной цитометрии с характеристикой количества апоптотических клеток и фаз клеточного цикла. ***Результаты.*** Прочность гидрогелей снижалась с уменьшением доли каррагинана, кальциевая сшивка при равном соотношении компонентов повышала прочность и модуль Юнга. Гидрогели Карр/Алг с соотношением компонентов 3:1 не влияли на жизнеспособность, апоптоз и пролиферативную активность фибробластов, а также обеспечивают сохранение функциональной активности интегрированных цитокинов. ***Заключение.*** Полученные результаты указывают на перспективность дальнейших исследований биофункциональных свойств гидрогелей в условиях *in vivo*.
Ключевые слова: гидрогели, каппа-каррагинан, альгинат натрия, структурно-механические свойства, контролируемая доставка, фибробласты, биосовместимость, регенеративная медицина.

BIOFUNCTIONAL PROPERTIES OF COMPOSITE HYDROGELS BASED ON KAPPA-CARRAGEENAN AND SODIUM ALGINATE

P.A. Markov, E.A. Rozhkova, P.S. Eremin
National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The study was conducted to evaluate the structural, mechanical, sorption-desorption, and biological properties of hydrogels based on kappa-carrageenan and sodium alginate (Car/Alg). ***Methods.*** The study employed texture analysis of materials, biochemical and enzyme linked immunosorbent assays for protein quantification, and flow cytometry to assess apoptotic cell numbers and cell cycle phase distribution. ***Results.*** The strength of the hydrogels decreased with a reduction in the carrageenan proportion; calcium crosslinking at an equal component ratio increased both strength and Young's modulus. Car/Alg hydrogels with a 3:1 component ratio did not affect fibroblast viability, apoptosis, or proliferative activity and preserved the functional activity of incorporated cytokines. ***Conclusion.*** The obtained results indicate the promise of further *in vivo* studies on the biofunctional properties of these hydrogels.
Keywords: hydrogels, kappa-carrageenan, sodium alginate, structural and mechanical properties, controlled delivery, fibroblasts, biocompatibility, regenerative medicine.

Введение. Многокомпонентные гидрогели, такие как полувзаимопроникающие полимерные сети (полу-ВПС) и взаимопроникающие полимерные сети (ВПС), стали инновационными биоматериалами для доставки лекарственных средств и в качестве каркасов для тканевой инженерии. Такие поликомпонентные гидрогели формируются путем химической или физической сшивки и в большинстве случаев демонстрируют физико-химические свойства, отличные от свойств исходных макромолекулярных комплексов и компонентов [1].

Благодаря своей биосовместимости, гидрофильности и возможности модификации физико-химических свойств гидрогели на основе природных полисахаридов

представляют собой перспективный класс биоматериалов для конструирования сложных композитных гидрогелей медицинского назначения [2]. Среди морских полисахаридов особый интерес вызывают каппа-каррагинан, сульфатированный полигалактан из красных водорослей и альгинат натрия – сополимер маннуроновой и гулуроновой кислот из бурых водорослей [3]. Комбинирование каппа-каррагинана и альгината натрия с последующим ионотропным сшиванием ионами кальция дает возможность создавать гели с помощью разных триггеров (температура и ионы), что открывает широкие возможности для дизайна материалов, и создавать полимерные гидрогелевые биоматериалы с регулируемыми биофункциональными свойствами.

Однако до настоящего времени остается недостаточно изученным влияние соотношения компонентов и присутствия ионов кальция на структурно-механические, сорбционно-десорбционные свойства композитных гидрогелей, а также их способность сохранять функциональную активность интегрированных биологически активных соединений.

Целью настоящего исследования являлось изучение структурно-механических, сорбционно-десорбционных и биологических свойств композитных гидрогелей на основе каппа-каррагинана и альгината натрия при различных соотношениях компонентов и наличия ионов кальция для обоснования их применения в качестве матриц для контролируемой доставки биологически активных соединений.

Методы и организация исследования. В работе использованы следующие реактивы и материалы: очищенный каппа-каррагинан KA120R компании Greenfresh Food Co., Ltd. (Китай) и альгинат натрия (Shandong Jiejing Group Corporation, Китай), сухие соли Хенкса, содержащие соли Ca, Mg, без бикарбоната Na, без фенолового красного («ПанЭко»), стерильный фосфатно-солевой буфер Дульбекко (Biowest).

Навески полисахаридов растворялись в 80 мл дистиллированной воды при температуре 90 °C, после растворения охлаждались до 45 °C. К полученным растворам, которые не должны содержать белок, добавляли 20 мл дистиллированной воды. В качестве модельного белка использовали бычий сывороточный альбумин (БСА, 50 мг/мл), 20 мл которого приливали к растворам полисахаридов. Загрузку в гидрогели трансформирующего фактора роста бета 1 (TGF-β1, Cloud-Clone Corp.) проводили аналогичным образом, расчетная концентрация TGF-β1 в гидрогеле составляла 10 нг/мл. Таким образом, получены бескальциевые гидрогели, не содержащие альбумин, и гидрогели, содержащие альбумин в концентрации 10 мг/мл геля. Затем гидрогели выдерживались 12 часов при температуре 4 °C, в результате чего были получены образцы без кальциевых гелей. Для получения кальциевых гидрогелей полученные бескальциевые гидрогели инкубировали в 0,4 М растворе хлорида кальция в течение суток при 4 °C. После чего гели промывали от избытка кальция три раза в дистиллированной воде в течение суток.

Анализ структурно-механических свойств образцов проводился с помощью анализатора текстуры TA.XTplus (Stable Micro Systems Ltd, Великобритания) с использованием тензодатчика весом 5 000 г и прикладной программы, поставляемой с устройством (Texture Expert for WindowsTM, версия 2.61). Испытания проводились при комнатной температуре.

Растворенные образцы в виде цилиндров диаметром 9 мм и высотой 6 мм подвергали однократному сдавливанию. Был использован плоский алюминиевый зонд диаметром 25 мм (SMS P/25). Для каждого теста были выбраны следующие экспериментальные условия: скорость претеста и пост-теста – 5 мм/с, скорость деформации – 1 мм/с, расстояние движения зонда – 5,6 мм. Прочность определяли по формуле 1:

$$P = F/S, \quad (1)$$

где F – максимум кривой «сила-расстояние» в ньютонах,

S – площадь поперечного сечения образца геля в $м^2$.

Модуль Юнга просчитывали по формуле 2:

$$E = (F/S)/(\Delta h/h), \quad (2)$$

где F – значение силы в ньютонах на кривой сила-расстояние при 4% деформации высоты образца,

S – площадь поперечного сечения образца геля в м^2,

Δh/h – 4% деформация высоты образца.

Для определения выхода альбумина инкубация гелевых образцов проводилась в трех средах (pH сред 6, 7 и 8) в течение 24 часов при температуре 37 °C. В качестве сред для инкубации использовали раствор соли Хенкса (HBSS), содержащий соли Ca, Mg, без бикарбоната Na, без фенолового красного, содержащий 25 мМ HEPES. Кислотность регулирования при помощи 40% раствора молочной кислоты и 1 М раствора бикарбоната Na. Инкубация проводилась в 12-луночных планшетах. В лунки планшета помещали по одному гелевому образцу и приливали 3 мл среды. Через 30 минут, 1, 6 и 24 часа из лунок отбирались пробы среды объемом 0,5 мл для определения концентрации белка. Объем инкубационной среды восстанавливали свежими 0,5 мл соответствующей среды. Концентрацию альбумина определяли при помощи набора BCA Protein Assay Kit (EMD Chemicals Inc, Германия).

Оценку биосовместимости проводили в условиях *in vitro* с использованием фибробластов человека (HdFb d281), полученных из банка клеточных культур уникальной научной установки «Коллекция клеточных культур для биотехнологических и биомедицинских исследований (общебиологического и биомедицинского направления)».

Предварительно обеззараженные 30% спиртом и УФ-облучением образцы ксерогелей (10×10 мм) помещали в 25 см² культуральный флакон. После чего на поверхность гидрогелей покапельно вносили суспензию фибробластов (200 мкл, 1×10^6 клеток/мл). Затем во флаконы дополнительно вносили суспензию фибробластов (6 мл, 5×10^5 клеток/мл). Общее количество повторов для каждого образца – 5 шт. Инкубировали 96 ч при стандартных условиях (37 °C, 5% CO_2). Во всех экспериментах, где не указано иное, использовали питательную среду DMEM-F12, содержащую 10% фетальной бычьей сыворотки и 1% раствор пенициллина-стрептомицина.

Через 96 ч фрагменты гидрогелей аккуратно извлекали из культуральных флаконов, кондиционированную среду из флаконов сливали в стерильные центрифужные пробирки объемом 1,5 мл и замораживали (-20 °C). Кондиционированную среду затем использовали для оценки количества коллагена (COL1A1) и фибронектина (Fn). Флаконы с адгезированными клетками трижды промывали стерильным фосфатно-солевым буфером Дульбекко (DPBS), после чего адгезированные клетки снимали с использованием стерильного раствора трипсин-версена (3 мл). Полученную клеточную суспензию сливали в пробирки 50 мл. Затем пробирки центрифугировали 8 мин при 1 800 об/мин, клеточную суспензию трижды промывали в DPBS и разделяли на две аликвоты. Одну аликвоту использовали для оценки количества апоптотических клеток методом проточной цитофлуориметрии. Для этого использовали коммерческий набор FITC Annexin V Apoptosis Detection Kit I (BD Pharmingen, США) и проточный цитофлуориметр BD FACSCanto II (Becton Dickinson). Вторую аликвоту использовали для оценки распределения клеток по фазам клеточного цикла: фаза клеточного роста (G_1-фаза), синтетическая фаза (S-фаза) и фаза клеточного деления (G_2/M-фаза). Оценку проводили методом проточной цитофлуориметрии с использованием коммерческого набора CellCycle Kit (BD Pharmingen, США). Индекс пролиферативной активности определяли суммированием количества клеток, находящихся в S и G_2/M фазах клеточного цикла.

Для оценки количества COL1A1 и фибронектина Fn, продуцируемых фибробластами, использовали наборы иммуноферментного анализа (Cloud-Clone Corp.) с серийными номерами SEA350Hu и SEA037Hu, для коллагена и фибронектина соответственно. Для стимуляции функциональной активности фибробластов использовали TGF-β1 с конечной концентрацией в растворе 10 нг/мл. Оптическую плотность растворов измеряли при 450 нм на планшетном фотометре iMark (Bio-Rad).

Полученные данные обрабатывали с помощью программ Statistica 10, SPSS версии 20 (SPSS, Inc., США) и Microsoft Excel 2007. Данные представлены в виде среднего арифметического ± стандартное отклонение (M±σ). Значимость различий определяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа и парного сравнения критерия Тьюки.

Результаты исследования и их обсуждение. Смешивание каппа-каррагинана и альгината натрия приводит к формированию устойчивых гидрогелей во всем диапазоне исследованных соотношений компонентов (16:0, 15:1, 7:2, 3:1, 1:1). Текстурный анализ выявил последовательное снижение прочности по сжатию по мере уменьшения доли каррагинана (рис. 1а). В то же время, модуль продольной упругости (модуль Юнга) не зависит от соотношения каппа-каррагинана и альгината натрия (Карр/Алг) в составе гидрогеля, незначительное снижение продольной упругости наблюдается при соотношении Карр/Алг 1:1 (рис. 1б).

Данная закономерность согласуется с представлением о том, что механическая прочность каррагинановых систем определяется плотностью спиральной сети, формирующейся при ионном экранировании сульфатных групп, а не простым аддитивным вкладом второго полисахарида [4, 5]. Наблюдаемая резкая потеря прочности уже при разведении 15:1 указывает на то, что альгинат в отсутствие кальция скорее препятствует, чем способствует формированию дополнительных сшивок, что соответствует данным о слабой собственной гелеобразующей способности альгината без двухвалентных катионов [6].

Введение ионов кальция принципиально меняет текстурные свойства гидрогелей: максимальная прочность кальцийсодержащих гидрогелей достигается при равном соотношении Карр/Алг и составляет 446±64 кПа (рис. 2а). При этом введение ионов кальция в гидрогель из каррагинана вызывает снижение его механической прочности до 36±8 кПа (рис. 2а). Установлено, что кальциевая сшивка полисахаридных цепей увеличивает модуль Юнга гидрогелей в 4 раза, в среднем с 12±3 до 46±3 кПа (рис. 2б).

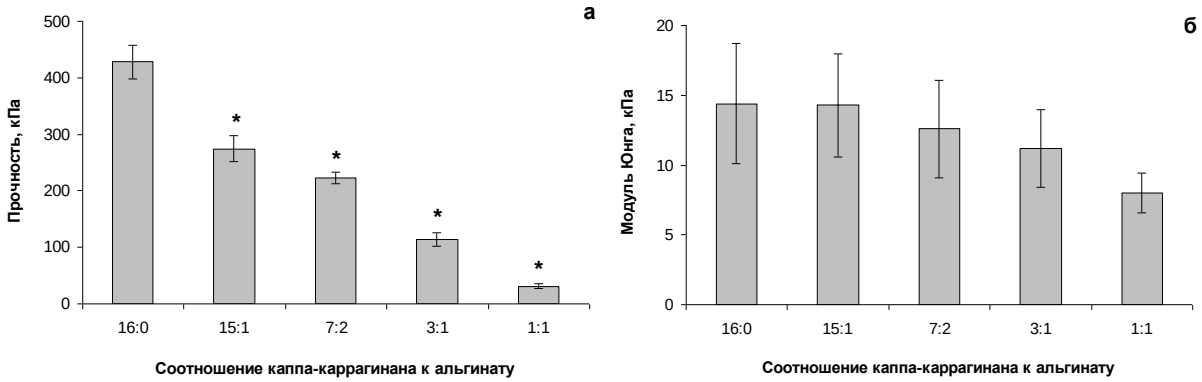


Рис. 1. Структурно-механические свойства гидрогелей, полученных из каппа-каррагинана и альгината натрия, смешанных в различных соотношениях

Примечание: а – прочность по сжатию; б – модуль Юнга; * – различия достоверны ($p<0,05$) по сравнению с предыдущим соотношением полисахаридов в гидрогеле; M±σ, количество повторов для каждого образца – 8.

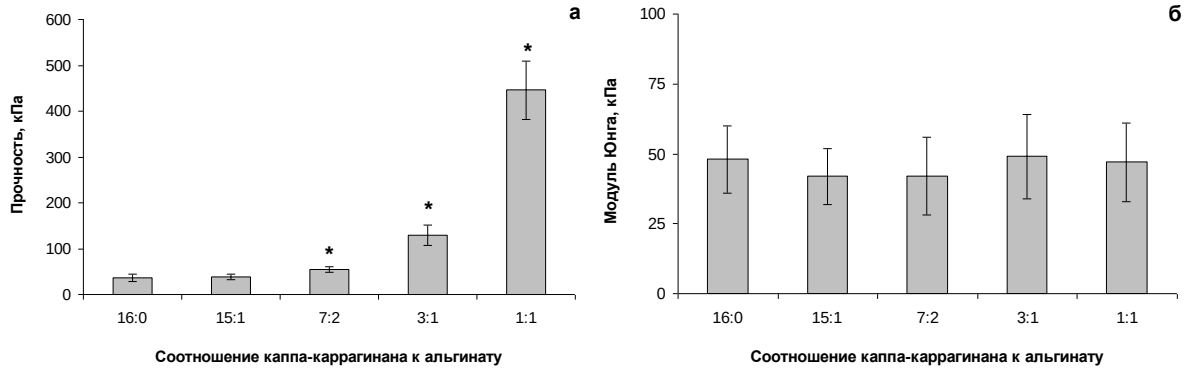


Рис. 2. Структурно-механические свойства кальцийсодержащих гидрогелей, полученных из каппа-каррагинана и альгината натрия, смешанных в различных соотношениях

Примечание: а – прочность по сжатию; б – модуль Юнга; * – различия достоверны ($p<0,05$) по сравнению с предыдущим соотношением полисахаридов в гидрогеле; M±σ, количество повторов для каждого образца – 8.

Полученные результаты согласуются с представлением о том, что для формирования полноценной кальций-опосредованной сети необходима достаточная доля альгинатных цепей, а не их следовое присутствие [7, 8].

На основании совокупности механических характеристик для дальнейших исследований был выбран состав Карр/Алг 3:1, далее маркированный как К3А1 (без кальция) и К3А1Са (с кальцием). Выбранный состав обеспечивает оптимальное сочетание прочности, эластичности и потенциала для направленного регулирования жесткости.

Способность гидрогелей сорбировать и высвобождать белки оценивали с целью обоснования применения полиэлектролитных комплексов, образованных каппа-каррагинаном и альгинатом натрия, в качестве матриц (несущих конструкций) для создания систем адресной и регулируемой доставки биологически активных соединений.

В качестве метода интеграции БСА был выбран метод смешивания. Изучена динамика высвобождения БСА при инкубации гидрогелей в растворах Хенкса, имитирующих кислотность острой (pH 6) и хронической (pH 8) раны, а также при физиологическом значении pH 7 [9, 10].

Установлено, что БСА высвобождается интенсивнее в кислой среде, чем при pH 7 и 8. В течение 24 ч при инкубации в физиологическом растворе с pH 6 из гидрогелей К3А1 высвободилось на 70% белка больше, чем за то же время в растворах с pH 7 и 8 (табл. 1).

Сшивка полисахаридных цепей ионами кальция не влияет на динамику высвобождения БСА при инкубации К3А1Са в кислой среде и снижает интенсивность экстракции белка при инкубации в нейтральной и щелочной средах (табл. 2).

Полученные результаты указывают на взаимосвязь плотности ионных сшивок с транспортными свойствами гидрогелей: более плотная кальций-опосредованная сеть ограничивает диффузию крупных молекул белка, тогда как в бескальциевых системах транспорт определяется преимущественно размером пор рыхлой полисахаридной матрицы [11, 12].

Таблица 1

Концентрация БСА в инкубационной среде при инкубации бескальциевых гидрогелей в кислом (pH 6), нейтральном (pH 7) и щелочном (pH 8) физиологическом растворе в течение 24 ч, мг/мл

Наименование образца/кислотность	Продолжительность инкубации			
	0,5 ч	1 ч	6 ч	24 ч
К3А1/pH6	1,0±0,1	1,2±0,3	4,3±0,5*	7,9±1,2*
К3А1/pH7	0,9±0,1	1,4±0,1*	3,3±0,7$^{*\#}$	4,5±0,7$^{*\#}$
К3А1/pH8	0,9±0,3	1,8±0,2*	3,6±0,8$^{*\#}$	4,3±0,4$^{*\#}$

Примечание: БСА – бычий сывороточный альбумин; К3А1 – гидрогель с составом каппа-каррагинана и альгината натрия в соотношении 3:1, без кальция; * – различия достоверны ($p<0,05$) по сравнению с предыдущей временной точкой, $^{\#}$ – различия достоверны ($p<0,05$) по сравнению с К3А1/pH6; M±σ, количество повторов для каждого образца – 8.

Таблица 2

Концентрация БСА в инкубационной среде при инкубации кальциевых гидрогелей в кислом (pH 6), нейтральном (pH 7) и щелочном (pH 8) физиологическом растворе в течение 24 ч, мг/мл

Наименование образца/кислотность	Продолжительность инкубации			
	0,5 ч	1 ч	6 ч	24 ч
К3А1Са/pH6	1,2±0,2	2,0±0,4*	3,5±0,3*	6,2±0,7*
К3А1Са/pH7	0,6±0,2$^{*\#}$	0,7±0,2$^{\#}$	1,3±0,3$^{*\#}$	2,3±0,4$^{*\#}$
К3А1Са/pH8	0,4±0,1$^{*\#}$	0,7±0,3$^{*\#}$	1,5±0,4$^{*\#}$	2,1±0,5$^{*\#}$

Примечание: БСА – бычий сывороточный альбумин; К3А1Са – гидрогель с составом каппа-каррагинана и альгината натрия в соотношении 3:1, с кальцием; * – различия достоверны ($p<0,05$) по сравнению с предыдущей временной точкой, # – различия достоверны ($p<0,05$) по сравнению с К3А1Са/pH6; M±σ, количество повторов для каждого образца – 8.

Наблюдаемая pH-зависимость высвобождения может обуславливаться частичным разрушением ионных связей альгинатной сети в кислой среде за счет протонирования карбоксильных групп и конкурентного вытеснения кальция [13, 14]. Это позволяет обоснованно предполагать, что бескальциевые составы предпочтительны для сред, имитирующих острую рану (pH 6), где требуется быстрое высвобождение биологически активного компонента для инициации репаративных процессов, тогда как кальцийсодержащие составы более уместны для сред, соответствующих хронической ране (pH 8), где востребованы пролонгированное действие и защита белка от протеолитической деградации [15, 16].

На следующем этапе оценивали влияние гидрогелей К3А1и К3А1Са на жизнеспособность фибробластов. В контроле при культивировании интактных фибробластов в стандартных условиях количество живых, апоптотических и мертвых клеток в популяции составляет 93±3, 1,6±0,3 и 1,6±0,2% соответственно (рис. 3). Установлено, что совместная 96-часовая инкубация исследованных образцов с фибробластами человека не вызывает изменений в жизнеспособности клеток, в том числе не стимулирует развитие апоптотических процессов (рис. 3).

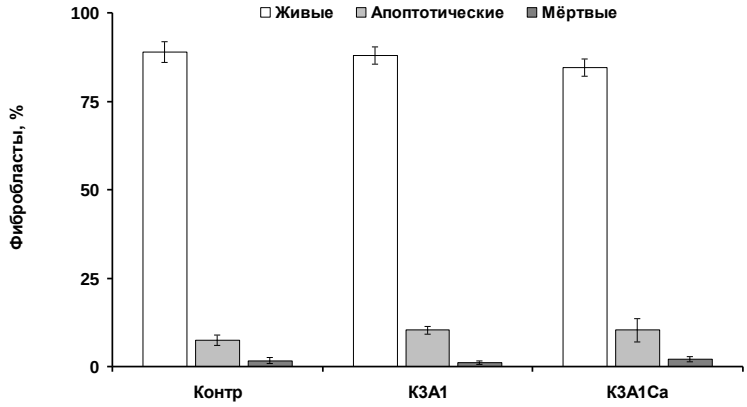


Рис. 3. Количество живых, апоптотических и мертвых фибробластов человека через 96 ч инкубации с гидрогелями К3А1 и К3А1Са

Примечание: К3А1 – гидрогель с составом каппа-каррагинана и альгината натрия в соотношении 3:1, без кальция; К3А1Са – гидрогель с составом каппа-каррагинана и альгината натрия в соотношении 3:1, с кальцием; M±σ, количество повторов для каждого образца – 5.

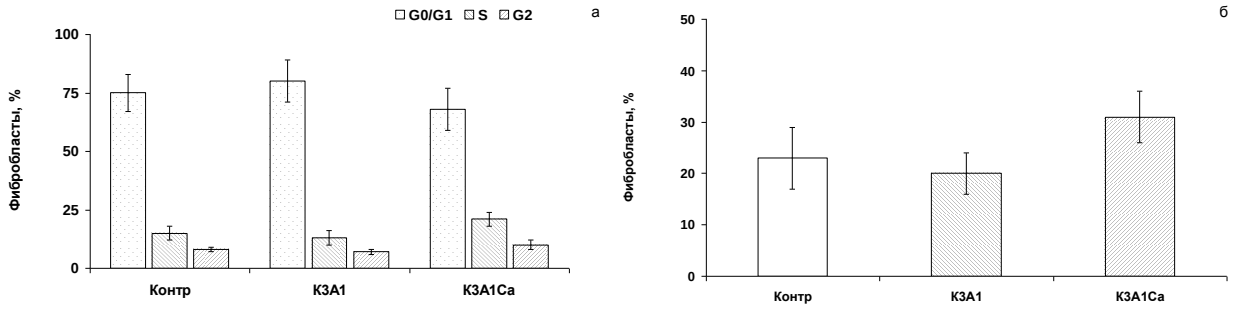


Рис. 4. Распределение клеток в фазах клеточного цикла (а) и индекс пролиферативной активности (б) через 96 ч совместного культивирования в стандартной питательной среде (контроль), при совместной инкубации с гидрогелями К3А1 и К3А1Са

Примечание: Примечание: К3А1 – гидрогель с составом каппа-каррагинана и альгината натрия в соотношении 3:1, без кальция; К3А1Са – гидрогель с составом каппа-каррагинана и альгината натрия в соотношении 3:1, с кальцием; G0/G1 – пресинтетическая фаза; S – синтетическая фаза; G2 – постсинтетическая фаза; M±σ, количество повторов для каждого образца – 5.

Оценка распределения фибробластов в фазах клеточного цикла через 96 ч культивирования показала, что в контроле 75±8% клеток в популяции фибробластов находятся в фазе покоя и фазе клеточного роста (G0/G1 фаза). В синтетической (S фаза, синтез ДНК) находится 15±3% клеток; 8±1% клеток популяции имеют признаки поздней фазы G2/M, являющейся переходной к фазе клеточного деления (рис. 4а).

Пролиферативную активность популяции фибробластов определяли по соотношению клеток, находящихся в синтетической (S фаза, синтез ДНК) и фазе клеточного деления (G2/M фаза), к клеткам, находящимся в фазе покоя и фазе клеточного роста (G0/G1 фаза). Таким образом, индекс пролиферативной активности фибробластов, инкубированных в стандартных условиях, составляет 23±6%, то есть треть клеток популяции являются активно пролиферирующими (рис. 4б).

Выявлено, что совместная инкубация фибробластов с гидрогелями К3А1 и К3А1Са не оказывает влияния на распределение клеток по фазам клеточного цикла (рис. 4а) и на пролиферативную активность клеточной популяции (рис. 4б).

Таким образом, гидрогели на основе каппа-каррагинана и альгината натрия как в чистом виде, так и содержащие кальций, полностью биосовместимы с фибробластами человека *in vitro*. Высокая биосовместимость, способность сорбировать, удерживать и высвобождать интегрированные соединения позволяют использовать композитные каррагинан-альгинатные гидрогели в качестве матриц для адресной и регулируемой доставки биологически активных соединений.

В качестве биологически активного соединения, интегрируемого в гидрогели, использовали TGF-β1, который имеет критическое значение в регенерации хрящевой ткани, ангиогенезе и реэндотелизации, а также способствует восстановлению хронических диабетических ран. Система доставки с контролируемым высвобождением факторов роста, таких как TGF-β1, может быть терапевтически эффективной для восстановления поврежденных твердых и мягких тканей, снижения рисков образования и прогрессирования аневризм аорты, атеросклероза [17-20].

Известно, что TGF-β1 связывается с рецепторами TGF-β и активирует путь TGF-β/Smad в фибробластах. Активация пути Smad приводит к повышению транскрипции белков внеклеточного матрикса (БВМ), в том числе коллагена I типа и фибронектина [21].

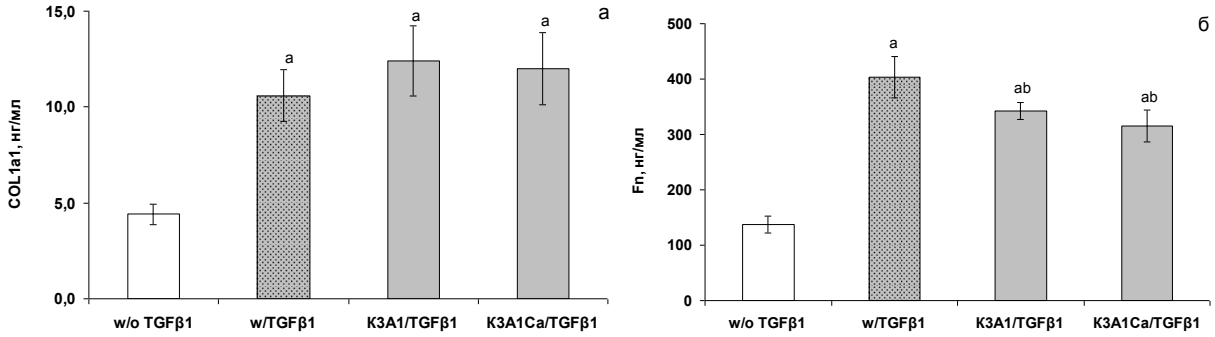


Рис. 5. Концентрация COL1a1 (а) и Fn (б) в кондиционированных средах после совместной инкубации фибробластов человека с гидрогелями К3А1/TGF-β1 и К3А1Са/TGF-β1

Примечание: COL1a1 – коллаген; Fn – фибронектин; К3А1Са – гидрогель с составом каппа-каррагинана и альгината натрия в соотношении 3:1, с кальцием; TGF-β1 – трансформирующий фактор роста бета 1; a – различия достоверны ($p<0,05$) по сравнению с w/o TGF-β1 (без фибропластов TGF-β1); b – различия достоверны ($p<0,05$) по сравнению с w/TGF-β (с фибропластами TGF-β1); M±σ, количество повторов для каждого образца – 5.

Через 96 ч культивирования в средах без добавления TGF-β1 (группа w/o TGF-β1) концентрация COL1a1 и Fn в кондиционированных средах составляет 4,4±0,5 и 137±15 нг/мл соответственно (рис. 5). Внесение в культуральную среду с

фибробластами TGF-β1 (группа w/TGF-β1) вызывает увеличение количества COL1a1 до 10,6±1,3 нг/мл (рис. 5а) и Fn до 404±37 нг/мл (рис. 5б). Повышение продукции фибробластами БВМ в ответ на стимуляцию TGF-β1 указывает на то, что клеточные популяции находятся в функционально активном состоянии.

Культивирование фибробластов человека с гидрогелями, загруженными TGF-β1 (К3А1/TGF-β1 и К3А1Са/TGF-β1), показало, что концентрация COL1a1 в кондиционированных средах фибробластов сопоставима с положительным контролем и составляет 12,4±1,8 и 12,0±1,9 нг/мл, соответственно (рис. 5а). Выявлено, что концентрация Fn в кондиционированных средах, полученных после совместной инкубации фибробластов с К3А1/TGF-β1 и К3А1Са/TGF-β1, ниже по сравнению с положительным контролем в среднем на 20% (рис. 5б).

Таким образом, установлено, что композитные гидрогели, вне зависимости от наличия ионов кальция, способны сорбировать и высвобождать TGF-β1 в функционально активном состоянии. Полученные данные обосновывают перспективность использования данных гидрогелей в качестве носителей биологически активных соединений для тканевой инженерии, регенеративной медицины и клеточных технологий.

Заключение. Проведенное исследование выявило, что варьирование соотношения каппа-каррагинана и альгината натрия в сочетании с ионотропным сшиванием кальцием представляет собой эффективный инструмент направленного управления прочностью, жесткостью и устойчивостью к деградации гидрогелевых матриц. Состав с соотношением компонентов 3:1 продемонстрировал оптимальный баланс механических и барьерных характеристик и был выбран как базовая платформа для оценки транспортных и биологических свойств. Показано, что данная платформа обеспечивает полную инкапсуляцию модельного белка методом смешивания, pH-зависимую и регулируемую кальцием кинетику его высвобождения, а также биосовместимость с фибробластами человека без признаков цитотоксичности, при сохранении способности выступать несущей матрицей для функционально активной доставки фактора роста TGF-β1.

Для перехода от лабораторного прототипа к клинически применимому изделию необходимы дальнейшие исследования в условиях *in vivo* с использованием экспериментальных животных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Interpenetrating Polymer Networks polysaccharide hydrogels for drug delivery and tissue engineering / P. Matricardi, C. Di Meo, T. Coviello [et al.] // Advanced Drug Delivery Reviews. – 2013. – Vol. 65. – No. 9. – P. 1172-1187.
2. Khachatryan, K. Intelligent Hydrocolloid-Based Delivery Systems: Innovations in Pharmacy and Cosmetics / K. Khachatryan, O. Michalski, K. Michalska // Molecules. – 2026. – Vol. 31. – No. 14. – P. 2468.
3. Pereira, L. Marine Algae Hydrogels as Emerging Biomaterials for Medicine / L. Pereira, A. Valado // Gels. – 2026. – Vol. 12. – No. 3. – P. 228.
4. Hilliou, L. Structure-Elastic Properties Relationships in Gelling Carrageenans / L. Hilliou // Polymers. – 2021. – Vol. 13. – No. 23. – P. 4120.
5. X-ray scattering and molecular dynamics simulations reveal the secondary structure of κ-carrageenan in the solution state / B.P. Westberry, B.W. Mansel, T.M. Ryan [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2022. – Vol. 296. – P. 119958.
6. Ions-induced gelation of alginate: Mechanisms and applications / C. Hu, W. Lu, A. Mata [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2021. – Vol. 177. – P. 578-588.
7. Genetic Regulation of Alginate Production in Azotobacter vinelandii a Bacterium of Biotechnological Interest: A Mini-Review / C. Núñez, L. López-Pliego, C.L. Ahumada-Manuel, M. Castañeda // Frontiers in Microbiology. – 2022. – Vol. 13. – P. 845473.
8. Customization of liquid-core sodium alginate beads by molecular engineering / M.N. Saqib, S. Ahammed, F. Liu, F. Zhong // Carbohydrate Polymers. – 2022. – Vol. 284. – P. 119047.
9. Influence of pH on wound-healing: a new perspective for wound-therapy / L.A. Schneider, A. Korber, S. Grabbe [et al.] // Archives of Dermatological Research. – 2007. – Vol. 298. – P. 413-420.
10. Еремин, П.С. Оценка прорегенераторного действия секретома мезенхимальных стромальных клеток пантов алтайского марала: результаты экспериментального исследования / П.С. Еремин,

П.А. Марков // Вестник восстановительной медицины. – 2026. – Т. 25. – № 2. – С. 33-41. [In English] Eremin P.S., Markov P.A. Evaluation of the pro-regenerative effect of the secretome of mesenchymal stromal cells from Altai maral antlers: results of an experimental study. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2026, vol. 25, no. 2, pp. 33-41. (in Russ.)

11. Jia, M. Correlating Ionic Conductivity and Microstructure in Polyelectrolyte Hydrogels for Bioelectronic Devices / M. Jia, L. Luo, M. Rolandi // Macromolecular Rapid Communications. – 2022. – Vol. 43. – No. 6. – P. 2100687.
12. Selectively Cross-Linked Tetra-PEG Hydrogels Provide Control over Mechanical Strength with Minimal Impact on Diffusivity / S.T. Lust, D. Hoogland, M.D.A. Norman [et al.] // ACS Biomaterials Science & Engineering. – 2021. – Vol. 7. – No. 9. – P. 4293-4304.
13. Malektaj, H. Swelling of Homogeneous Alginate Gels with Multi-Stimuli Sensitivity / H. Malektaj, A.D. Drozdov, J. deClaville Christiansen // International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – Vol. 24. – No. 6. – P. 5064.
14. Malektaj, H. Mechanical Properties of Alginate Hydrogels Cross-Linked with Multivalent Cations / H. Malektaj, A.D. Drozdov, J. deClaville Christiansen // Polymers. – 2023.
15. Gao, Q. Advanced Strategies for 3D Bioprinting of Tissue and Organ Analogs Using Alginate Hydrogel Bioinks / Q. Gao, B.S. Kim, G. Gao // Marine Drugs. – 2021. – Vol. 19 – No. 12. – P. 708.
16. Wound healing properties of triple cross-linked poly (vinyl alcohol)/methacrylate kappa-carrageenan/chitooligosaccharide hydrogel / P. Chandika, M.S. Kim, F. Khan [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2021. – Vol. 269. – P. 118272.
17. TGF-β1 conjugated chitosan collagen hydrogels induce chondrogenic differentiation of human synovium-derived stem cells / J. Kim, B. Lin, S. Kim [et al.] // Journal of Biological Engineering. – 2015. – Vol. 9. – P. 1.
18. A novel intramural TGF β1 hydrogel delivery method to decrease murine abdominal aortic aneurysm and rat aortic pseudoaneurysm formation and progression / H. Bai, P. Sun, S. Wei [et al.] // Biomedicine & Pharmacotherapy. – 2021. – Vol. 137. – P. 111296.
19. A high-performance hydrogel platform enabling dual antimiR-21 and TGF-β1 delivery to improve arterial plaque stability and enhance therapeutic angiogenesis outcomes / P. Islam, A. Abosalha, S. Schaly [et al.] // Scientific Reports. – 2026. – Vol. 16. – P. 3281.
20. Lee, P.Y. Thermosensitive Hydrogel as a Tgf-β1 Gene Delivery Vehicle Enhances Diabetic Wound Healing / P.Y. Lee, Z. Li, L. Huang // Pharmaceutical Research. – 2003. – Vol. 20. – P. 1995-2000.
21. Cho, N. TGF-β1 dominates extracellular matrix rigidity for inducing differentiation of human cardiac fibroblasts to myofibroblasts / N. Cho, S.E. Razipour, M.L. McCain // Experimental Biology and Medicine (Maywood). – 2018. – Vol. 243. – No. 7. – P. 601-612.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Павел Александрович Марков – ведущий научный сотрудник, заведующий отделом биомедицинских технологий, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии, Москва, e-mail: p.a.markov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4803-4803.

Елена Анатольевна Рожкова – главный научный сотрудник отдела биомедицинских технологий, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии, Москва, e-mail: RozhkovaEA@nmicrk.ru, ORCID: 0000-0002-2440-9244.

Петр Серафимович Еремин – научный сотрудник, лаборатория клеточных технологий, отдел биомедицинских технологий, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии, Москва, e-mail: ereminps@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8832-8470.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Pavel A. Markov – Leading Researcher, Head of the Department of Biomedical Technologies, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, e-mail: p.a.markov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4803-4803.

Elena A. Rozhkova – Chief Researcher, Department of Biomedical Technologies, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, e-mail: RozhkovaEA@nmicrk.ru, ORCID: 0000-0002-2440-9244.

Petr S. Eremin – Researcher, Laboratory of Cellular Technologies, Department of Biomedical Technologies, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, e-mail: ereminps@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8832-8470.

Для цитирования: Марков, П.А. Биофункциональные свойства композитных гидрогелей на основе каппа-каррагинана и альгината натрия / П.А. Марков, Е.А. Рожкова, П.С. Еремин // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_42

For citation: Markov P.A., Rozhkova E.A., Eremin P.S. Biofunctional properties of composite hydrogels based on kappa-carrageenan and sodium alginate. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 3(38). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_03_42

СКФНКЦ ФМБА России

Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр



Контакты

Тел./факс: 8 (87934) 992-91
e-mail: svb@skfmba.ru

Адрес: Россия, Ставропольский край, г.Ессентуки, ул.Советская, д.24
Почтовый индекс: 357340

www.svbskfmba.ru