



**СКФНКЦ  
ФМБА России**

Северо-Кавказский федеральный  
научно-клинический центр

# СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ БИОМЕДИЦИНЫ

Modern issues of biomedicine

Т. 7 (2) 2023

**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.

Статьи направлять на [svb@skfmba.ru](mailto:svb@skfmba.ru).

Сайт журнала: <http://svbskfmba.ru>.

**MODERN ISSUES OF BIOMEDICINE © 2023**

**Vol.7 №2 2023**

**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

Send your articles via e-mail: [svb@skfmba.ru](mailto:svb@skfmba.ru).

Domain name of the Internet portal of the journal: <http://svbskfmba.ru>.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### Главный редактор

Тер-Акопов Гукас Николаевич – к.э.н.  
(Россия, Ессентуки)

### Заместитель главного редактора

Корягина Юлия Владиславовна – проф., д.б.н.  
(Россия, Ессентуки)

### Члены редакционной коллегии журнала:

Абрамова Т.Ф. – д.б.н. (Россия, Москва)

Артеменко Е.П. – д.п.н., доцент (Россия,  
Казань)

Быков Е.В. – профессор, д.м.н. (Россия, Челя-  
бинск)

Голикова Е.М. – д.п.н., доцент (Россия,  
Оренбург)

Горская И.Ю. – профессор, д.п.н. (Россия,  
Омск)

Драндров Г.Л. – д.п.н., профессор (Россия,  
Чебоксары)

Ефименко Н.В. – профессор, д.м.н. (Россия,  
Ессентуки)

Замощина Т.А. – профессор, д.б.н. (Россия,  
Томск)

Кайсинова А.С. – д.м.н. (Россия, Ессентуки)

Калинина И.Н. – профессор, д.б.н. (Россия,  
Краснодар)

Кобринский М.Е. – профессор, д.п.н.  
(Беларусь, Минск)

Кудашова Л.Р. – профессор, д.б.н. (Казахстан,  
Алматы)

Литвинова Н.А. – д.б.н., профессор (Россия,  
Кемерово)

Махов А.С. – д.п.н., доцент (Россия, Москва)

Мельников А.А. – профессор, д.б.н. (Россия,  
Москва)

Нопин С.В. – к.т.н. (Россия, Ессентуки)

Репс В.Ф. – д.б.н. (Россия, Пятигорск)

Сентябрев Н.Н. – профессор, д.б.н. (Россия,  
Волгоград)

Сингх Рам Бахадур – профессор, д.м.н.  
(Индия)

Сивохин И.П. – д.п.н. (Казахстан, Костанай)

Смоленцева В.Н. – профессор, д.п.с.н.  
(Россия, Омск)

Солимене У. – профессор, д.м.н. (Италия)

Тамбовцева Р.В. – профессор, д.б.н. (Россия,  
Москва)

Трещева О.Л. – д.п.н., профессор (Россия,  
Омск)

Ходасевич Л.С. – профессор, д.м.н. (Россия,  
Сочи)

Чермит К.Д. – д.б.н., профессор (Россия,  
Майкоп)

Шлык Н.И. – д.б.н., профессор (Россия,  
Ижевск)

## EDITORIAL BOARD

### Chief editor of the journal

Ter-Akopov Gukas Nikolaevich – PhD in Economic Sciences (Russia, Essentuki)

### Deputy chief editor

Koryagina Yulia Vladislavovna – Professor, Doctor of Biological Sciences (Russia, Essentuki)

### Members of the Editorial Board:

Abramova T.F. – Doctor of Biological Sciences (Russia, Moscow)

Artemenko E.P. – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor (Russia, Kazan)

Bykov E.V. – Professor, Doctor of Medical Sciences (Russia, Chelyabinsk)

Golikova E.M. – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor (Russia, Omsk)

Gorskaya I.Yu. – Professor, Doctor of Pedagogical Sciences (Russia, Omsk)

Drandlov G.L. – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Russia, Cheboksary)

Efimenko N.V. – Professor, Doctor of Medical Sciences (Russia, Essentuki)

Zamoshchina T.A. – Professor, Doctor of Biological Sciences (Russia, Tomsk)

Kajsinova A.S. – Doctor of Medical Sciences (Russia, Essentuki)

Kalinina I.N. – Professor, Doctor of Biological Sciences (Russia, Krasnodar)

Kobrinskij M.E. – Professor, Doctor of Pedagogical Sciences (Belarus, Minsk)

Kudashova L.R. – Professor, Doctor of Biological sciences (Kazakhstan, Almaty)

Litvinova N.A. – Doctor of Biological Sciences, Professor (Russia, Kemerovo)

Makhov A.S. – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Russia, Moscow)

Mel'nikov A.A. – Doctor of Biological Sciences, Professor (Russia, Moscow)

Nopin S.V. – Candidate of Technical Sciences (Russia, Essentuki)

Reps V.F. – Doctor of Biological Sciences (Russia, Pyatigorsk)

Sentyabrev N.N. – Professor, Doctor of Biological Sciences (Russia, Volgograd)

Singh Ram Bahadur – Professor, Doctor of Medical Sciences (India)

Sivokhin I.P. – Doctor of Pedagogical Sciences (Kazakhstan, Kostanaj)

Smolentseva V.N. – Professor, Doctor of Psychological Sciences (Russia, Omsk)

Solimene U. – Professor, Doctor of Medical Sciences (Italy)

Tambovtseva R.V. – Professor, Doctor of Biological Sciences (Russia, Moscow)

Treshcheva O.L. – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor (Russia, Omsk)

Khodasevich L.S. – Professor, Doctor of Medical Sciences (Russia, Sochi)

Chermit K.D. – Doctor of Biological Sciences, Professor (Russia, Majkop)

Shlyk N.I. – Doctor of Biological Sciences, Professor (Russia, Izhevsk)

## СОДЕРЖАНИЕ

### Физиология

- ВЛИЯНИЕ МАСЛА ЧЕРНОГО ТМИНА НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ТРОМБОЦИТОВ ПРИ ЭКЗОГЕННОЙ ТРОМБИНЕМИИ 14  
Х.М. Алхасова, В.Г. Соловьев, О.В. Черничук
- ФАРМАКОКИНЕТИКА И ФАРМАКОДИНАМИКА КЛОНИДИНА ПРИ ЕГО ДЕЙСТВИИ НА АЛЬФА-2-АДРЕНОРЕЦЕПТОРЫ АРТЕРИЙ КОНЕЧНОСТИ КРОЛИКА НА 10 ДЕНЬ ХОЛОДОВОЙ АДАПТАЦИИ 21  
В.Н. Ананьев, Н.Я. Прокопьев, Г.В. Ананьев, Е.С. Гуртовой
- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЭЛИТНЫХ СПОРТСМЕНОК-ПАРАШЮТИСТОК 30  
А.В. Башкирева, Д.М. Максимов, С.М. Чибисов, Т.В. Башкирева
- ОЦЕНКА ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕАКТИВНОСТИ ДЕВУШЕК С РАЗЛИЧНЫМ ИНДЕКСОМ МАССЫ ТЕЛА В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ 40  
Г.С. Бобков, Е.Ю. Федорова, С.Н. Бобкова, М.В. Зверева
- ОСОБЕННОСТИ СОЗРЕВАНИЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЙ СФЕРЫ ЖИВОТНЫХ, ПОДВЕРГАВШИХСЯ СОЦИАЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В РАННЕМ ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНЫХ БИОМЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 47  
Д.С. Громова, В.И. Беляков С.И. Павленко, Н.Р. Попова
- ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕЛКОВ, ЯВЛЯЮЩИХСЯ МАРКЕРАМИ НЕЙРОВОСПАЛЕНИЯ, ДЛЯ ОЦЕНКИ КОГНИТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТЕЙ 53  
В.Л. Ефимова, Е.И. Николаева, Н.В. Коньшина, Г.С. Голосная
- ОСОБЕННОСТИ СТРЕСС-ИНДУЦИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА КРЫС НА ФОНЕ БЛОКАДЫ ВЕГЕТАТИВНЫХ ГАНГЛИЕВ, М-ХОЛИНО- И  $\beta$ -АДРЕНОРЕЦЕПТОРОВ 68  
Ю.Д. Жукова, Е.В. Курьянова, А.В. Трясучев, В.О. Ступин
- ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ И ПАТОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ МИОКИНА ИРИСИНА 83  
А.Н. Инюшкин, Т.С. Исакова, А.А. Инюшкин, И.Г. Кретьова
- АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА 92  
Т.В. Ипполитова, Е.Е. Степура, С.В. Кузнецов
- ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ К ГИПОКСИИ ХОККЕИСТОВ В МНОГОЛЕТНЕМ ТРЕНИРОВОЧНОМ ПРОЦЕССЕ 99  
И.Н. Калинина, Т.А. Линдт
- СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ВЕГЕТАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТУДЕНТОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СПОРТОМ 107  
И.С. Кальбердин, А.Н. Инюшкин
- ТРЕНИРОВКИ С ОГРАНИЧЕНИЕМ КРОВОТОКА ДЛЯ СПОРТСМЕНОВ: ЗОНТИЧНЫЙ ОБЗОР СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОБЗОРОВ 114  
Ф.А. Колосков, А.В. Мештель, А.Б. Мирошников

- ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВОДНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПШЕНА (*PANICUM MILIACEUM*) У КРЫС В НОРМЕ И ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОЧЕЧНОЙ ПАТОЛОГИИ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ 122  
Н.А. Ломтева, Е.И. Кондратенко, Л.А. Яковенкова, Д.В. Воробьев
- АДАПТИВНО-ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ КРОВИ ПРИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕРЕМЕННОСТИ С УЧЕТОМ ПОЛОВОГО ДИМОРФИЗМА ПЛОДА 132  
А.Е. Мальцева, Л.Е. Обухова, М.Н. Носова, Н.И. Барсукова
- ХРОНОФИЗИОЛОГИЯ СУТОЧНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ РОДОВ С УЧЕТОМ ПОЛОВОГО ДИМОРФИЗМА ПЛОДА 140  
А.Е. Мальцева, М.В. Горячева, Ю.А. Бондарчук, О.М. Улитина
- ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ МОТОРНОГО ДОМИНИРОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММУ И ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ВООБРАЖЕНИИ И ВЫПОЛНЕНИИ СЛОЖНЫХ ДВИЖЕНИЙ НОГАМИ 150  
К.А. Моренова, О.А. Ведясова, С.И. Павленко, И.Г. Кротова
- ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ УМСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕАКТИВНОСТИ ПАРАСИМПАТИЧЕСКОГО ОТДЕЛА ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ 159  
Т.М. Николаева, Е.К. Голубева
- ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СПОРТА 167  
С.В. Нопин, Ю.В. Корягина
- ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДИКТОРЫ СНИЖЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СТЕРЕОТИПА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СЕВЕРНОМ РЕГИОНЕ 177  
М.А. Попова, В.В. Чистова, А.Э. Щербакова
- МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МУЖЧИН 45-59 ЛЕТ, ИГРАЮЩИХ И НЕ ИГРАЮЩИХ В ХОККЕЙ С ШАЙБОЙ 185  
Д.А. Романова, С.И. Логинов
- ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РИТМА СЕРДЦА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ ТОНУСА ЦЕНТРОВ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ 192  
Д.А. Скорлупкин, Е.К. Голубева, Л.Л. Ярченкова
- ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА БОРЦОВ В СРАВНЕНИИ С ЛИЦАМИ, НЕ ЗАНИМАЮЩИМИСЯ СПОРТОМ 199  
Н.Ю. Тарабрина, Н.П. Мишин
- ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА 205  
Е.А. Томилова, В.В. Колпаков, А.А. Ткачук, Л.П. Пашенко
- ВЛИЯНИЕ ГЛИПРОЛИНОВЫХ НЕЙРОПЕПТИДОВ НА УРОВЕНЬ ТИРЕОИДНЫХ ГОРМОНОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ГИПЕРТИРЕОЗА 212  
А.А. Цибизова, М.У. Сергалиева, О.А. Башкина, М.А. Самотруева

### **Психофизиология**

НЕКОТОРЫЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИЦ, СКЛОННЫХ К ПЕРФЕКЦИОНИЗМУ  
Н.А. Булова, Д.С. Громова, Ю.В. Мякишева, С.И. Павленко 219

НЕГАТИВНАЯ МОТИВАЦИЯ КАК ГЛАВНЫЙ СТИМУЛ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ СПОРТОМ СРЕДИ ЛИЦ СРЕДНЕГО И СТАРШЕГО ВОЗРАСТА В РОССИИ  
Т.Р. Габитов, А.Л. Ясенявская 224

ОСОБЕННОСТИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО И ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЮНОШЕЙ И ДЕВУШЕК Г. ТЮМЕНИ В ПРЕДЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ ПЕРИОД  
Н.И. Кошкарлова, Е.И. Завертаная 231

### **Курортология и реабилитация**

СКАНДИНАВСКАЯ ХОДЬБА КАК МЕТОД РЕАБИЛИТАЦИИ У БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА, ПЕРЕНЕСШИХ COVID-19  
Е.Н. Августа, С.В. Соловьева, Н.Я. Прокопьев, Н.И. Кошкарлова 239

ТЕХНОЛОГИИ МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ КОСМОНАВТОВ В САНАТОРНО-КУРОРТНЫХ УСЛОВИЯХ  
Ю.В. Корягина, С.М. Абуталимова, А.Ш. Абуталимов, С.В. Нопин 248

ВЛИЯНИЕ СИЛОВЫХ ТРЕНИРОВОК НА УРОВЕНЬ ЛАКТАТА КРОВИ У МУЖЧИН С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ  
В.В. Сверчков, Е.В. Быков 257

### **Спортивная медицина**

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ДЕФИЦИТА МАГНИЯ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ В ПРЕДСОРЕВНОВАТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД  
И.С. Корольчук, Л.Н. Порубайко, А.А. Резун, А.В. Доронцев 265

ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИИ СРЕДНЕГОРЬЯ И КРАТКОВРЕМЕННОЙ ГИПЕРОКСИИ НА ДИНАМИКУ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СПОРТСМЕНОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ПОДВОДНЫМ ПЛАВАНИЕМ, В МАКСИМАЛЬНОМ ЭРГОСПИРОМЕТРИЧЕСКОМ ТЕСТЕ  
Г.Н. Тер-Акопов 272

### **Физическая культура и профессиональная физическая подготовка**

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПИТАНИЯ НА ФИТНЕС-ЗДОРОВЬЕ СТУДЕНТОВ  
С.В. Михайлова 280

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОЗИРОВАННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СТУДЕНТОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ В СПОРТИВНЫХ СЕКЦИЯХ И НА ЭЛЕКТИВНЫХ ЗАНЯТИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ  
Ф.В. Салугин, М.Х. Спатаева, А.Ю. Шредер, Д.В. Земкаюс 286

### **Теория и методика спорта**

РАЗВИТИЕ КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ У ДЕВОЧЕК-ПОДРОСТКОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ТЕННИСОМ  
Н.А. Пруидзе, А.В. Полякова, Д.В. Старшинов, Л.С. Ходасевич 296



ОЦЕНКА КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ АРБИТРОВ ЮНОШЕСКОЙ ФУТБОЛЬНОЙ ЛИГИ А.С. Топорова, В.А. Блинов	304
<b>Оздоровительная и адаптивная физическая культура</b> АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЛОС ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ ГИПЕРУПРУГИХ МОДЕЛЕЙ МУНИ-РИВЛИНА С.А. Муслов, С.Д. Арутюнов, С.С. Перцов, К.Г. Караков	308
ПАРАМЕТРЫ ГИПЕРУПРУГИХ МОДЕЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ УРОГЕНИТАЛЬНЫХ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ С.А. Муслов, А.А. Солодов, К.Г. Караков, И.А. Рева, С.Д. Арутюнов	319
ВЛИЯНИЕ ЗАНЯТИЙ СКАНДИНАВСКОЙ ХОДЬБОЙ НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ЖЕНЩИН ЗРЕЛОГО ВОЗРАСТА Е.Б. Тимофеева, Г.И. Семёнова, В.А. Шемятихин, А.М. Тимофеева	333

## CONTENTS

### Physiology

- EFFECT OF BLACK CUMIN OIL ON THE MORPHOFUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF PLATELETS IN EXOGENOUS THROMBINEMIA  
H.M. Alkhasova, V.G. Solov'yov, O.V. Chernichuk 14
- PHARMACOKINETICS AND PHARMACODYNAMICS OF CLONIDINE IN ITS EFFECT ON ALPHA-2-ADRENORECEPTORS OF RABBIT LIMB ARTERIES ON DAY 10 OF COLD ADAPTATION  
V.N. Anan'ev, N.Ya. Prokop'ev, G.V. Anan'ev, E.S. Gurtovoj 21
- USING EFSMA RECOMMENDATIONS IN INTERDISCIPLINARY STUDIES OF ELITE PARACHUTE JUMPERS  
A.V. Bashkireva, D.M. Maksimov, S.M. Chibisov, T.V. Bashkireva 30
- ASSESSMENT OF AUTONOMIC REACTIVITY OF GIRLS WITH DIFFERENT BODY MASS INDEX DURING DISTANCE LEARNING  
G.S. Bobkov, E.Yu. Fedorova, S.N. Bobkova, M.V. Zvereva 40
- FEATURES OF THE PSYCHOEMOTIONAL MATURATION OF ANIMALS EXPOSED TO SOCIAL ISOLATION IN EARLY POSTNATAL ONTOGENY: MODEL BIOMEDICAL RESEARCH RESULTS  
D.S. Gromova, V.I. Belyakov, S.I. Pavlenko, N.R. Popova 47
- POSSIBILITY OF USING PROTEINS AS NEUROINFLAMMATION MARKERS TO EVALUATE COGNITIVE STATE OF CHILDREN  
V.L. Efimova, E.I. Nikolaeva, N.V. Kon'shina, G.S. Golosnaya 53
- THE FEATURES OF STRESS-INDUCED CHANGES OF HEART RATE VARIABILITY IN RATS IN CASE OF THE BLOCKADE OF AUTONOMIC GANGLIONS, MUSCARINIC ACETYLCHOLINERGIC RECEPTORS AND  $\beta$ -ADRENERGIC RECEPTORS  
Yu.D. Zhukova, E.V. Kur'yanova, A.V. Tryasuchev, V.O. Stupin 68
- PHYSIOLOGICAL AND PATHOPHYSIOLOGICAL ROLE OF MYOKINE IRISIN  
A.N. Inyushkin, T.S. Isakova, A.A. Inyushkin, I.G. Kretova 83
- ANALYSIS OF ELECTROPHYSIOLOGICAL INDICATORS OF HEART RATE VARIABILITY IN CATTLE  
T.V. Ippolitova, E.E. Stepura, S.V. Kuznetsov 92
- FEATURES OF THE EXTERNAL RESPIRATION FUNCTION AND RESISTANCE TO HYPOXIA OF HOCKEY PLAYERS IN THE LONG-TERM TRAINING PROCESS  
I.N. Kalinina, T.A. Lindt 99
- SEASONAL DYNAMICS OF THE AUTONOMIC CHARACTERISTICS OF STUDENTS WHO PLAY SPORTS  
I.S. Kal'berdin, A.N. Inyushkin 107
- BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING FOR ATHLETES: AN UMBRELLA REVIEW OF SYSTEMATIC REVIEWS  
F.A. Koloskov, A.V. Meshtel, A.B. Miroshnikov 114

PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF MILLET (PANICUM MILIACEUM) AQUEOUS EXTRACT IN NORMAL RATS AND IN MODELING KIDNEY PATHOLOGY WITH ETHYLENE GLYCOL N.A. Lomteva, E.I. Kondratenko, L.A. Yakovenkova, D.V. Vorob'yov	122
ADAPTIVE CHANGES IN THE BLOOD SYSTEM DURING PHYSIOLOGICAL PREGNANCY, TAKING INTO ACCOUNT FETAL SEXUAL DIMORPHISM A.E. Mal'tseva, L.E. Obukhova, M.N. Nosova, N.I. Barsukova	132
CHRONOPHYSIOLOGY OF THE CHILDBIRTH'S DAILY PERIODICITY, TAKING INTO ACCOUNT FETAL SEXUAL DIMORPHISM A.E. Mal'tseva, M.V. Goryacheva, Yu.A. Bondarchuk, O.M. Ulitina	140
INFLUENCE OF MOTOR DOMINANCE PROFILE ON ELECTROENCEPHALOGRAM AND HEART RATE VARIABILITY WHILE IMAGINING AND PERFORMING COMPLEX LEG MOVEMENTS K.A. Morenova, O.A. Vedyasova, S.I. Pavlenko, I.G. Kretova	150
INFLUENCE OF PHYSICAL LOAD ON HEART RATE VARIABILITY DURING MENTAL ACTIVITY DEPENDING ON THE REACTIVITY OF THE PARASYMPATHETIC DIVISION OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM T.M. Nikolaeva, E.K. Golubeva	159
TYPOLICAL FEATURES OF THE NERVOUS SYSTEMS PROPERTIES IN ELITE ATHLETES OF DIFFERENT SPORTS S.V. Nopin, Yu.V. Koryagina	167
FUNCTIONAL PREDICTORS OF HIGHER SCHOOL TEACHERS' PERFORMANCE DECREASE WHEN THE STEREOTYPE OF PROFESSIONAL ACTIVITY IS CHANGED IN THE NORTHERN REGION M.A. Popova, V.V. Chistova, A.E. Shcherbakova	172
MORPHOPHYSIOLOGICAL FEATURES OF MEN AGED 45-59 PLAYING AND NOT PLAYING ICE HOCKEY D.A. Romanova, S.I. Loginov	185
THE EFFECT OF BODY POSITION ON HEART RATE VARIABILITY DEPENDING ON THE FEATURES OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM CENTERS TONE D.A. Skorpupkin, E.K. Golubeva, L.L. Yarchenkova	192
FEATURES OF THE ELECTRICAL ACTIVITY OF THE WRESTLERS' BRAIN IN COMPARISON WITH PEOPLE WHO DO NOT PLAY SPORTS N.Yu. Tarabrina, N.P. Mishin	199
INDIVIDUAL AND TYPOLICAL FEATURES OF MOTOR ACTIVITY IN TODDLERS E.A. Tomilova, V.V. Kolpakova, A.A. Tkachuk, L.P. Pachshenko	205
EFFECT OF GLIPROLINE NEUROPEPTIDES ON THYROID HORMONE LEVELS IN EXPERIMENTAL HYPERTHYROIDISM A.A. Tsibizova, M.Yu. Sergalieva, O.A. Bashkina, M.A. Samotrueva	212

### **Psychophysiology**

SOME PSYCHOPHYSIOLOGICAL FEATURES OF PEOPLE PRONE TO PERFECTIONISM 219  
N.A. Burova, D.S. Gromova, Yu.V. Myakisheva, S.I. Pavlenko

NEGATIVE MOTIVATION AS THE MAIN INCENTIVE TO ENGAGE IN SPORT AMONG MIDDLE-AGED AND OLDER PEOPLE IN RUSSIA 224  
T.R. Gabitov, A.L. Yasenyavskaya

PSYCHOEMOTIONAL STATE OF YOUNG GIRLS AND BOYS IN TYUMEN DURING THE PRE-EXAMS PERIOD 231  
N.I. Koshkarova, E.I. Zavertanaya

### **Balneology and rehabilitation**

NORDIC WALKING AS A REHABILITATION METHOD FOR PATIENTS WITH CORONARY HEART DISEASE WHO HAD COVID-19 239  
E.N. Augusta, S.V. Solov'eva, N.Ya. Prokop'ev, N.I. Koshkarova

MEDICAL REHABILITATION TECHNOLOGIES FOR THE MUSCULOSKELETAL AND NERVOUS SYSTEMS OF ASTRONAUTS IN SANATORIUM-RESORT CONDITIONS 248  
Yu.V. Koryagina, S.M. Abutalimova, A.Sh. Abutalimov, S.V. Nopin

INFLUENCE OF RESISTANCE TRAINING ON BLOOD LACTATE LEVEL IN MEN WITH METABOLIC SYNDROME 257  
V.V. Sverchkov, E.V. Bykov

### **Sports medicine**

FEATURES OF MAGNESIUM DEFICIENCY IN ELITE ATHLETES BEFORE THE COMPETITION PERIOD 265  
I.S. Korol'chuk, L.N. Porubajko, A.A. Rezun, A.V. Dorontsev

EFFECT OF MIDDLE ALTITUDE HYPOXIA AND SHORT-TERM HYPEROXIA ON THE FUNCTIONAL PERFORMANCE DYNAMICS IN DIVERS DURING THE MAXIMUM ERGOSPIROMETRIC TEST 272  
G.N. Ter-Akopov

### **Physical culture and professional physical training**

IMPACT OF DIET QUALITY ON STUDENTS' FITNESS AND HEALTH 280  
S.V. Mikhajlova

EFFECT OF DOSED PHYSICAL ACTIVITY ON THE FUNCTIONAL AND PSYCHOEMOTIONAL STATE OF STUDENTS ENGAGED IN SPORTS SECTIONS AND ELECTIVE PHYSICAL EDUCATION CLASSES 286  
F.V. Salugin, M.H. Spataeva, A.Yu. Schroeder, D.V. Zemkayus

### **Theory and methods in sports**

DEVELOPMENT OF COORDINATION ABILITIES IN TEENAGE GIRLS ENGAGED IN TENNIS 296  
N.A. Pruidze, A.V. Polyakova, D.V. Starshinov, L.S. Khodasevich

ASSESSING AGILITY OF YOUTH SOCCER LEAGUE REFEREES 304  
A.S. Toporova, V.A. Blinov

**Health and adaptive physical culture**

ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES OF HUMAN HAIR USING HYPERELASTIC  
MOONEY-RIVLIN MODELS

S.A. Muslov, S.D. Arutyunov, S.S. Pertsov, K.G. Karakov

308

PARAMETERS OF HYPERELASTIC MODELS OF BIOLOGICAL TISSUES IN  
UROGENITAL ORGANS OF HUMAN AND ANIMALS

S.A. Muslov, A.A. Solodov, K.G. Karakov, I.A. Reva, S.D. Arutyunov

319

INFLUENCE OF NORDIC WALKING ON HEART RATE VARIABILITY OF MATURE  
WOMEN

E.B. Timofeeva, G.I. Semenova, V.A. Shemyatikhin, A.M. Timofeeva

333

## ФИЗИОЛОГИЯ

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_1  
УДК 665.334.7: [58.072+612.115.12]

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_1  
UDC 665.334.7: [58.072+612.115.12]

### ВЛИЯНИЕ МАСЛА ЧЕРНОГО ТМИНА НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ТРОМБОЦИТОВ ПРИ ЭКЗОГЕННОЙ ТРОМБИНЕМИИ

Х.М. Алхасова<sup>1,2</sup>, В.Г. Соловьев<sup>2</sup>, О.В. Черничук<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Автономное учреждение ХМАО-Югры «Центр Профессиональной Патологии», г. Ханты-Мансийск, Россия

<sup>2</sup>Бюджетное учреждение высшего образования ХМАО-Югры «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия», г. Ханты-Мансийск, Россия

**Аннотация.** Липопероксидация клеточных мембран тромбоцитов (Тц) приводит к изменению процессов стационарного функционирования клеток, активации мембранных фосфолипаз, формированию матриц для запуска каскада ферментативных реакций гемостаза. Первым и видимым проявлением активации Тц является изменение их формы. Целью нашей работы явилось изучение БАД «Масло черного тмина “Эфиопское”» (МЧТ) на морфофункциональные характеристики и количественное распределение Тц плазмы крови у крыс при тромбинемии, индуцированной экзогенным путем. В эксперименте использовались 60 самцов неинбредных белых крыс. Животным из опытных групп дополнительно вводили перорально БАД в дозе 0,5 мл в течение 21 сут. Экзогенную тромбинемии вызывали внутривенным введением в яремную вену взвеси тромбина. Забирали кровь у животных для дальнейшего исследования морфологических особенностей, измерения среднего объема (MPV) и подсчета общего количества Тц через 0,5 ч и 1 ч. Полученные нами данные свидетельствовали о позитивном влиянии дополнительного введения МЧТ на гемостаз, что проявилось в ограничении активации Тц и степени тромбоцитопении потребления в условиях экзогенной тромбинемии.

**Ключевые слова:** тромбоциты, активные формы кислорода, окислительный стресс, перекисное окисление липидов, черный тмин, масло черного тмина, *Nigella sativa*.

### EFFECT OF BLACK CUMIN OIL ON THE MORPHOFUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF PLATELETS IN EXOGENOUS THROMBINEMIA

H.M. Alkhasova<sup>1,2</sup>, V.G. Solov'yov<sup>2</sup>, O.V. Chernichuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Occupational Pathology Center, Khanty-Mansiysk, Russia

<sup>2</sup>Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia

**Annotation.** Lipid peroxidation of platelet (PLT) cell membranes leads to changes in the processes of stationary cell functioning, activation of membrane phospholipases, formation of matrices to trigger a cascade of enzymatic reactions of hemostasis. The first and visible sign of PLT activation is a change in their shape. The purpose of our work was to study the dietary supplement “Ethiopian black cumin oil” on morphofunctional characteristics and quantitative distribution of blood plasma PLT in rats with exogenously induced thrombinemia. In the experiment, 60 males of non-inbred white rats were used. Animals from the experimental groups were additionally administered dietary supplements at a dose of 0.5 ml for 21 days. Exogenous thrombinemia was caused by intravenous injection of a thrombin suspension into the jugular vein. Blood was taken from animals for further investigation of morphological features, measurement of the mean platelet volume (MPV) and calculation of the total number of PLT after 0.5 hours and 1 hour. The data obtained shows the positive effect of the additional administration of the supplement on hemostasis, which was manifested in the restriction of PLT activation and the degree of consumption thrombocytopenia in conditions of exogenous thrombinemia.

**Keywords:** platelets, reactive oxygen species, oxidative stress, lipid peroxidation, black cumin, black cumin oil, *Nigella sativa*.

**Введение.** Тромбоциты (Тц) являются наименьшими по размеру безъядерными форменными элементами крови, возникающими в результате цитоплазматической фрагментации мегакариоцитов в костном мозге и имеющими типичный диаметр ~2-3 мкм. Средняя продолжительность жизни – 9-12 дней. Тромбоциты выполняют такие важнейшие функции *in vivo*, как ангиотрофическую, репаративную, вазоконстрикторную, адгезивно-агрегационную, регулирование местной воспалительной реакции и иммунитета, катализ реакций биохимического компонента свертывания с образованием фибринового сгустка и т.д. Уникальная морфоструктура Тц, состоящая из микротрубочек, гранул, канальцевых систем и других органелл, влияет на их морфофункциональное состояние. Так, в состоянии покоя подавляющее большинство Тц представляют собой в фас дискообразную, а в профиль – эллипсоидную клетку с гладкой цитоплазматической мембраной, напоминающую форму чечевицы. Первым и видимым проявлением активации Тц является изменение их формы. При индуцировании гемостатических реакций происходит биохимическая и ультраструктурная перестройка кровяных пластинок и их переход из неактивированных форм в активированные. На этой стадии дискоциты принимают сферический или блинообразный вид, что связано с их распластыванием на субстрате и изменением общего объема. Находясь на ранней стадии активации, Тц могут обратимо менять свою форму, становясь снова дискоцитами. Следующими этапами активации являются адгезия, реакция высвобождения и появление псевдоподий (отростков), что опосредовано внутриклеточной системой сократительных микрофиламентов. Последние изменения в морфоструктуре Тц приводят к необратимым процессам и образованию первичных внутрисосудистых агрегатов [1-3].

Важная роль в активации системы гемостаза отводится окислительному стрессу,

приводящему к активации перекисного окисления липидов (ПОЛ) и модификации полиненасыщенных жирных кислот клеточных мембран. Тц являются как источником, так и мишенью активных форм кислорода (АФК). Образующиеся при активации ПОЛ продукты являются мощными окислителями, более активными, чем кислород. Они представляют угрозу клеточной целостности и играют важную роль в клеточном повреждении. Липопероксидация клеточных мембран Тц приводит к изменению процессов стационарного функционирования клеток, активации мембранных фосфолипаз, формированию матриц для запуска каскада ферментативных реакций гемостаза [4]. При экзогенной активации тромбоцитов запускаются сигнальные пути, приводящие к эндогенной продукции АФК как оксидазами NADPH (NOX), так и митохондриями [5-6]. В свою очередь, тромбоциты, активированные окислительным стрессом, также могут являться источником АФК, которые дополнительно способствуют усилению окислительного стресса. Этот процесс порождает порочный круг, способный воздействовать на другие типы клеток, способствуя в конечном итоге прогрессированию заболеваний и развитию осложнений, приводя к тромбоэмболическим состояниям [7]. Следовательно, посредством управления процессами липопероксидации, а именно обогащением нашего ежедневного рациона дополнительными источниками антиоксидантов, можно корректировать тромбоцитарную активность.

Учитывая вышеизложенные факты, целью нашей работы явилось изучение влияния биологически активной добавки «Масло черного тмина “Эфиопское”» на морфофункциональные характеристики и количественное распределение тромбоцитов плазмы крови у крыс при тромбинемии, индуцированной экзогенным путем.

**Методы и организация исследования.** Для эксперимента использовались 60 самцов неинbredных белых крыс массой

250-300 г. Животные содержались на смешанном сбалансированном рационе с оптимальным соотношением белков, липидов и углеводов. Животные были разделены на 5 групп по 12 особей: интактная; 1-я контрольная – не получавшая масло черного тмина (МЧТ), исследуемая через 0,5 ч после введения тромбина; 2-я контрольная – не получавшая МЧТ, исследуемая через 1 ч после введения тромбина; 1-я опытная – получавшая МЧТ, исследуемая через 0,5 ч после введения тромбина; 2-я опытная – получавшая МЧТ, исследуемая через 1 ч после введения тромбина. Животным из опытных групп вводили перорально БАД «Масло черного тмина “Эфиопское”» (ISAR.CO, г. Каир) в дозе 0,5 мл на ежедневной основе в течение 21 сут. в соответствии с инструкцией по применению. Дозы изучаемой субстанции для животных были адекватными рекомендуемым дозам для человека, не вызывающими токсических эффектов. Содержание животных в виварии и проведение экспериментов соответствовали принципам Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей (Страсбург, 1986).

Экзогенную тромбинемию вызывали внутривенным введением в яремную вену взвеси тромбина (1,67 НИН на 100 г массы тела) в физиологическом растворе хлорида натрия, не вызывающей гибель животных. Болезненные манипуляции проводили, подвергая животных наркозу диэтиловым эфиром. Яремные вены обнажали овальным разрезом. В одну из яремных вен вводили инъекцию, забор крови осуществляли из симметричной яремной вены (через 0,5 и 1 ч после инъекции в зависимости от группы животных). Кровь для исследования морфологических особенностей тромбоцитов стабилизировали 0,1%-м забуференным раствором глутаральдегида, а для подсчета количества Тц и измерения MPV (средний

объем тромбоцита) на автоматическом анализаторе кровь отдельно отбиралась в вакуумную пробирку с наполнителем КЗ-ЭДТА. Содержание дискоцитов и активированных форм тромбоцитов (в абсолютных и относительных значениях) выявляли с помощью прямой микроскопии в камере Горяева [8]. Автоматический подсчет общего количества тромбоцитов и средний объем тромбоцита вычисляли на анализаторе Beckman coulter DxH 500. Результаты исследования, имеющие цифровое выражение, анализировали методом вариационной статистики для малых рядов наблюдений с использованием программы Microsoft Excel. Для оценки достоверности отличий вычисляли доверительный коэффициент Стьюдента (t) и степень вероятности (p). Нормальность распределения проверялась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** В ходе проведенной экспериментальной работы нами было выявлено, что тромбинемия через 0,5 ч вызвала уменьшение на 54% содержания общего количества тромбоцитов, что свидетельствовало о существенной активации клеточного звена гемостаза и тромбоцитопении потребления (1-я контрольная группа; табл. 1).

Обнаружилось, что относительное количество активированных Тц выросло на 10%, а абсолютное и относительное содержание дискоцитов было снижено. Значение MPV у самцов контрольной группы после введения тромбина выросло на 40%, что свидетельствовало об изменении объема Тц.

Через 1 ч после введения тромбина (2-я контрольная группа) сохранялась высокая степень тромбоцитопении, повышенное относительное содержание активированных форм Тц и MPV на фоне низкого количества дискоцитов (табл. 2).



Таблица 1

Морфофункциональная и количественная характеристика тромбоцитов у крыс, получавших и не получавших масло черного тмина, через 0,5 ч после введения взвеси тромбина (по 12 крыс в группе),  $M \pm m$

Показатель	Интактная группа	1-я контрольная группа (без МЧТ)	1-я опытная группа (с МЧТ)
PLT, $10^9/\text{л}$	1220±38	559±13*	629±37* <sup>0</sup>
Дискоциты, $10^9/\text{л}$	1042±23	421±11*	491±21* <sup>0</sup>
Дискоциты, %	85±1,2	75±0,1	78±0,3* <sup>0</sup>
АФ, $10^9/\text{л}$	178±15	138±33*	138±21* <sup>0</sup>
АФ, %	15±1,2	25±0,4	22±0,5* <sup>0</sup>
MPV, fl	5,7±0,07	7,99±0,17*	7,19±0,07* <sup>0</sup>

Примечание (к этой и последующей таблице): МЧТ – масло черного тмина; PLT – содержание тромбоцитов; АФ – активированные формы тромбоцитов; MPV – средний объем тромбоцита. Установлены статистически значимые отличия ( $p < 0,05$ ): \* – от показателей интактной группы; <sup>0</sup> – от показателей 1-й контрольной группы

Таблица 2

Морфофункциональная и количественная характеристика тромбоцитов у крыс, получавших и не получавших масло черного тмина, через 1 ч после введения взвеси тромбина (по 12 крыс в группе),  $M \pm m$

Показатель	Интактная группа	2-я контрольная группа (без МЧТ)	2-я опытная группа (с МЧТ)
PLT, $10^9/\text{л}$	1220±38	577±9*	703±21* <sup>0</sup>
Дискоциты, $10^9/\text{л}$	1042±23	436±12*	568±22* <sup>0</sup>
Дискоциты, %	85±1,2	76±1,1*	81±0,5* <sup>0</sup>
АФ, $\times 10^9/\text{л}$	178±15	141±21*	135±16
АФ, %	14±1,2	24±1,2*	19±1,6* <sup>0</sup>
MPV, fl	5,7±0,07	7,45±0,04*	6,49±0,16* <sup>0</sup>

Реакция на введение тромбина животным, получавшим МЧТ, выглядела иначе. Через 0,5 ч в 1-ой опытной группе также наблюдалась тромбоцитопения потребления, но степень ее была меньшей, чем в контроле (1-я контрольная группа, см. табл. 1). Содержание тромбоцитов снизилось лишь на 48%, меньше оказались прирост относительного содержания активированных форм и падение уровня дискоцитов. MPV увеличился на 26%, что очевидно меньше, чем в 1 контрольной группе.

Через 1 ч у крыс, получавших МЧТ (2-я опытная группа, табл. 2), обнаружилось более интенсивные темпы возвращения показателей к исходным значениям по сравнению с контролем (2-я контрольная

группа), выражающиеся как в количественных, так и в качественных показателях.

Приведенные данные свидетельствуют о позитивном влиянии дополнительного введения МЧТ на гемостаз, что проявилось в ограничении активации тромбоцитов и степени тромбоцитопении потребления в условиях экзогенной тромбинемии. Причина такого влияния может заключаться в уникальном фитохимическом составе масла черного тмина. *Nigella sativa* (черный тмин, чернушка посевная) – однолетнее травянистое растение, относящееся к семейству *Ranunculaceae* (лютиковых), имеют насыщенный вкус и запах, применяются в традиционной кулинарии восточных стран как в качестве приправы, так и в народной медицине. Показано, что семена содержат

5,02% влаги, 21,07% белка, 39,02% жира, 3,02% золы, 6,01% клетчатки и 25,86% углеводов. Черный тмин содержит нелетучие (флавоноиды, фенолокислоты, дубильные вещества) и летучие (в т.ч. терпеновые) соединения. В семенах черного тмина были выделены и идентифицированы различные алкалоиды: нигеллицин, содержащий ядро индазола, нигеллимин, имеющий молекулу изохинолина, а также N-оксид нигеллимина и, наконец, нигеллидин, представляющий собой молекулу индазольной природы. Соотношение ненасыщенных и насыщенных жирных кислот составляет 85,16% и 15,02% соответственно. В составе МЧТ обнаружены следующие минералы: кальций, калий, фосфор, магний, натрий, железо, цинк, медь и витамины: тиамин, ниацин, фолиевую кислоту, ретинолы, токоферолы и др. [9-10]. Учитывая состав *Nigella sativa*, можно с уверенностью говорить о том, что МЧТ обладает антиоксидантными свойствами благодаря наличию в своем составе полифенольных и терпеновых соединений, а также токоферолов и ретинолов. Многие исследования показывают сильную и положительную взаимосвязь между содержанием фенольных и терпеновых соединений и антиоксидантным потенциалом некоторых видов растений, а также фруктов и овощей. Антиоксидантная

активность терпеновых и фенольных соединений объясняется способностью поглощать свободные радикалы, отдавать атомы водорода, электроны или хелатные катионы металлов [11].

**Заключение.** Благодаря фитохимическому составу, *Nigella sativa* является совокупным природным антиоксидантом, богатым полифенолами, терпеновыми соединениями, дубильными веществами, витаминами и минералами. Полученные в ходе эксперимента данные показали положительное влияние перорального применения МЧТ в условиях спровоцированного гиперкоагуляционного стресса. Данные научной литературы показывают, что как при активации гемостаза усиливаются процессы ПОЛ, так и активация ПОЛ может привести к ускорению тромбиногенеза. Указанные процессы являются взаимопотенцирующими по типу «тромбинемия → активация липопероксидации → активация тромбинемии → ...» или «активация липопероксидации → активация тромбинемии → активация липопероксидации → ...» [9]. Учитывая тесную взаимосвязь ПОЛ и гемостаза, мы считаем перспективным изучение возможностей использования МЧТ или его компонентов как средств неспецифической профилактики в условия активации тромбиногенеза.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Christoph, R. Platelet morphology / R. Christoph // Journal of Laboratory Medicine. – 2020. – Vol. 44. – Issue 5. – pp. 231-239. DOI: doi.org/10.1515/labmed-2020-0007.
2. Шиффман Фред Дж. Патофизиология крови / Дж. Фред Шиффман. – М.: Бином, 2020. – 432 с.
3. Макаров, М. С. Особенности морфофункционального статуса тромбоцитов человека в норме и патологии: дисс. ... канд. биол. наук / Максим Сергеевич Макаров. – Москва, 2014. – 127 с.
4. Коррекция функционального состояния тромбоцитов при эндотоксикозе / Власов А. П., Анашкин С. Г., Шевалаев Г. А. [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 3-1. – С. 37-40.
5. Violi, F. Platelet NOX, a novel target for anti-thrombotic treatment / F. Violi, P. Pignatelli, // Thromb. Haemost. – 2014. – № 111. – pp. 817-823.
6. Fuentes, E. Regulation of mitochondrial function as a promising target in platelet activation-related diseases / E. Fuentes, R. Araya-Maturana, F. A. Urra // Free Radic. Biol. Med. – 2019. – № 136. – pp. 172-182.
7. ROS in Platelet Biology: Functional Aspects and Methodological Insights / Masselli E., Pozzi G., Vaccarezza M. [et al] // Int J Mol Sci. – Jul 9, 2020. – № 21(14). – P. 4866. DOI: 10.3390/ijms21144866. PMID: 32660144; PMCID: PMC7402354.
8. Шитикова, А. С. Тромбоцитарный гемостаз / А. С. Шитикова. – СПб.: Изд-во СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, 2000. – 222 с.

9. Влияние масла черного тмина на различные звенья гемостаза крыс в условиях экзогенной тромбинемии / Алхасова Х. М., Зиновьева А. В., Никулина Е. Г. [и др.] // Журн. мед.-биол. исследований. – 2022. – Т. 10. – № 3. – С. 263-273. DOI: 10.37482/2687-1491-Z113.

10. Nutritional Composition and Volatile Compounds of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Seed, Fatty Acid Composition and Tocopherols, Polyphenols, and Antioxidant Activity of Its Essential Oil / Albakry Z., Karrar E., Ahmed I. A. M. [et al] // Horticulturae. – 2022. – № 8. – P. 575. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070575>

11. Phenolic Compounds: Functional Properties, Impact of Processing and Bioavailability / Minatel I. O., Borges C. V., Ferreira M. I. [et al] // Phenolic Compounds – Biological Activity. – London, United Kingdom, 2017. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/53128> (дата обращения: 13.05.2023).

## REFERENCES

1. Christoph R. Platelet morphology. *Journal of Laboratory Medicine*, 2020, vol. 44, issue 5, pp. 231-239. DOI: [doi.org/10.1515/labmed-2020-0007](https://doi.org/10.1515/labmed-2020-0007).
2. Shiffman Fred J. Hematologic Pathophysiology. Translation from English. Moscow: Binom, 2020. 432 p. (in Russ.)
3. Makarov M.S. Features of the morphofunctional status of human platelets in normal state and pathology: an author's dissertation. Moscow, 2014. 127 p. (in Russ.)
4. Vlasov A.P., Anaskin S.G., Shevalaev G.A., Zelentsov P.V., Suvorova L.A., Satybalidin O.A. Correction of thrombocytes functional conditions at endogenous intoxication. *Fundamental research*, 2013. № 3-1. pp. 37-40. (in Russ.)
5. Violi F., Pignatelli P. Platelet NOX is a new target for antithrombotic treatment. A blood clot.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Ханна Майисовна Алхасова** – биолог Центра лабораторной диагностики, АУ ХМАО-Югры «Центр Профессиональной Патологии»; аспирант, БУ ВО ХМАО-Югры «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия» Ханты-Мансийск, e-mail: [gulerkhalum@mail.ru](mailto:gulerkhalum@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6108-6846>.

**Владимир Георгиевич Соловьев** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской и биологической химии, БУ ВО ХМАО-Югры «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия», Ханты-Мансийск, e-mail: [vg\\_solovev@mail.ru](mailto:vg_solovev@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4870-2282>.

**Ольга Владимировна Черничук** – заведующая Центром лабораторной диагностики, АУ ХМАО-Югры «Центр Профессиональной Патологии», Ханты-Мансийск, e-mail: [chernichukov@срphmao.ru](mailto:chernichukov@срphmao.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5660-1230>.

*Hemostasis*, 2014, no. 111, pp. 817-823. (in Russ.)

6. Fuentes E., Araya-Maturana R., Urrea F.A. Regulation of mitochondrial function as a promising target in diseases associated with platelet activation. *Free Radic. Biol. Med*, 2019, no. 136, pp. 172-182.

7. Masselli E., Pozzi G., Vaccarezza M., Mirandola P., Galli D., Vitale M., Karubbi S., Gobbi G. AFC in platelet biology: functional aspects and methodological ideas. *Int J Mol Sci*, July 9, 2020, no. 21(14), p. 4866. DOI: 10.3390/ijms21144866. PMID: 32660144, PMCID: PMC7402354.

8. Shitikova A.S. Platelet hemostasis. St. Petersburg: Publishing House of Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, 2000. 222 p. (in Russ.)

9. Alkhasova H.M., Zinov'eva A.V., Nikulina E.G., Kalashnikova S.P., Gagaro M.A., Solov'ev V.G. Effect of black cumin oil on various components of haemostasis in rats with exogenous thrombinemia. *Journal of Medical and Biological Research*, 2022, vol. 10, no. 3, pp. 263-273. DOI: 10.37482/2687-1491-Z113. (in Russ.)

10. Albakri Z., Karrar E., Ahmed I.A.M., Oz E., Proestos S., El Sheikha A.F., Oz F., Wu G., Wang, H. Nutritional composition and volatile compounds of black cumin seeds (*Nigella sativa* L.), composition of fatty acids and Tocopherols, polyphenols and antioxidant activity of its essential oil. *Gardening*, 2022, no. 8, p. 575. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070575>.

11. Minatel I.O., Borges S.V., Ferreira M.I., Gomez H.A.G., Lima K.O.S., Lima P.P. "Phenolic compounds: functional properties, treatment effect and bioavailability", in the section "Phenolic compounds - biological activity". London, UK, 2017. Available at: <https://www.intechopen.com/chapters/53128> (accessed 13.05.2023)

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Hanna Mayisovna Alkhasova** – Biologist of the Laboratory Diagnostics Center, Occupational Pathology Center; Post-Graduate Student, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, e-mail: gulerkhalum@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6108-6846>.

**Vladimir Georgievich Solov'yov** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Medical and Biological Chemistry, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, e-mail: vg\_solovev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4870-2282>.

**Ol'ga Vladimirovna Chernichuk** – Head of the Laboratory Diagnostics Center, Occupational Pathology Center, Khanty-Mansiysk, e-mail: chernichukov@cphmao.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5660-1230>.

**Для цитирования:** Влияние масла черного тмина на морфофункциональную характеристику тромбоцитов при экзогенной тромбинемии / Х. М. Алхасова, В. Г. Соловьев, О. В. Черничук // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_1

**For citation:** Alkhasova H.M., Solov'yov V.G., Chernichuk O.V. Effect of black cumini oil on the morphofunctional characteristics of platelets in exogenous thrombinemia. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_1

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_2  
УДК 612.5

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_2  
UDC 612.5

## **ФАРМАКОКИНЕТИКА И ФАРМАКОДИНАМИКА КЛОНИДИНА ПРИ ЕГО ДЕЙСТВИИ НА АЛЬФА-2-АДРЕНОРЕЦЕПТОРЫ АРТЕРИЙ КОНЕЧНОСТИ КРОЛИКА НА 10 ДЕНЬ ХОЛОДОВОЙ АДАПТАЦИИ**

**В.Н. Ананьев<sup>1</sup>, Н.Я. Прокопьев<sup>2</sup>, Г.В. Ананьев<sup>3</sup>, Е.С. Гуртовой<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Институт медико-биологических проблем РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

<sup>3</sup>АО «ФАРМСТАНДАРТ» Московская область, г. Долгопрудный, Россия

<sup>4</sup>Тюменский государственный медицинский университет, г. Тюмень, Россия

**Аннотация.** В статье приведены результаты изменения альфа-2-адренорецепторов артерий конечности кролика на клонидин после 10-дневной холодной адаптации. Такие сроки холодной адаптации часто отмечаются при проведении отпуска на лыжных курортах, при лыжных походах, при вахтово-экспедиционном труде, при смене погоды, при переезде в более холодные регионы. Установлено, что после 10-дневной холодной адаптации усиливается сосудосуживающее действие клонидина, как селективного  $\alpha_2$ -адреномиметика. Физиологический анализ этого результата в двойных обратных координатах Лайнувера-Берка показал, что после холодной адаптации увеличилось на 43% количество активных (Pm) прессорных постсинаптических  $\alpha_2$ -адренорецепторов артерий конечности. Также увеличилась чувствительность на 67%  $\alpha_2$ -адренорецепторов артерий после 10 дней холодной адаптации. Поэтому увеличение количества активных  $\alpha_2$ -адренорецепторов артерий и их чувствительности после холодной адаптации приводит к увеличению прессорной реакции артериальных сосудов к  $\alpha_2$ -адреномиметикам.

**Ключевые слова:** адаптация к холоду,  $\alpha_2$ -адренорецепторы, артерии, клонидин, кролики.

## **PHARMACOKINETICS AND PHARMACODYNAMICS OF CLONIDINE IN ITS EFFECT ON ALPHA-2-ADRENORECEPTORS OF RABBIT LIMB ARTERIES ON DAY 10 OF COLD ADAPTATION**

**V.N. Anan'ev<sup>1</sup>, N.Ya. Prokop'ev<sup>2</sup>, G.V. Anan'ev<sup>3</sup>, E.S. Gurtovoj<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Tyumen State University, Tyumen, Russia

<sup>3</sup>“PHARMSTANDART” JSC, Moscow region, Dolgoprudnyj, Russia

<sup>4</sup>Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

**Annotation.** The article presents the results of changes in alpha-2-adrenergic receptors of rabbit limb arteries to clonidine after 10 days of cold adaptation. Such periods of cold adaptation are often observed when spending holidays at ski resorts, during ski trips, during rotational expeditionary work, when the weather changes, when moving to colder regions. It has been established that after 10 days of cold adaptation, the vasoconstrictive effect of clonidine as a selective  $\alpha_2$ -adrenergic agonist is enhanced. Physiological analysis of this result in Linuver-Burke double inverse coordinates demonstrated that after cold adaptation, the number of active (Pm) pressor postsynaptic  $\alpha_2$ -adrenergic receptors of limb arteries increased by 43%. The sensitivity of  $\alpha_2$ -adrenergic receptors of arteries also increased by 67% after 10 days of cold adaptation. Therefore, an increase in the number of active  $\alpha_2$ -adrenergic receptors in the arteries and their sensitivity after cold adaptation leads to an increase in the pressor response of arterial vessels to  $\alpha_2$ -agonists.

**Keywords:** cold adaptation,  $\alpha_2$ -adrenergic receptors, arteries, clonidine, rabbits.

**Введение.** Адаптация организма к низким температурам окружающей среды является актуальной проблемой физиологии, особенно для России, где значительные территории находятся в зоне действия низких температур [1]. Действие холода на организм [2] приводит к адапционным изменениям в деятельности сердечно-сосудистой системы, так как величина кровотока поверхности тела определяет прогрев тканей и сроки возникновения отморожений. В то же время увеличение прогрева поверхности тела ведет к усилению теплоотдачи и быстрому охлаждению организма. Поэтому в процессе эволюции выработались физиологические механизмы наиболее оптимального изменения при регуляции кровотока в артериальном русле «оболочки тела», к которой относится кожно-мышечная область задней конечности [3]. При действии холода возрастает тонус симпатической нервной системы, возрастает в крови концентрация ее нейромедиаторов норадреналина и адреналина, которые оба усиливают сокращение артериальных сосудов и уменьшают кровоток. Нейромедиатор норадреналин в большей степени возбуждает  $\alpha_1$ -адренорецепторы, а адреналин возбуждает  $\alpha_2$ -адренорецепторы и  $\alpha_1$ -адренорецепторы [4]. В артериях кожно-мышечной области конечности имеются как  $\alpha_1$ -адренорецепторы, так и  $\alpha_2$ -адренорецепторы, которые сокращают артерии. Организм, видимо, изменяя концентрации норадреналина и адреналина, комбинации их сочетания, регулирует тонус артерий и кровотоков в артериях оболочки (кожно-мышечная область) и ядра тела (внутренние органы). Изучение реактивности  $\alpha_1$ -адренорецепторов и  $\alpha_2$ -адренорецепторов артерий кожно-мышечной области при адаптации к низким температурам могло бы обогатить наши научные модели действия холода на организм. Это позволило бы дать научные рекомендации при адаптации к холоду и разработать профилактические меры повреждений при действии низких температур. Изучение

изменения рецепторных механизмов адаптации к холоду очень важно для практической медицины, так как в лечении сердечно-сосудистых заболеваний широко используются лекарства, действующие на  $\alpha_1$ -адренорецепторы и  $\alpha_2$ -адренорецепторы [4]. Так как адреналин возбуждает  $\alpha_1$ -АР и  $\alpha_2$ -АР, для изучения  $\alpha_2$ -АР широко используется селективный миметик  $\alpha_2$ -АР клонидин, что позволяет однозначно анализировать результаты опытов как работу  $\alpha_2$ -АР [4].

Различные сроки холодовой адаптации в значительной степени изменяют реактивность сердечно-сосудистой системы к действию симпатической нервной системы и ее нейромедиаторов норадреналина и адреналина. Играет роль и холодовый режим адаптации организма, при каких температурах проходил процесс адаптации [3-4].

При изучении адаптации к холоду новосибирские ученые [2] ввели термин «незавершенная адаптация», когда процесс адаптации проходил в течение примерно 10 дней. При незавершенной холодовой адаптации у людей наблюдались изменения на кардиограмме, электроэнцефалограмме, отмечались боли в сердце, нарушался сон, возрастал нейротизм и т.д. К 30 дню адаптации к холоду новосибирские ученые [2] отметили нормализацию всех параметров организма, пропали жалобы людей. Все это позволило им сделать вывод о том, что 30 дней вполне достаточно для полной адаптации людей к холоду.

Адаптация к холоду в течение 10 дней возникает после нахождения при низких температурах не менее 15% времени в сутки [3]. Если в течение 10 дней холода был перерыв в виде нескольких дней нахождения в тепле, то адаптация не наступит, требуется постоянное нахождение при холоде 10 дней. Такие кратковременные сроки холодовой адаптации часто бывают при проведении отпуска на лыжных курортах, при лыжных походах, при вахтово-экспедиционном труде, при смене погоды.

Поэтому мы считаем, что с точки зрения наиболее напряженных процессов адаптации к холоду 10-дневная адаптация требует тщательного научного изучения.

Значение  $\alpha_2$ -адренорецепторов для организма показано в работе [5], где рассмотрены  $\alpha_2$ -адренорецепторы ( $\alpha_2$ -AR), подразделяемые на подтипы  $\alpha_2A$ ,  $\alpha_2B$  и  $\alpha_2C$  и экспрессируемые в сердце, кровеносных сосудах, почках, тромбоцитах и головном мозге. Рецепторы  $\alpha_2$ -AR важны для регуляции артериального давления, обезболивания и агрегации тромбоцитов.

В другой работе отмечено [6], что  $\alpha_2$ -антагонист йохимбин, получаемый из африканского дерева, уже более столетия используется в клинической практике в качестве афродизиака.

Исследования  $\alpha_2$ -AR доказали [7], что  $\alpha_2$ -AR человека имеют большее сходство с таковыми у свиньи, собаки и кролика, но меньшее сходство, чем у крысы, мыши и морской свинки [8], что добавляет дополнительную осторожность при экстраполяции результатов исследований на клиническую значимость действия лекарств для человека.

В работах [9-10] было показано, что активация периферических альфа-( $2C$ )-адренорецепторов вызывает вазоконстрикцию.

Были проведены исследования влияния низких температур на организм, результаты которых показали, что острый холод рассматривается как фактор сердечно-сосудистого риска [11], и есть тесная корреляция между острым воздействием холода и зимней смертностью, вызванной сердечными заболеваниями. Напротив, хорошо известно, что адекватный режим холодной акклиматизации оказывает благотворное влияние [11], такое как улучшение иммунного ответа, терморегуляции и сосудистой реактивности, а также увеличение аэробного метаболизма.

Исследование холодового стресса всего тела показало рефлекторное увеличение эфферентной активности симпатических нервов кожи, что вызвало кожную

вазоконстрикцию и последующее снижение кровотока кожи для минимизации потери тепла [12].

Анализ литературных источников показал, что физиологическая функция  $\alpha_2$ -адренорецепторов в организме многогранна, рецепторы принимают активную роль в регуляции кровотока при холодовой адаптации, но нет количественной оценки работы  $\alpha_2$ -AR артерий при холодовой адаптации. Поэтому целью нашей работы было изучение фармакокинетических и фармакодинамических параметров селективного миметика  $\alpha_2$ -адренорецепторов клонидина на 10 день холодовой адаптации, что позволило определить количество активных  $\alpha_2$ -AR и их чувствительность после действия холода.

#### **Методы и организация исследования.**

Для проведения работы были использованы кролики двух групп. Первая группа – контрольная (25 кроликов). Вторая группа кроликов (22 кролика) адаптировались к холоду в течение 10 дней по 6 часов ежедневно при температуре минус шесть градусов Цельсия. Такой режим адаптации моделировал среднее время пребывания человека на холоде ежедневно при вахтово-экспедиционном труде [2], при спортивных мероприятиях, и обеспечивал холодовую адаптацию, так как превышал 15% суточного пребывания на холоде [3]. В остальное время кролики обеих групп находились при комнатной температуре при стандартном режиме питания и содержания. Острые опыты проводились одинаково в обеих группах на самцах кроликов (весом 3-4 кг) под гексеналовым наркозом (внутривенно 30 мг/кг) с применением гепарина (1000 ед/кг). Основу исследования составила регистрация артериального тонуса сосудов задней конечности при введении 8 доз альфа-2-адреномиметика клонидина [4]. Для этого хирургически выделялся доступ к бедренной артерии, перевязывались все анастомозы, перерезалась бедренная артерия, и в ее дистальный и проксимальный концы вставлялись канюли. Между

канюлями подключался перфузионный насос желудочкового типа, который дозированно (вместо сердца) качал кровь в бедренную артерию. Через тройник подключался датчик давления, давление насосом устанавливалось на 110 мм рт. ст. Клонидин в 8 дозах вводился в кровоток на выходе насоса, попадал в артериальное русло бедренной артерии, стимулировал постсинаптические  $\alpha_2$ -АР артерий, что приводило к сокращению артерий и повышению давления в артериях конечности. Датчик давления через аналогово-цифровой преобразователь записывал изменения давления в компьютер. Различные 8 доз клонидина характеризовали его фармакокинетические параметры (фармакокинетика – что происходит с лекарством, его различные дозы) [4]. Изменения тонуса артерий по датчику давления на разные дозы клонидина показывали фармакодинамические свойства клонидина (фармакодинамика – что делает лекарство в организме) [4, 16].

Для выявления механизмов изменения  $\alpha_2$ -АР адренореактивности артерий региона бедренной артерии к клонидину при 10-дневной холодовой адаптации был проведен анализ результатов опытов в двойных обратных координатах Лайнувера-Берка [13-15]. Это позволило определить количество активных  $\alpha_2$ -АР артерий, которые взаимодействуют с клонидином. Этот же метод позволил определить чувствительность  $\alpha_2$ -АР артерий к клонидину до и после 10-дневной холодовой адаптации [4, 16].

Количество активных  $\alpha_2$ -АР артерий ( $1/P_m$ ) численно равно (пропорционально) максимальному увеличению давления в русле бедренной артерии при введении максимально большой дозы клонидина [4, 16]. Этот метод оценки базируется на том, что если клонидин возбудил уже при данной дозе 100%  $\alpha_2$ -АР, то увеличение дозы не приводит к увеличению тонуса артерий и перфузионному давлению. На графике величина повышения давления ( $P_m$ ) дана в обратной величине ( $1/P_m$ ), прямая величина давления на графике возрастает к центру

координат. На графике при пересечении с осью ординат мы находим предел величины максимального возможного прессорного давления в артериях, что и равно количеству активных рецепторов, при теоретически бесконечно большой дозе клонидина [17].

Чувствительность  $\alpha_2$ -адренорецепторов к клонидину ( $1/K$ ) показывает, какая доза клонидина ( $K$ ) вызывает 50% от максимально возможной прессорной реакции артериальных сосудов региона бедренной артерии при постоянном расходе перфузионного насоса. Чувствительность к клонидину ( $1/K$ ) можно найти и простым методом: нужно увеличивать дозу клонидина, и когда прессорная реакция ( $P_m$ ) не будет увеличиваться, доза клонидина при 50% максимального эффекта и будет чувствительностью ( $1/K$ ) [16].

Математическую обработку экспериментальных результатов проводили с помощью программы SigmaPlot-5. Достоверность разницы между контролем и опытом оценивали по t-критерию Стьюдента, достоверно при  $*p < 0,05$ .

Проведение опытов в контрольной группе кроликов и на фоне 10-дневной холодовой адаптации позволило определить фармакокинетические и фармакодинамические свойства клонидина и в результате описать изменения в физиологической активности  $\alpha_2$ -адренорецепторов в артериях кожно-мышечной области кролика [4, 17].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Проведенное исследование показало, что в контрольной группе кроликов и животных после 10 дней холодовой адаптации (10-ДХА) все дозы клонидина вызывали повышение тонуса артерий перфузируемой насосом задней конечности (рис. 1). На все дозы клонидина от 2 мкг/кг до 50 мкг/кг прессорная реакция артерий была достоверно ( $p < 0,05$ ) больше у кроликов после 10 дней холодовой адаптации (рис.1). Так как клонидин является селективным миметиком  $\alpha_2$ -адренорецепторов артерий, можно сделать заключение, что после 10 дней холодовой адаптации происходит



физиологическая активация  $\alpha_2$ -адренорецепторов артериальных сосудов оболочки тела кролика.

После введения клонидина в дозе 2,0 мкг/кг перфузионное давление в контрольной группе увеличилось до 15 мм рт. ст., а на фоне 10 дней холода – на 34 мм рт. ст. ( $p < 0,05$ ), что было на 19 мм рт. ст. больше. Дальнейшее увеличение дозы клонидина вызывало большую прессорную реакцию артерий у кроликов на фоне 10-ДХА. Так, на самую большую дозу клонидина 50 мкг/кг в контроле перфузионное давление в артериальном русле задней конечности увеличилось до 162 мм рт. ст., а на фоне холода – до 274 мм рт. ст. ( $p < 0,05$ ) (рис. 1).

Повышение реактивности артерий на клонидин после 10-ДХА показывают, что физиологические механизмы адаптации к холоду на 10 день значительно увеличивают функциональную активность  $\alpha_2$ -адренорецепторов артерий задней конечности. Такие изменения могут способствовать сохранению тепла в теле, так как нейромедиатор симпатической системы адреналин, который в большей степени секретируется в кровь из надпочечников, стимулирует как  $\alpha_1$ -адренорецепторы, так и  $\alpha_2$ -

адренорецепторы артерий. При воздействии холода возникает холодный стресс, увеличивается концентрация в крови адреналина, который, возбуждая  $\alpha_2$ -адренорецепторы артерий, вызывает гораздо большее их сокращение по сравнению с контролем. В результате уменьшается отдача тепла телом, увеличивается время выживания на холоде по сравнению с контролем. Однако при сильном холоде уменьшение прогрева (за счет сокращения артерий адреналином) может вызвать отморожения. Поэтому 10 дней холодной адаптации рядом авторов называется незавершенной адаптацией [14], при которой у людей отмечается бессонница, боли в области сердца. Знание этих физиологических рецепторных параметров адаптации может применяться для профилактики нарушений работы сердечно-сосудистой системы. Здесь следует отметить, что многие люди с сердечно-сосудистыми заболеваниями применяют лекарственные средства, действующие на адренорецепторы артерий, но действие низких температур и периодов холодной адаптации при этом учитывается мало, так как эти проблемы изучены еще недостаточно.

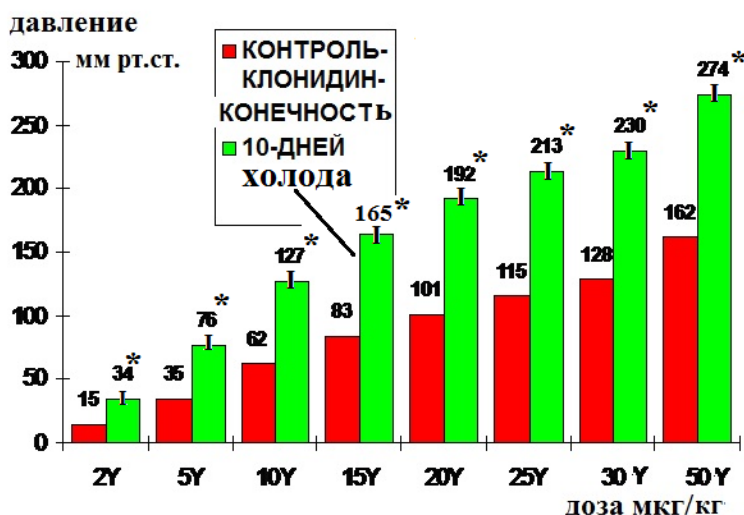


Рис.1. Повышение перфузионного давления артериального русла задней конечности на клонидин в контрольной группе и после 10 дней холодной адаптации

Примечание: по оси абсцисс – дозы препарата в мкг/кг (Y); по оси ординат – изменение перфузионного давления в мм рт. ст.; достоверные различия опытной к контрольной группе (\* $p < 0,05$ )

Дальнейший анализ лиганд-рецепторных взаимодействий клонидина с  $\alpha_2$ -АР до и на фоне 10 дней холодовой адаптации мы провели в двойных обратных координатах Лайнувера-Берка (рис. 2), что дало возможность определить количество активных  $\alpha_2$ -АР ( $P_m$ ) в артериях и проанализировать изменение чувствительности рецепторов ( $1/K$ ).

В работе показано, что холодовая адаптация привела к увеличению

количества  $\alpha_2$ -АР в артериях в 1,4 раза с  $P_m=270$  мм рт. ст. в контроле – до  $P_m=385$  мм рт. ст. после 10 дней холода (рис. 2). Также выявлено, что изменение количества рецепторов достигается таким природным фактором, как холод. Этот результат может быть перспективным при профилактике ряда заболеваний, так как показывает, что можно изменить количество активных  $\alpha_2$ -АР в артериях холодом.

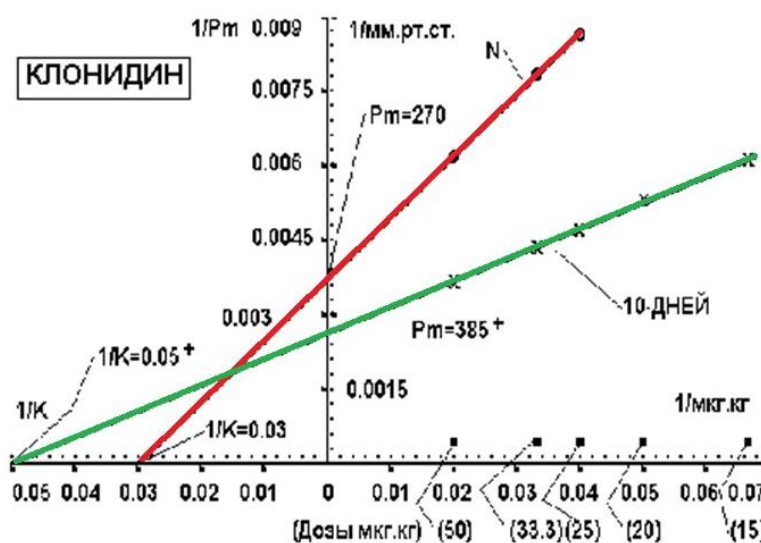


Рис. 2. Количество активных рецепторов ( $P_m$ ) и чувствительность ( $1/K$ )  $\alpha_2$ -адренорецепторов артерий к клонидину в двойных обратных координатах Лайнувера-Берка после 10 дней холода

Примечание: по оси ординат – обратная величина перфузионного давления ( $1/P_m$ ); по оси абсцисс – обратная величина дозы ( $1/D$ )

Анализ данных опытов в двойных обратных координатах Лайнувера-Берка [6, 17] позволил определить чувствительность ( $1/K$ ) взаимодействия клонидина с  $\alpha_2$ -АР в артериях (рис. 2). Результаты показывают, что после 10 дней холодовой адаптации чувствительность  $\alpha_2$ -АР в артериях увеличилась в 1,66 раз с  $1/K=0,03$  в контроле до  $1/K=0,05$  после действия холода. Величина чувствительности рецепторов численно равна дозе клонидина, вызывающей 50% от максимально возможной прессорной реакции ( $P_m$ ). В контроле  $1/K=0,03$ , отсюда обратная величина  $K=33$  мкг/кг, а при холоде  $K=20$  мкг/кг. Доза клонидина, вызывающая 50% от максимума, на фоне холода

$K=20$  мкг/кг, а в контроле  $K=33$  мкг/кг, что и говорит о меньшей чувствительности.

**Заключение.** После 10 дней холодовой адаптации количество активных ( $P_m$ )  $\alpha_2$ -адренорецепторов артерий конечности увеличилось на 43%. Также увеличилась чувствительность ( $1/K$ ) на 67%  $\alpha_2$ -адренорецепторов артерий после 10 дней холодовой адаптации. В связи с этим увеличение количества активных  $\alpha_2$ -адренорецепторов артерий и их чувствительности после холодовой адаптации приводит к увеличению прессорной реакции артериальных сосудов к  $\alpha_2$ -адреномиметикам.

Так как адреналин является  $\alpha_2$ -адреномиметиком, он увеличивает свою

концентрацию при различных стрессах, поэтому после 10 дней холодовой адаптации любые стрессы вызовут значительное повышение артериального давления за счет активации адреналином  $\alpha_2$ -АР. Такие

механизмы предполагаемой гипертонии, полученные в результате фундаментальных исследований рецепторов, могут быть основой для дальнейшего исследования причин и профилактики гипертонии у людей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян, Н. А. Человек в условиях Севера / Н. А. Агаджанян, П. Г. Петрова. – М.: КРУК, 1996. – 208 с.
2. Кривошеков, С. Г. Производственные миграции и здоровье человека на Севере / С. Г. Кривошеков, С. В. Охотников. – Новосибирск, 2000. – 118 с.
3. Руководство по физиологии. Физиология адаптационных процессов. – М.: Наука, 1986. – 635 с.
4. Сергеев П. В. Рецепторы физиологически активных веществ / П. В. Сергеев, Н. Л. Шимановский, В. И. Петров. – Волгоград: Из-во «Семь ветров», 1999. – 640 с.
5. Proudman, R. G. W. The affinity and selectivity of  $\alpha$ -adrenoceptor antagonists, antidepressants and antipsychotics for the human  $\alpha_2A$ ,  $\alpha_2B$ , and  $\alpha_2C$ -adrenoceptors and comparison with human  $\alpha_1$  and  $\beta$ -adrenoceptors / R. G. W. Proudman, J. Akinaga, J. G. Baker // *Pharmacol Res Perspect.* – Apr 2022. – № 10(2). – Art. № e00936. DOI: 10.1002/prp2.936. PMID: 35224877
6. Morales, A. Yohimbine in erectile dysfunction: would an orphan drug ever be properly assessed? / A. Morales // *World J Urol.* – 2001. – № 19(4). – pp. 251-255. DOI: 10.1007/s003450000182
7. Clarke, R. W. RX 821002 as a tool for physiological investigation of alpha(2)-adrenoceptors / R. W. Clarke, J. Harris // *CNS Drug Rev.* – 2002. – № 8(2). – pp. 177-192. DOI: 10.1111/j.1527-3458.2002.tb00222.x.
8. Uhlén, S. [3H]RS79948-197 binding to human, rat, guinea pig and pig alpha2A-, alpha2B- and alpha2C-adrenoceptors. Comparison with MK912, RX821002, rauwolscine and yohimbine / S. Uhlén, M. Dambrova, J. Näsman // *Eur J Pharmacol.* – 1998. – № 343(1). – pp. 93-101. DOI: 10.1016/S0014-2999(97)01521-5.
9. Civantos Calzada, B. Alpha-adrenoceptor subtypes / B. Civantos Calzada, A. Aleixandre de Artiñano // *Pharmacol Res.* – Sep 2001. – № 44(3). – pp. 195-208. DOI: 10.1006/phrs.2001.0857.
10. Kanagy, N. L. Alpha(2)-adrenergic receptor signalling in hypertension / N. L. Kanagy // *Clin Sci*

(Lond). – Nov 2005. – № 109(5). – pp. 431-437. DOI: 10.1042/CS20050101.

11. Gradual cold acclimation induces cardioprotection without affecting  $\beta$ -adrenergic receptor-mediated adenylyl cyclase signaling / Tibenska V., Benesova A., Vebr P. [et al] // *J Appl Physiol.* – Apr 1, 2020. – № 128(4). – pp. 1023-1032. DOI: 10.1152/jappphysiol.00511.2019.

12. Greaney, J. L. Neurovascular mechanisms underlying augmented cold-induced reflex cutaneous vasoconstriction in human hypertension / J. L. Greaney, W. L. Kenney, L. M. Alexander // *J Physiol.* – Mar 1, 2017. – № 595(5). – pp. 1687-1698. DOI: 10.1113/JP273487

13. Lineweaver, H. The Determination of Enzyme Dissociation Constants / H. Lineweaver, D. Burk // *J Am Chem Soc.* – 1934. – № 56. – pp. 658-666. DOI: 10.1021/ja01318a036

14. The Kinetics of Enzyme Mixtures / S. Brown, N. Muhamad, C. K. Pedley, C. D. Simcock // *Mol Biol Res Commun.* – Mar 2014. – № 3(1). – pp. 21-32. PMID: 27843974

15. Best Practices for the Collection of Robust Time Course Reaction Profiles for Kinetic Studies / Deem M. C., Cai I., Derasp J. S. [et al] // *ACS-Catalysis.* – 2023. – № 13(2). – pp. 1418-1430. DOI: <https://doi.org/10.1021/acscatal.2c05045>

16. Манухин, Б. Н. Анализ лиганд-рецепторных взаимодействий на уровне от молекулярного до организменного / Б. Н. Манухин // *Российский физиол. журн. им. И.М. Сеченова.* – 2000. – Т. 86. – № 9. – С. 1220-1232.

17. Варфоломеев, С. Д. Биокинетика. Практический курс / С. Д. Варфоломеев, К. Г. Гуревич. – М.: Фаир-Пресс, 1999. – 720 с.

#### REFERENCES

1. Agadzhanian N.A., Petrova P.G. Man in conditions of the North. Moscow: KRUK, 1996. 208 p. (in Russ.)
2. Krivoshchekov S.G., Okhotnikov S.V. Industrial migration and human health in the North. Novosibirsk, 2000. 118 p. (in Russ.)
3. Physiology guidelines. Physiology of adaptive processes. Moscow: Nauka, 1986. 635 p. (in Russ.)

4. Sergeev P.V., Shimanovskij N.L., Petrov V.I. Receptors of physiologically active substances. Volgograd: Publishing house "Sem' vetrov", 1999. 640 p. (in Russ.)
5. Proudman R.G.W., Akinaga J., Baker J.G. The affinity and selectivity of  $\alpha$ -adrenoceptor antagonists, antidepressants and antipsychotics for the human  $\alpha$ 2A,  $\alpha$ 2B, and  $\alpha$ 2C-adrenoceptors and comparison with human  $\alpha$ 1 and  $\beta$ -adrenoceptors. *Pharmacol Res Perspect*, Apr 2022, no. 10(2), art. no. e00936. DOI: 10.1002/prp2.936. PMID: 35224877.
6. Morales A. Yohimbine in erectile dysfunction: would an orphan drug ever be properly assessed? *World J Urol*, 2001, no. 19(4), pp. 251-255. DOI: 10.1007/s003450000182.
7. Clarke R.W., Harris J. RX 821002 as a tool for physiological investigation of alpha(2)-adrenoceptors. *CNS Drug Rev*, 2002, no. 8 (2), pp. 177-192. DOI: 10.1111/j.1527-3458.2002.tb00222.x.
8. Uhlén S., Dambrova M., Näsman J. [3H]RS79948-197 binding to human, rat, guinea pig and pig alpha2A-, alpha2B- and alpha2C adrenoceptors. Comparison with MK912, RX821002, rauwolscine and yohimbine. *Eur J Pharmacol*. 1998, no. 343(1), pp. 93-101. DOI: 10.1016/s0014-2999(97)01521-5.
9. Civantos Calzada B., Aleixandre de Artiñano A. Alpha-adrenoceptor subtypes. *Pharmacol Res*, Sep 2001, no. 44(3), pp. 195-208. DOI: 10.1006/phrs.2001.0857.
10. Kanagy N.L. Alpha(2)-adrenergic receptor signalling in hypertension. *Clin Sci (Lond)*, Nov 2005, no. 109(5), pp. 431-437. DOI: 10.1042/CS20050101.
11. Tibenska V., Benesova A., Vebr P., Liptakova A., Hejnová L., Elsnicová B., Dra-hota Z., Hornikova D., Galatik F., Kolar D., Vybiral S., Alánová P, Novotný J., Kolar F., Novakova O., Zurmanova J.M. Gradual cold acclimation induces cardioprotection without affecting  $\beta$ -adrenergic receptor-mediated adenylyl cyclase signaling. *J Appl Physiol*, Apr 1, 2020, no. 128(4), pp. 1023-1032. DOI: 10.1152/jappphysiol.00511.2019.
12. Greaney J.L., Kenney W.L., Alexander L.M. Neurovascular mechanisms underlying augmented cold-induced reflex cutaneous vasoconstriction in human hypertension. *J Physiol*, Mar 1, 2017, no. 595(5), pp. 1687-1698. DOI: 10.1113/JP273487
13. Lineweaver H., Burk D. The Determination of Enzyme Dissociation Constants. *J Am Chem Soc*, 1934, no. 56, pp. 658-666. DOI: 10.1021/ja01318a036.
14. Brown S., Muhamad N., Pedley C.K., Simcock C.D. The Kinetics of Enzyme Mixtures. *Mol Biol Res Commun*, Mar 2014, no. 3(1), pp. 21-32. PMID: 27843974.
15. M.C. Deem, I. Cai, J.S. Derasp, P.L. Prieto, Y. Sato, J. Liu, A.J. Kukor, J Hein J.E. Best Practices for the Collection of Robust Time Course Reaction Profiles for Kinetic Studies. *ACS-Catalysis*, 2023, no. 13(2), pp. 1418-1430. DOI: <https://doi.org/10.1021/acscatal.2c05045>
16. Manukhin B.N. Analysis of ligand-receptor interactions at the level from molecular to organismic. *Russian Journal of Physiology*, 2000, vol. 86. no. 9, pp. 1220-1232. (in Russ.)
17. Varfolomeev S.D., Gurevich K.G. Biokinetics. A practical course. Moscow: Fair-Press, 1999. 720 p. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Владимир Николаевич Ананьев** – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, e-mail: noradrenalin1952@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4679-6441.

**Николай Яковлевич Прокопьев** – доктор медицинских наук, профессор, Тюменский государственный университет, Тюмень. ORCID: 0000-0002-9525-0576

**Георгий Владимирович Ананьев** – врач, медицинский консультант АО «ФАРМСТАНДАРТ», Московская область, Долгопрудный. ORCID: 0000-0003-3199-7264

**Елисей Сергеевич Гуртовой** – студент, Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Vladimir Nikolaevich Anan'ev** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher, Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: noradrenalin1952@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4679-6441.

**Nikolaj Yakovlevich Prokop'ev** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Tyumen State University, Tyumen. ORCID: 0000-0002-9525-0576.

**Georgij Vladimirovich Anan'ev** – Physician, Medical Consultant, “PHARMSTANDARD” JSC, Moscow Oblast, Dolgoprudnyj. ORCID: 0000-0003-3199-7264.

**Elisej Sergeevich Gurtovoj** – Student, Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia.

**Для цитирования:** Фармакокинетика и фармакодинамика клонидина при его действии на альфа-2-адренорецепторы артерий конечности кролика на 10 день холодовой адаптации / В. Н. Ананьев, Н. Я. Прокопьев, Г. В. Ананьев, Е. С. Гуртовой // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_2

**For citation:** Anan'ev V.N., Prokop'ev N.Ya., Anan'ev G.V., Gurtovoj E.S. Pharmacokinetics and pharmacodynamics of clonidine in its effect on alpha-2-adrenoreceptors of rabbit limb arteries on day 10 of cold adaptation. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_2

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_3  
УДК 612.017.2+911.2

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_3  
UDC 612.017.2+911.2

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЭЛИТНЫХ СПОРТСМЕНОК-ПАРАШЮТИСТОК

А.В. Башкирева<sup>1</sup>, Д.М. Максимов<sup>2</sup>, С.М. Чибисов<sup>3</sup>, Т.В. Башкирева<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, г. Рязань, Россия

<sup>2</sup>Центральный Спортивный Клуб Армии Российской Федерации, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Медицинский институт Российского университета дружбы народов, г. Москва, Россия

<sup>4</sup>Академия права и управления ФСИН России, г. Рязань, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты изучения взаимосвязи и физиологического состояния у элитных спортсменов с учётом рекомендаций Европейской федерации спортивной медицины (EFSMA) по результатам вариабельности сердечного ритма. Математическая статистика позволяет рассматривать психологические показатели во взаимосвязи с физиологическим состоянием в различных вариациях. Изучено физиологическое состояние элитных спортсменок-парашютисток по показателям вариабельности сердечного ритма и самооценки в соревновательный период на Чемпионате России с международным участием в возрасте от 25 до 49 лет. Выявлено, что у спортсменок-парашютисток самооценка взаимосвязана с возрастными особенностями. Полученные данные позволяют рассматривать самооценку как маркер физиологического состояния, включая стрессоустойчивость элитных женщин-спортсменок. Новые медицинские технологии, рекомендованные EFSMA, можно использовать в психологическом анализе индивидуальной защиты здоровья элитных спортсменов (ИПМ).

**Ключевые слова:** самооценка, вариабельность сердечного ритма, физиологическое состояние, средства индивидуальной защиты, спорт высших достижений, элитные спортсмены.

## USING EFSMA RECOMMENDATIONS IN INTERDISCIPLINARY STUDIES OF ELITE PARACHUTE JUMPERS

A.V. Bashkireva<sup>1</sup>, D.M. Maksimov<sup>2</sup>, S.M. Chibisov<sup>3</sup>, T.V. Bashkireva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ryazan State University named after S.A. Yesenin, Ryazan, Russia

<sup>2</sup>Central Sports Club of the Army of the Russian Federation, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Medical institute, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Academy of Law and Administration of the Federal Penitentiary Service of the Russian Federation, Ryazan, Russia

**Annotation.** The article presents the results of studying the relationships and physiological state of elite athletes, considering the EFSMA (European Federation of Sports Medicine Associations) recommendations based on the results of heart rate variability measurements. Mathematical statistics allow us to consider psychological indicators in relation to the physiological state in different variations. It studied the physiological state of elite female parachute jumpers in terms of heart rate variability and self-esteem during the competitive period at the Russian Championship with international participation at the age of 25 to 49 years. It revealed that self-esteem is interconnected with age characteristics. The data obtained allow us to consider self-esteem as a marker of the physiological state, including the stress resistance of elite female athletes. New medical technologies recommended by the EFSMA can be applied in the psychological analysis of the individual health protection of elite athletes (IPM).

**Keywords:** self-esteem, heart rate variability, physiological state, individual protection measures, elite sports, elite athletes.

**Введение.** В спорте высших достижений, вне зависимости от возраста, пола, этноса, спортсмены как в тренировочный, так и соревновательный периоды оказываются под воздействием комплекса различных факторов, включая географические, экологические, социальные, психологические. Несмотря на многочисленные исследования в области адаптационных приспособительно-компенсаторных реакций организма спортсменов к различным условиям и нагрузкам, недостаточно изученными остаются взаимосвязи между психологическими характеристиками личности и физиологическим состоянием. Спортивный результат зависит от множества экзогенных и эндогенных факторов и ситуаций. Необходимость исследования физиологического

состояния спортсменов в любом виде спорта связана с превентивными стратегиями мониторинга состояния здоровья спортсменов, направленными на средства индивидуальной защиты (СИЗ). Задачами СИЗ являются донозологические исследования для своевременного выявления компонентов состояния здоровья спортсменов, физической работоспособности, предупреждения травматизма, профилактики тяжёлых осложнений при занятиях спортом [1-3]. Европейская федерация спортивной медицины (EFSMA) разработала стандарт для элитных спортсменов, включающий ЭКГ-скрининг с использованием стандартизованных цифровых средств индивидуальной защиты [4] (рис. 1.).

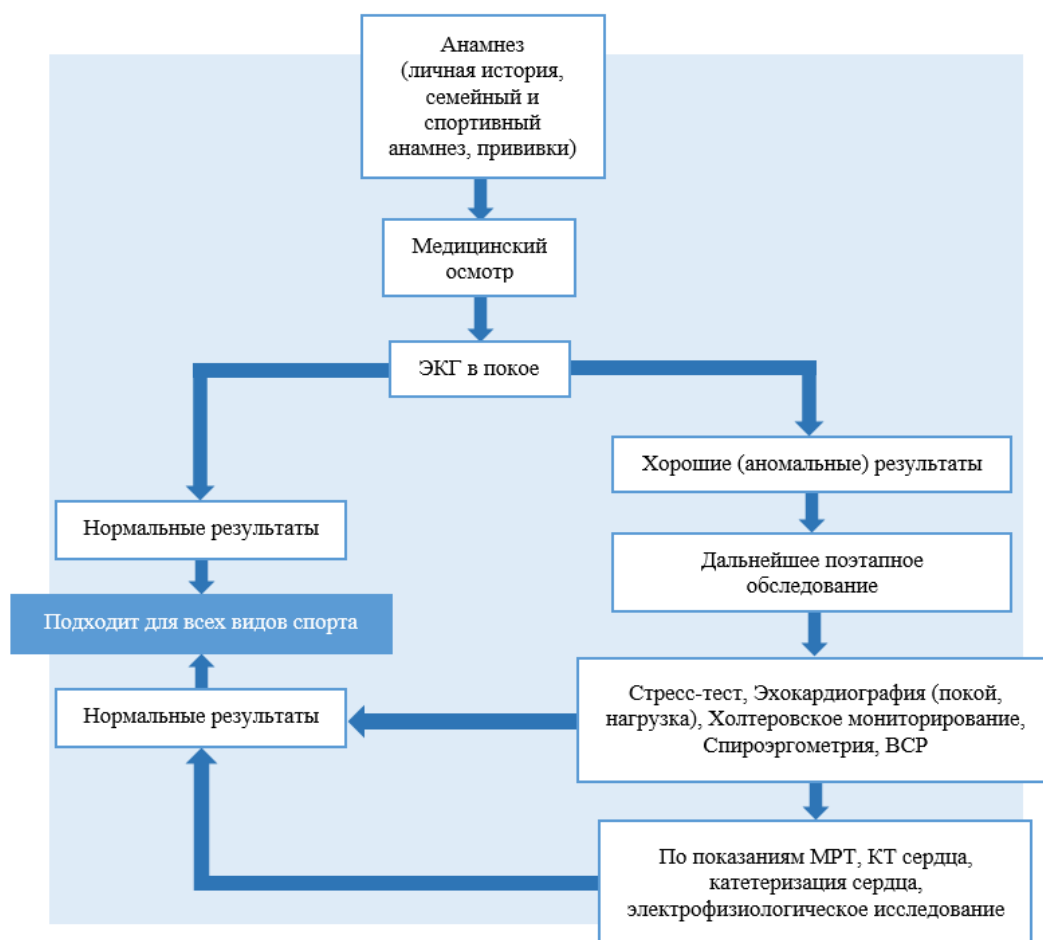


Рис. 1. Блок-схема предварительного обследования элитных спортсменов, рекомендованная Европейской федерацией спортивной медицины, по результатам вариабельности сердечного ритма [4]

По мнению исследователей, в интересах спортсменов, особенно в отношении тех, кто имеет высокий кардиологический риск, целесообразно использовать электрокардиографию (ЭКГ), направленную:

1) на поиск патологий сердечно-сосудистых заболеваний, которые могут вызвать риск внезапной смерти;

2) оценку физиологической адаптации сердечно-сосудистой системы к физическим тренировкам/упражнениям;

3) выявление патологических процессов [5].

Здоровье человека состоит из трёх основных слагающих: структурно-функциональной, физико-химической и психо-эмоционально-духовной. Взаимодействие, взаимообусловленность и гармония этих трёх факторов обеспечивает гомеостаз и стабилизацию адаптивных, регуляторных систем [6, С.15].

Несмотря на рекомендации целостного подхода к пониманию здоровья человека, на практике имеет место дефицит междисциплинарных исследований. «Всё это препятствует разработке и своевременному использованию эффективных корректирующих средств предотвращения патологических процессов» [6, С. 17].

Важной профилактической составляющей в анализе физиологического состояния является самооценка спортсмена. Именно самооценка позволяет достигать успешности в спортивном результате через анализ своего как физического состояния [7], так и физиологического. Специализированное тестирование самооценки требует описания протоколов и общей стандартизации анализа [8]. Нельзя недооценивать важность самооценки в физиологическом состоянии спортсменов в спорте высших достижений. Исследователями подчёркивается, что генезис, условия и механизмы являются основными направлениями формирования и развития самооценки [9-10]. Уделяется внимание изучению целостной процессуально-динамической картине самооценки. В настоящее время в исследованиях наибольшее внимание уделяется самооценке как:

1) ценности, которой индивид наделяет свою личность, поведение, деятельность;

2) мотиву в оценке себя для достижения успешности в деятельности;

3) субъекту деятельности в процессе выполнения социального статуса/роли [11-12].

Исходя из количества значимых социальных ролей для самореализации на данном жизненном этапе личностно-профессионального развития, недостаточно изучена общая самооценка личности как ролевого профиля. Однако чаще всего в исследованиях принимают во внимание общую самооценку, а различные аспекты представления о себе и отношения к себе редко изучаются в контексте с физическим или физиологическим состоянием спортсменов [13]. В некоторых исследованиях обращается внимание на влияние ролевых ценностей на самооценку. Если в спортивных командах самооценка у спортсменов низкая, то это влияет на поведение, результативность команды в целом, в том числе и индивидуальные показатели [14]. Действуя как посредник, на самооценку влияет и качество отношений между тренером, спортивной командой и спортсменами. Недостаточно изученной проблемой остается влияние психологических характеристик личности на физиологическое состояние спортсменов, в частности самооценки.

Цель: выявить возможности использования рекомендаций EFSMA в междисциплинарных исследованиях элитных спортсменов экстремального спорта (на примере изучения влияния психологических показателей самооценки и тревожности на физиологическое состояние элитных спортсменов-парашютисток с учётом возраста).

**Методы и организация исследования.** В связи с задачами EFSMA в исследовании использовался неинвазивный метод вариабельности сердечного ритма (BPC). Изучены показатели HR (частота сердечного ритма); MxDMn (вегетативный гомеостаз); SDNN (суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения), RMSSD (активность парасимпатического звена вегетативной



регуляции), ИН (степень напряжения регуляторных систем). Поскольку мощность спектров имеет логнормальное распределение, то как для анализа, так и корреляционного анализа выбран десятичный  $Ig$  (HFlg, LFlg, VLFlg, ULFlg).

Уровень коммуникации и самооценки определялся по методике С.В. Ковалёва, тревожность – по методике Дж. Тейлора.

В статистическом анализе использовались стандартные методы: вычисление среднестатистических показателей и их отклонений ( $M \pm m$ ), среднеквадратичное отклонение ( $\pm \sigma$ ), корреляция определялась по Пирсону ( $r$ ), достоверность различий вычислялась по  $t$ -критерию Стьюдента. Была построена плотность распределения случайных величин, которая оценивалась визуально на нормальное распределение кривой Гаусса. Затем с помощью критерия согласия Пирсона проводили проверку модели закона нормального распределения [15] с использованием программы Statistica 10.

Возможности построения диаграмм и гистограмм в программном обеспечении Microsoft Office Excel 10 позволяют корректно анализировать рисунки в соответствии с требованиями математического анализа.

Выборку составили женщины-парашютистки классического многоборья в возрасте от 25 до 49 лет ( $n=30$  чел.: ЗМС – 4, МСМК – 14, МС – 12). Парашютный спорт омолаживается медленно. Имеют место несколько причин. Одна из них – сложность тренировочного периода. Данный вид спорта материально затратен, подъёмы на высоту занимают много времени, продолжительность тренировки в воздухе – от нескольких секунд (воздушная акробатика) до нескольких минут под куполом, ограничен сезонностью, зависимостью от погоды. В связи с опасностью для жизни данного вида спорта, его экстремальностью, заниматься им разрешается после 14 лет. Систематическое занятие таким спортом даёт относительно стабильный

индивидуальный результат спортсмену к 27-37 годам.

Спортсменки были условно разделены на 2 группы с возрастной периодизацией согласно 1-му и 2-му периодам взрослости:

- 1) от 25 до 37 лет;
- 2) от 38 до 49 лет.

5-минутные замеры осуществлялись в период соревнований на Чемпионате России с международным участием (Казахстан, Беларусь, Украина) в состоянии сидя после каждого индивидуального упражнения:

- 1) воздушная акробатика;
- 2) точность приземления.

Особенность соревнований по парашютному спорту заключается в том, что спортсменам приходится соревноваться в условиях гандикапа и комплекса стресс-факторов различной природы: погодные условия, которые могут меняться в течение дня и периода соревнований; смена ветра, давления и облачности по высотам; жеребьёвка, определяющая время прыжка каждого спортсмена и команды; технический осмотр и заправка летательных аппаратов; различные непредвиденные ситуации; временный запрет на полёты; отказ у спортсмена парашютной техники во время прыжка или летательного аппарата, которые могут сопровождаться смертельными случаями и т.д.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Для обсуждения анализа исследования выбраны абсолютные значения в аппроксимации полинома 3-ей степени. Абсолютные значения показали нестабильность самооценки у спортсменок как до 37 лет, так и старше, ниже среднего значения отмечена у большинства группы между 25 и 37 лет (рис. 2, 3).

В аппроксимации полинома 3-ей степени хорошо видны как групповые, так и индивидуальные различия в самооценке спортсменок. С возрастом у элитных парашютисток самооценка достоверно повышается ( $t=2,16$ ;  $p<0,05$ ). Чем старше и опытнее спортсменка, тем стабильнее самооценка, вне зависимости от уровня соревнований.

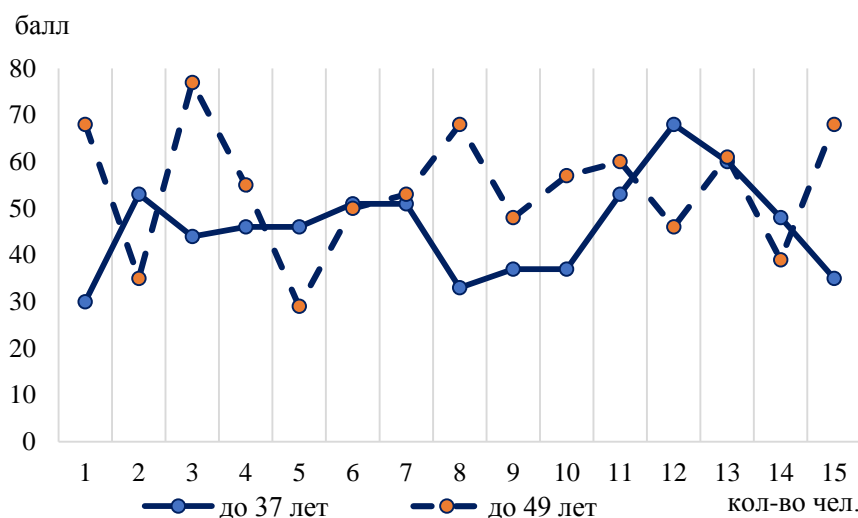


Рис. 2. Абсолютные значения самооценки в соответствии с возрастом от 25 до 49 лет у элитных спортсменок-парашютисток

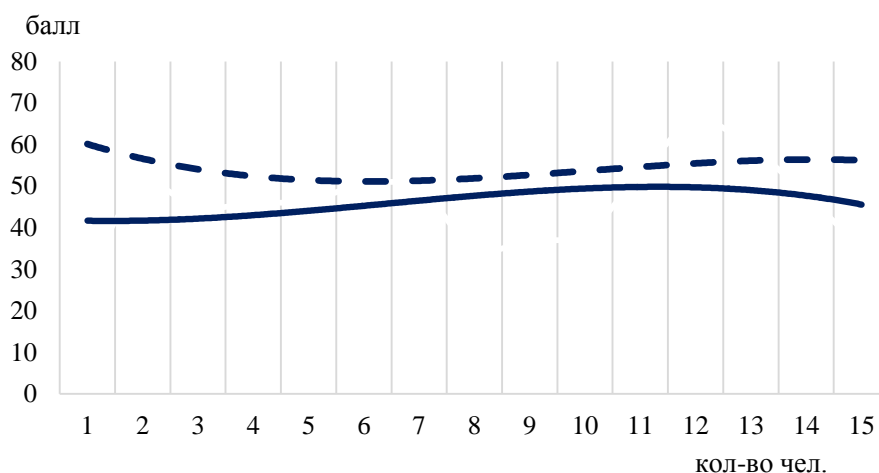


Рис. 3. Самооценка в соответствии с возрастом от 25 до 49 лет у спортсменок-парашютисток в аппроксимации полинома 3-й степени

Анализ вегетативного гомеостаза (MxDMn) показал, что у 47% спортсменок до 37 лет доминирует влияние парасимпатического звена управления регуляцией ритмом сердца, у 33% – равновесие между парасимпатическим и симпатическим влиянием, и только у 20% симпатическое влияние, что отражается на физиологическом состоянии спортсменок в соревновательный период. У 47% спортсменок старше 38 лет наблюдался вегетативный гомеостаз, 47% –

симпатическое влияние, 6% – парасимпатическое на управление регуляцией ритмом сердца. Выявлено, что у элитных спортсменок-парашютисток с возрастом увеличивается самооценка и симпатическое влияние на управление регуляцией ритмом сердца. Чем моложе спортсменки, тем больше парасимпатическое влияние на управление регуляцией ритмом сердца и ниже самооценка ( $r=-0,55$ ;  $p<0,01$ ) (рис. 4, 5).

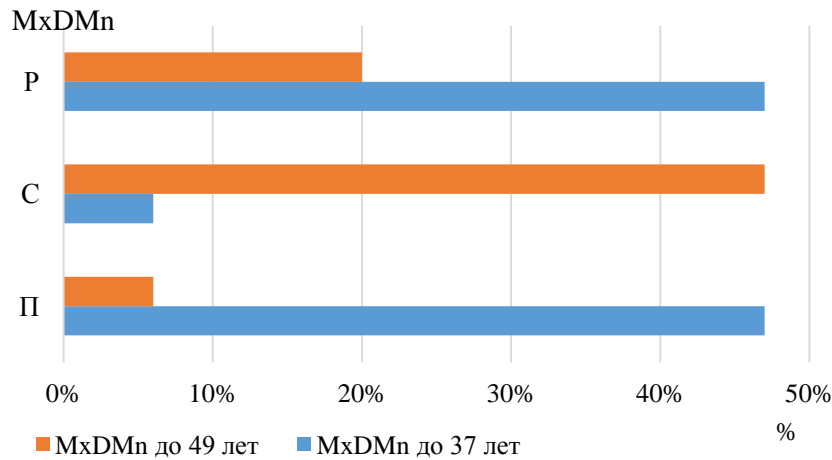


Рис. 4. Показатели вегетативного гомеостаза (MxDMn) в соответствии с возрастом и самооценкой

Примечание: П – парасимпатическое влияние; С – симпатическое влияние; Р – равновесие между парасимпатическим и симпатическим влиянием на управление регуляции ритма сердца

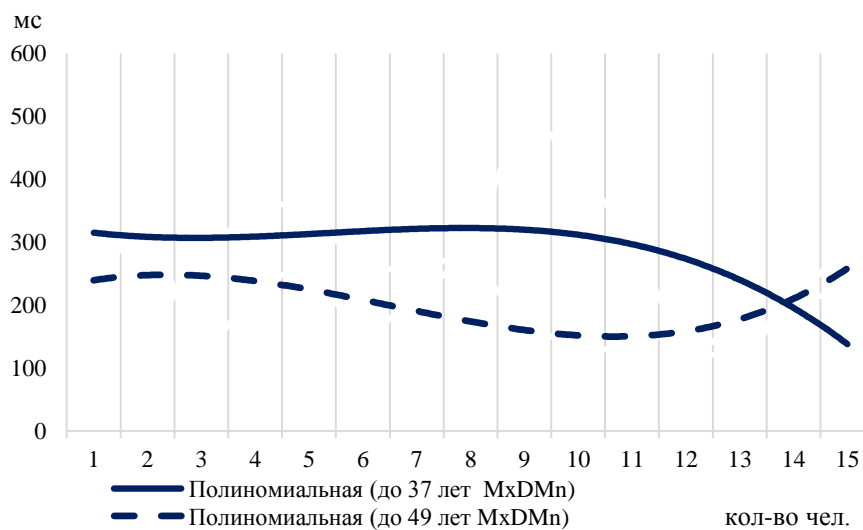


Рис. 5. MxDMn у спортсменок-парашютисток в соответствии с возрастом и самооценкой

Показатель SDNN интересен тем, что он отражает суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения. Его длительные низкие значения свидетельствуют о критичности состояния системы кровообращения и появлении патологических процессов в сердечно-сосудистой системе. В соревновательный период критические значения SDNN ниже условно допустимой нормы выявлены у 13% в возрасте до 37 лет и у 40% спортсменок старше 38 лет. Исследованиями

отмечена отрицательная взаимосвязь у спортсменок между самооценкой и SDNN ( $r=-0,53$ ;  $p<0,01$ ). Можно сказать, что самооценка и суммарная вегетативная регуляция кровообращения имеют взаимно замещающий эффект. Чем выше самооценка, тем ниже SDNN и наоборот.

Корреляционный анализ выявил отрицательную взаимосвязь возрастных изменений между самооценкой и мощностью гармоник. Чем выше влияние мощности спектров на

управление регуляции ритма сердца, тем ниже самооценка и наоборот. Однако эти значения достоверно выше у спортсменок до 37 лет. Также следует отметить, что элитные спортсменки-парашютистки в соответствии с возрастными особенностями самооценки имеют положительную и отрицательную

взаимосвязь с показателями ВСП в зависимости от напряжённости соревновательного периода. Чем старше спортсменки и выше самооценка, тем выше вероятность функциональных нарушений, особенно при воздействии комплекса стресс-факторов (рис. 6).

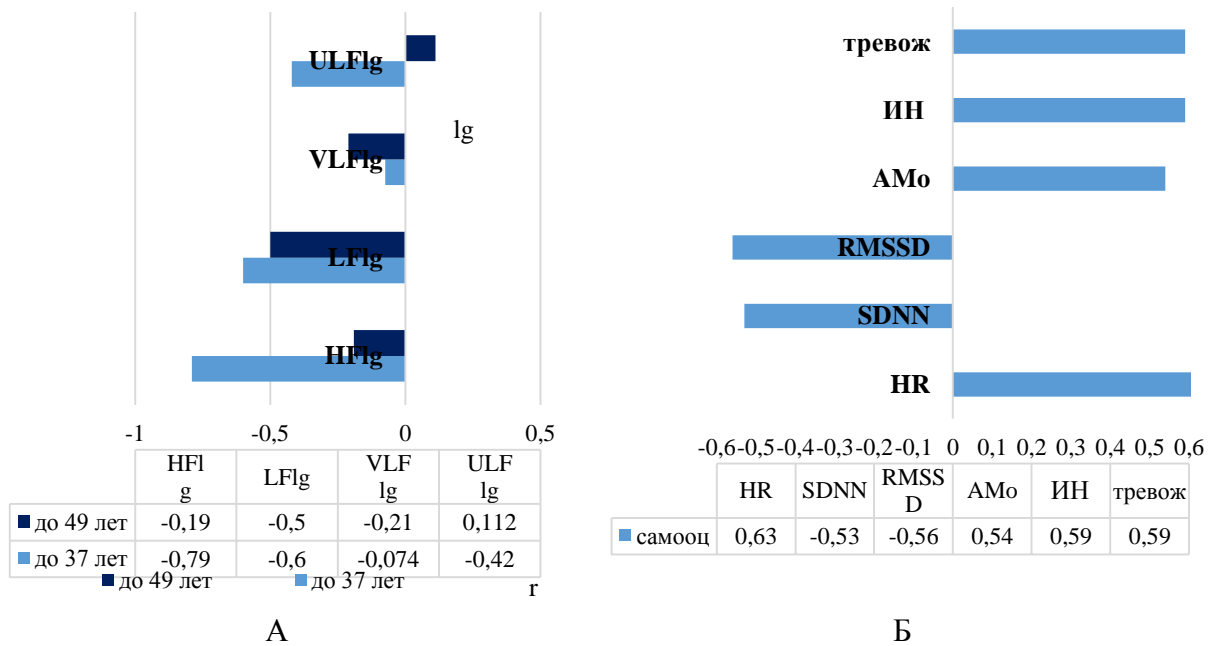


Рис. 6. А: Возрастные изменения взаимосвязи между самооценкой и мощностью гармоник (lg); Б: Взаимосвязь между показателями самооценки и variability сердечного ритма у элитных спортсменок-парашютисток в период соревнований

Примечание: HF – мощность высокочастотных волн; LF – мощность низкочастотных волн; VLF – мощность волн очень низкой частоты; ULF – мощность волн сверхнизкой частоты; тревож – уровень тревожности; IH – степень напряжения регуляторных систем; AMo – амплитуда моды; RMSSD – активность парасимпатического звена вегетативной регуляции; SDNN – суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения; HR – частота сердечных сокращений

Трофотропное влияние на организм парашютисток до 37 лет мы склонны объяснить резистентностью к таким раздражителям, как адаптивно-компенсаторная реакция на высотную гипоксию. Большая часть прыжков спортсменками отрабатывается на комплексе воздушной акробатики с высоты 2000 м и более с учётом рельефа над уровнем моря. Одиночные акробатические прыжки выполняются до 30 секунд свободного падения, соответственно

не ниже 2000 м, групповая акробатика – с высоты до 3500 м. К 49 годам резистентность уже зависит от набора доступных для конкретного организма адаптивных ответов, включая наследственно обусловленные нормы реакции. Вероятность эрготропных влияний может зависеть от иных причин, например возрастных предпосылок к различным заболеваниям. Следует отметить недостаточную изученность причин нарушений нейроиммунноэндокринной регуляции

функций организма, связанной с влиянием на организм комплекса различных стресс-факторов, в том числе социальных, и специфики спорта.

**Заключение.** Результаты исследования показали, что у элитных спортсменок-парашютисток самооценка взаимосвязана с возрастными особенностями. До 37 лет у спортсменок самооценка нестабильная, и на управление регуляции ритма сердца оказывает влияние парасимпатическая нервная система. В более старшем возрасте самооценка устойчивая, отмечается вегетативный гомеостаз, либо симпатические влияние на управление регуляцией ритмом сердца. В период ответственных соревнований в условиях воздействия комплекса стресс-факторов различной природы доминирует ролевая самооценка, оказывающая влияние на физиологическое состояние спортсменок-парашютисток. Нейроиммунноэндокринные реакции организма на комплекс факторов среды в

различных видах спорта недостаточно изучены.

Таким образом, полученные данные позволяют заключить, что самооценка может рассматриваться как маркер физиологического состояния женщин-спортсменок по показателям взаимосвязи с вариабельностью сердечного ритма. Результаты использования новых медицинских технологий, рекомендованных EFSMA по результатам вариабельности сердечного ритма, можно использовать в психологическом анализе самооценки как критерия индивидуальной защиты здоровья элитных спортсменов. Для формирования средств индивидуальной защиты организма спортсменов авторами статьи была разработана программа “LongLife” интерактивного мониторинга здоровья человека для специалистов в области медико-биологических проблем (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022684480).

**Благодарность.** Авторы выражают благодарность за содействие в выборе альтернативных подходов математического и статического анализа **Александрю Викторовичу Пруцкову**, доктору технических наук, доценту, профессору кафедры вычислительной и прикладной математики Рязанского государственного радиотехнического университета имени В.Ф. Уткина, профессору кафедры информатики, информационных технологий и защиты информации Липецкого государственного педагогического университета имени П.П. Семенова-Тян-Шанского.

**Acknowledgements.** The authors would like to express gratitude in choosing alternative approaches of mathematical and statistical analysis to **Aleksander Viktorovich Prutzkow**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Computational and Applied Mathematics, Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin; Professor of the Department of Informatics, Informational Technology and Informational Safety, Lipetsk State Pedagogical University.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Drezner J. A. Abnormal electrocardiographic findings in athletes: recognising changes suggestive of primary electrical disease / J. A. Drezner, M. J. Ackerman, B. C. Cannon // Br J Sports Med. – 2013. – Vol. 47. – pp. 153-167.
2. The Pre-Participation examination in sports: EFSMA statement on ECG for Pre-Participation examination / H. Löllgen, M. Börjesson, J. Cummiskey, N. Bachl // Dtsch Z Sportmed. – 2015. – pp. 151-155.
3. Maron, B. J. Assessment of the 12-lead ECG as a screening test for detection of cardiovascular disease in healthy general populations of young people (12-25 years of age): a scientific statement from the American heart association and the American College of cardiology / B. J. Maron, R. A. Friedman, P. Kligfield // Circulation. – 2014. – pp. 1303-1334.
4. Preparticipation medical evaluation for elite athletes: EFSMA recommendations on standardised

preparticipation evaluation form in European countries / Mirela A., Pitsiladis Y. P, Rozenstoka S. [et al] // *BMJ Sports & Therapeutic Exercise Open Exhibition*. – 2021. – Vol. 7(4).

5. Drezner, J. A. International criteria for electrocardiographic interpretation in athletes: consensus statement / J. A. Drezner, S. Sharma, A. Baggish // *Br J Sports Med*. – 2017. – Vol. 51. – pp. 704-731.

6. Агаджанян, Н. А. Хроническая гипокания – системный патогенный фактор / Н. А. Агаджанян, Ю. Н. Мишустин, С. Ф. Левкин. – Самара: ФГУП «Печатный дом Самара», 2005. – С. 136.

7. Курилкин, А. И. Самооценка личности спортсмена как фактор готовности к соревновательной деятельности / А. И. Курилкин // Юбилейн. сб. тр. учен. РГАФК, посвящ. 80-летию акад., 1998. – Т. 4. – С. 119-125.

8. Cranmer, G. A. Sports Support: Social Support Received as a Predictor of Athlete / G. A. Cranmer, M. Sollitto // *Satisfaction Communication Research Reports*. – 2015. – Vol. 32 (3). – pp. 253-264.

9. Галкина, Т. В. Самооценка как процесс решения задач. Системный подход / Т. В. Галкина. – М.: Институт психологии РАН, 2011. – С. 399.

10. Молчанова, О. Н. Самооценка. Теоретические проблемы и эмпирические исследования / О. Н. Молчанова – Москва: Флинта: Наука, 2010. – Р. 392.

11. Challenge athletes to improve their self-worth: A serial mediation model linking dual controlling behaviors to sport performance / Yu-H. Cheng, Wan-Ju Chou, San-Fu Kao, Te-Hsien Chou // *Psychology of Sport and Exercise*. – 2021. – Vol. 56. – P. 1020.

12. The dark side of sport training. Self-esteem, narcissism and exercise addiction in women's CrossFit training / Król T., Wojtyna E., Hyla M. [et al] // *European Review of Applied Psychology*. – 2022. – Vol. 72(5). – P. 100814.

13. Leary, M. R. Sociometer theory and the pursuit of relational value: Getting to the root of self-esteem / M. R. Leary // *European Review of Social Psychology*. – 2005. – Vol. 16(1). – pp. 75-111.

14. Cranmer, G. A. Sports Support: Social Support Received as a Predictor of Athlete / G. A. Cranmer, M. Sollitto // *Satisfaction Communication Research Reports*. – 2015. – Vol. 32(3). – pp. 253-264.

15. Калинина, В. Н. Математическая статистика: учебник для студентов средне

специальных учебных заведений / В. Н. Калинина, В. Ф. Панкин. – 2002. – С. 336.

## REFERENCES

1. Drezner J.A., Ackerman M.J., Cannon B.C. Abnormal electrocardiographic findings in athletes: recognising changes suggestive of primary electrical disease. *Br J Sports Med*, 2013, vol. 47, pp. 153-167.

2. Löllgen H., Börjesson M., Cummiskey J., Bachl N. The Pre-Participation examination in sports: EFSMA statement on ECG for Pre-Participation examination. *Dtsch Z Sportmed*, 2015, pp. 151-155.

3. Maron B.J. Friedman R.A., Kligfield P. Assessment of the 12-lead ECG as a screening test for detection of cardiovascular disease in healthy general populations of young people (12-25 years of age): a scientific statement from the American heart association and the American College of cardiology. *Circulation*, 2014, pp. 1303–1334.

4. Mirela A., Pitsiladis Y. P, Rozenstoka S. [et al] Preparticipation medical evaluation for elite athletes: EFSMA recommendations on standardised preparticipation evaluation form in European countries. *BMJ Sports & Therapeutic Exercise Open Exhibition*, 2021, vol. 7(4).

5. Drezner J.A., Sharma S., Baggish A. International criteria for electrocardiographic interpretation in athletes: consensus statement. *Br J Sports Med*, 2017, vol. 51, pp. 704-731.

6. Agadzhanian N.A., Mishustin Yu.N., Levkin S.F. Chronic hypokanemia is a systemic pathogenic factor. Samara: Federal State Unitary Enterprise “Iz-vo Samara Printing House”, 2005. p. 136. (in Russ.)

7. Kurilkin A.I. Athlete's personality self-assessment as a factor of readiness for competitive activity. Anniversary collection of works of scientists of the RGAFK, dedicated to the 80th anniversary of the Academy, 1998. vol. 4. pp. 119-125. (in Russ.)

8. Cranmer G.A., Sollitto M. Sports Support: Social Support Received as a Predictor of Athlete. *Satisfaction Communication Research Reports*, 2015, vol. 32 (3), pp. 253-264.

9. Galkina T.V. Self-assessment as a process of problem solving: a systematic approach. M.: Publishing House “Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences”, 2011. p. 399. (in Russ.)

10. Molchanova O.N. Self-assessment: theoretical problems and empirical research. Moscow: Flinta: Nauka, 2010. p. 392. (in Russ.)

11. Yu-Hung Cheng, Wan-Ju Chou, San-Fu Kao, Te-Hsien Chou. Challenge athletes to improve their self-worth: A serial mediation model linking dual controlling behaviors to sport performance. *Psychology of Sport and Exercise*, 2021, vol. 56, p. 1020.
12. Król T., Wojtyła E., Hyla M., Michalik P., Michalski T. The dark side of sport training. Self-esteem, narcissism and exercise addiction in women's CrossFit training. *European Review of Applied Psychology*, 2022, vol. 72(5), p. 100814.
13. Leary M.R. Sociometer theory and the pursuit of relational value: Getting to the root of self-esteem. *European Review of Social Psychology*, 2005, vol. 16(1), pp. 75-111.
14. Cranmer G.A., Sollitto M. Sports Support: Social Support Received as a Predictor of Athlete Satisfaction. *Communication Research Reports*, 2015, vol. 32(3), pp. 253-264.
15. Kalinina V.N., Pankin V.F. Mathematical statistics: a textbook for students of secondary specialized colleges. 2002, p. 336. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Анастасия Викторовна Башкирева** – кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических и психологических основ физического воспитания, РГУ имени С.А. Есенина, Рязань, e-mail: bashkireva32@gmail.com.

**Дмитрий Михайлович Максимов** – Заслуженный мастер спорта, Центральный Спортивный Клуб Армии Российской Федерации, Москва, e-mail: maksdi545@mail.ru.

**Сергей Михайлович Чибисов** – доктор медицинских наук, профессор кафедры общей патологии и патологической физиологии имени В.А. Фролова медицинского института РУДН, Москва, e-mail: kalcna@mail.ru.

**Татьяна Валентиновна Башкирева** – доктор биологических наук профессор кафедры психологии, РГУ имени С.А. Есенина, Россия, Рязань, e-mail: bashkirevat@bk.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Anastasia Viktorovna Bashkireva** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biomedical and Psychological Foundations of Physical Education, S.A. Yesenin, Ryazan, e-mail: bashkireva32@gmail.com.

**Dmitrij Mikhajlovich Maksimov** – Honored Master of Sports, Central Sports Club of the Army of the Russian Federation, Moscow, e-mail: maksdi545@mail.ru.

**Sergej Mikhajlovich Chibisov** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of General Pathology and Pathological Physiology named after V.A. Frolov, Medical Institute of the People's Friendship University of Russia, Moscow, e-mail: kalcna@mail.ru.

**Tat'yana Valentinovna Bashkireva** – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Psychology, Russian State University named after S.A. Yesenin, Russia, Ryazan, e-mail: bashkirevat@bk.ru.

**Для цитирования:** Использование вариабельности сердечного ритма в междисциплинарных исследованиях элитных спортсменов-парашютисток / А. В. Башкирева, Д. М. Максимов, С. М. Чибисов, Т. В. Башкирева // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_3

**For citation:** Bashkireva A.V., Maksimov D.M., Chibisov S.M., Bashkireva T.V. Using EFSMA recommendations in interdisciplinary studies of elite parachute jumpers. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_3

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_4  
УДК 612.181

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_4  
UDC 612.181

## **ОЦЕНКА ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕАКТИВНОСТИ ДЕВУШЕК С РАЗЛИЧНЫМ ИНДЕКСОМ МАССЫ ТЕЛА В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Г.С. Бобков, Е.Ю. Федорова, С.Н. Бобкова, М.В. Зверева**

ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет», г. Москва, Россия

**Аннотация.** Целью работы была оценка влияния дистанционной формы обучения на вегетативную реактивность девушек выпускных классов с различным индексом массы тела. В статье представлены результаты кардиоинтервалографии при выполнении активной ортостатической пробы в условиях очного и дистанционного обучения. В исследовании приняли участие 78 девушек выпускных медицинских классов общеобразовательных школ г. Москвы, различающихся индексом массы тела. Нами было выявлено, что под влиянием ортостатической пробы на фоне дистанционной формы обучения у девушек с дефицитом массы тела преобладает состояние напряжения регуляторных систем и снижения адаптационных резервов организма, менее выраженное у школьниц с нормальной и избыточной массой тела. В этой категории наблюдается повышенная реактивность симпатического отдела вегетативной нервной системы.

**Ключевые слова:** дистанционное обучение, девушки, сердечно-сосудистая система, кардиоинтервалография, активная ортостатическая проба, гиподинамия.

## **ASSESSMENT OF AUTONOMIC REACTIVITY OF GIRLS WITH DIFFERENT BODY MASS INDEX DURING DISTANCE LEARNING**

**G.S. Bobkov, E.Yu. Fedorova, S.N. Bobkova, M.V. Zvereva**

Moscow City Univesity, Moscow, Russia

**Annotation.** The aim of the work was to assess the impact of distance learning on the autonomic reactivity of girls of graduating classes with different body mass index. The article presents the cardiointervalography results when performing an active orthostatic test in full-time and distance learning. The study involved 78 girls who graduated from medical classes of secondary schools in Moscow, differing in body mass index. We have found that under the influence of an orthostatic test against the background of distance learning in girls with a body weight deficit, the state of regulatory systems' tension and a decrease in adaptive reserves of the body prevails, less pronounced in schoolgirls with normal body mass and overweight. In this group, there is an increased reactivity of the sympathetic division of the autonomic nervous system.

**Keywords:** distance learning, girls, cardiovascular system, cardiointervalography, active orthostatic test, physical inactivity.

**Введение.** Известно, что ученики выпускных классов испытывают значительные учебные нагрузки, связанные с подготовкой к выпускным экзаменам и переходу на следующую ступень образования, а переход их на дистанционную форму обучения в связи с вирусной пандемией привел к снижению уровня их физической активности, что могло привести к нарушению регуляторных механизмов вегетативной нервной системы (ВНС), контролирующей работу нервной, сердечно-сосудистой и

других систем и развитием в будущем хронических заболеваний у обучающихся. Являясь индикатором адаптации организма человека к воздействиям среды, сердечно-сосудистая система (ССС) обеспечивает адекватный уровень его функционирования, который регулирует ВНС [1]. Известно, что избыточная масса тела и ожирение сопровождаются благоприятным сосудистым фенотипом и, наоборот, дефицит массы тела сопровождается преждевременным сосудистым старением [2]. Однако избыточная



масса тела и ожирение, как правило, сопровождаются более высоким артериальным давлением, повышением частоты сердечных сокращений (ЧСС), а также увеличением сердечного выброса, что может явиться предиктором развития заболеваний ССС, особенно в условиях гиподинамии на фоне учебного стресса и дистанционной формы обучения [3-4]. В проведенном нами ранее исследовании, касающемся оценки влияния учебного стресса на сердечную деятельность девушек, наблюдался большой разброс данных по изучаемым показателям [5]. Возможно, это могло быть связано с различиями в антропометрических данных участниц, в том числе в индексе массы тела. Поэтому целью работы была оценка влияния дистанционной формы обучения на вегетативную реактивность девушек выпускных классов с различным индексом массы тела на примере 78 учащихся медицинских классов города Москвы.

#### **Методы и организация исследования.**

Данное исследование проводилось на базе Центра проектного творчества МГПУ с октября 2020 года по январь 2021 года и являлось продолжением изучения влияния учебного стресса и дистанционной формы обучения на функциональное состояние ССС обучающихся [6]. В нем приняли участие 78 девушек в возрасте 15-17 лет выпускных классов (I-II группы здоровья). Все девушки были разделены на 3 группы: 24 с избыточной массой тела, у 3 из них – ожирение I степени (ИМТ от 25 до 35), у 30 учениц – нормальная масса тела (ИМТ – 18,5-24,9), у 24 – дефицит массы тела (ИМТ<18,5). Для комплексной оценки состояния ВНС, сегментарных и надсегментарных отделов центральной нервной системы (ЦНС), степени адаптации ССС применялся неинвазивный метод кардиоинтервалографии с использованием аппарата «Варикард 2.51». Определялись такие показатели вариабельности сердечного ритма (ВСР), как частота сердечных сокращений (ЧСС), для временного анализа оценивалась длительность интервалов RR (SDNN (мс)),

разность длительности соседних интервалов RR (RMSSD (мс) и pNN50 (%)), амплитуда Моды (АМо (%)), а также спектральные характеристики: TP (мс<sup>2</sup>) – общая мощность спектра; колебания спектра разной частоты высоко- (HF (%)), низко- (LF (%)), очень низкочастотные колебания (VLF (%)), а также интегральные показатели активности регуляторных систем (ПАРС) и индекс напряжения (ИН) [7]. Адаптация и реактивность отделов ВНС определялась с помощью активной ортостатической пробы. Все школьники исследования были проинформированы и дали добровольное согласие на участие. Измерения проводились при очном обучении и после выхода школьников из дистанционного обучения. Статистическая обработка полученных данных была проведена с использованием программы “Statistica 10”. Предварительно полученные результаты были подвергнуты проверке на нормальность распределения с использованием теста Колмогорова-Смирнова. Полученные данные представлены в виде средних значений с ошибкой средней (M±m). Межгрупповые различия, оцениваемые с помощью t-критерия Стьюдента, считали статистически значимыми при p<0,05.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Фоновая оценка (в горизонтальном положении) ортостатической пробы по результатам кардиоинтервалографии у старшеклассниц при очной форме обучения, имеющих ИМТ<18,5, показала, что ЧСС в среднем по группе была несколько выше, чем у девушек с нормальной и избыточной массой тела. Большинство фоновых показателей временного и спектрального анализа ВСР у девушек с различными ИМТ находились в пределах нормальных значений, но имелась тенденция к росту показателей, свидетельствующих о некотором преобладании симпатического контура (SDNN, АМо, VLF) у большинства девушек, более выраженное у девушек с ИМТ<18,5. Средние значения ПАРС были выше нормы во всех группах, особенно у девушек с

дефицитом массы тела (на 40%), а средние значения ИН были в пределах нормы у всех испытуемых. Структура спектра оставалась в пределах нормы, поскольку для этой

возрастной группы характерна зрелость регуляторных систем и преобладание парасимпатического отдела в регуляции сердечного ритма (табл. 1).

Таблица 1

Результаты кардиоинтервалографии у девушек (n=78) с различным индексом массы тела в горизонтальном положении (фоновая проба) при разных формах обучения, M±m

очная форма	дистанционная форма	очная форма	дистанционная форма	очная форма	дистанционная форма
ИМТ от 25 до 35 (n=24)		ИМТ от 18,5 до 24,9 (n=30)		ИМТ<18,5 (n=24)	
Показатели					
ЧСС, уд/мин					
77,8±4,1	83,6±6,6	74,7±4,4	78,6±6,1	76,3±11,5	84,8±9,4
SDNN, мс					
62,6±8,3	67,4±7,2	66,6±9,7	70,4±11,3	57,5±14,8	46,6±8,2*
RMSSD, мс					
43,4±7,2	53,6±3,9*	44,3±6,6	55,7±5,1*	46,8±3,1	33,4±5,2*
pNN50, %					
36,3±4,8	43,7±2,1*	33,5±4,2	38,8±3,1*	35,2±27	26,4±2,9*
АМо, %					
34,4±4,4	38,8±3,5	32,5±6,2	36,6±4,8	37,2±6,1	45,3±6,6*
ИН, усл.ед.					
122,3±18,4	137,5±22,8	118,6±30,4	128,7±17,3	131,3±16,6	157,4±18,7*
ПАРС, баллы					
3,2±2,4	3,6±1,2	3,1±1,5	3,5±2,3	4,1±2,3	5,1±3,5

Примечание: \* – различие между измерениями у девушек с различным ИМТ при двух формах обучения достоверно при  $p<0,05$ ; ЧСС – частота сердечных сокращений; SDNN – длительность интервалов RR; RMSSD и pNN50 – разность длительности соседних интервалов RR; АМо – амплитуда моды; ИН – индекс напряжения; ПАРС – показатели активности регуляторных систем

Полученные данные можно объяснить длительным учебным стрессом (в течение почти полугода), нахождением в режиме самоизоляции и тем, что очная форма обучения предусматривает иные виды нагрузок.

При повторном обследовании (после завершения дистанционной формы обучения) было выявлено увеличение ЧСС в группах, более выраженное у девушек с избыточной массой тела – на 7,4% и у девушек с дефицитом массы тела – на 10,7%, но показатели находились в пределах нормальных значений. Наиболее значимые изменения изучаемых показателей были зарегистрированы у девушек с ИМТ<18,5: снижение средних временных показателей ( $p<0,05$ ) в среднем по группе на 19-29% (SDNN, RMSSD, pNN50), повышение

( $p<0,05$ ) SDNN на 19%, RMSSD – на 28,6%, pNN50 – на 25%. Кроме того, имелось достоверное ( $p<0,05$ ) повышение АМо (на 21,8%), а также интегральных показателей ПАРС на 21,4% и ИН на 20%, что свидетельствует об активации симпатического отдела и центральных механизмов регуляции (табл. 1).

Спектральные параметры ритмограммы у девушек данной группы отражали состояние энергодефицита и активацию симпатического отдела. У девушек с нормальной и избыточной массой тела наблюдалась активация парасимпатического отдела регуляции, что свидетельствует о включении адаптационных резервов организма (табл. 2).

После выхода из дистанционного обучения больше всего девушек с преобладанием симпатического отдела ВНС наблюдалось в группе школьниц с дефицитом массы тела (увеличилось на 30,8%) и снижением парасимпатической активности. Однако подобная тенденция наблюдается и в других группах.

Таблица 2

Спектральные характеристики кардиоинтервалограммы у девушек (n=78) с различным индексом массы тела в горизонтальном положении (фоновая проба) при разных формах обучения, M±m

очная форма	дистанционная форма	очная форма	дистанционная форма	очная форма	дистанционная форма
ИМТ от 25 до 35 (n=24)		ИМТ от 18,5 до 24,9 (n=30)		ИМТ<18,5 (n=24)	
Показатели					
TP, мс <sup>2</sup>					
3729,5± 312,2	4123,3± 122,1	3679,3± 265,6	4161,7±312,3	3520,2± 224,5	2793,4± 145,7*
HF, %					
44,3±7,1	41,4±5,5	43,2±4,4	40,6±5,9	41,8±3,1	35,7±7,7*
LF, %					
30,4±3,2	32,5±4,2	28,1±3,8	30,4±6,2	29,5±9,3	39,6±7,4*
VLF, %					
10,2±3,1	12,7±2,8	10,6±2,2	11,7±3,3	13,6±2,2	10,3±1,4*

Примечание: \* – различие между измерениями у девушек с различным ИМТ при разных формах обучения достоверно при p<0,05; TP – общая мощность спектра; HF – высокочастотные колебания; LF – низкочастотные колебания; VLF – очень низкочастотные колебания

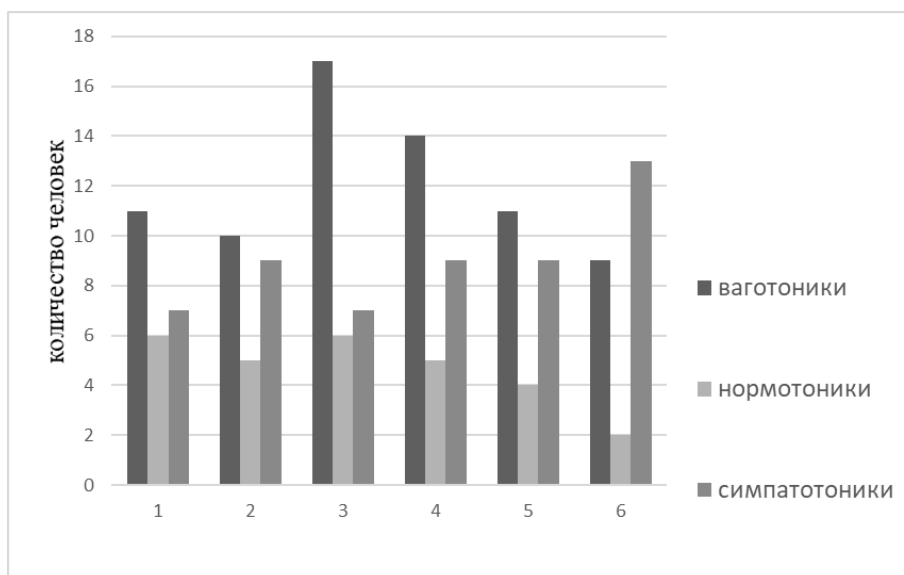


Рис. Распределение девушек с различным индексом массы тела по типам автономной нервной регуляции при разных формах обучения

Примечание. 1 – девушки (n=24) с ИМТ≥25 и <35, очная форма обучения; 2 – девушки (n=24) с ИМТ≥25 и <35, дистанционная форма обучения; 3 – девушки (n=30) с ИМТ 18,5-24,9, очная форма обучения; 4 – девушки (n=30) с ИМТ 18,5-24,9, дистанционная форма обучения; 5 – девушки (n=24) с ИМТ<18,5, очная форма обучения; 6 – девушки (n=24) с ИМТ<18,5, дистанционная форма обучения

На рисунке представлено распределение девушек с различными ИМТ по типам автономной нервной регуляции при очной и дистанционной формах обучения.

Проведение ортостатической пробы при обеих формах обучения выявило у девушек всех обследуемых групп снижение активности парасимпатического отдела и увеличение симпатической активности в регуляции сердечного ритма, более выраженное у девушек с ИМТ<18,5 при дистанционной форме обучения: снижение средних временных показателей SDNN на 32,7% (p<0,05), RMSSD – на 44,7% (p<0,05), pNN50 – на 29,5% (p<0,05) и повышение средних величин АМо на 26,2% (p<0,05) (табл. 3).

Следует также отметить, что спектральные характеристики кардиоинтервалограммы, полученные при проведении ортостатической пробы после выхода школьников с дистанционной формы обучения, отражали состояние энергодефицита во всех группах (табл. 4).

Полученные нами данные свидетельствуют о подавлении автономных и задействовании центральных механизмов, регулирующих сердечную деятельность, а также состоянии энергодефицита, напряжении регуляторных систем и снижении адаптационных резервов организма школьников, длительное время находящихся на дистанционной форме обучения.

Таблица 3

Результаты кардиоинтервалографии у девушек (n=78) с различным индексом массы тела при проведении ортостатической пробы при разных формах обучения, M±m

очная форма	дистанционная форма	очная форма	дистанционная форма	очная форма	дистанционная форма
ИМТ от 25 до 35 (n=24)		ИМТ от 18,5 до 24,9 (n=30)		ИМТ<18,5 (n=24)	
Показатели					
ЧСС, уд/мин					
86,3±9,7	94,1±7,6	82,6±4,6	90,2±5,3	88,5±12,3	107,7±21,3*
SDNN, мс					
77,5±9,4	69,7±8,4	80,6±7,2	71,3±9,8	49,5±11,2	33,3±5,6*
RMSSD, мс					
63,2±5,5	51,6±3,9*	67,1±8,3	58,5±6,2	40,5±4,4	22,4±4,4*
pNN50, %					
46,6±5,6	37,4±7,2*	45,1±3,3	35,7±4,4*	27,8±2,6	19,6±4,7*
АМо, %					
41,2±5,1	51,7±6,1*	40,8±7,3	50,2±3,1*	45,4±5,1	57,3±4,4*
ИН, усл.ед.					
144,2 ± 14,6	175,6± 29,9*	137,4± 20,2	165,2± 15,1*	169,6± 12,8	237,5± 22,3*
ПАРС, баллы					
4,1±1,2	5,2±1,3*	4,0±2,1	5,1±2,0*	6,4 ± 2,2	8,5±3,4*

Примечание: \* – различие между измерениями у девушек с различным ИМТ при разных формах обучения достоверно при p<0,05; ЧСС – частота сердечных сокращений; SDNN – длительность интервалов RR; RMSSD, pNN50 – разность длительности соседних интервалов RR; АМо – амплитуда моды; ИН – индекс напряжения; ПАРС – показатели активности регуляторных систем

Таблица 4

Спектральные характеристики кардиоинтервалограммы у девушек (n=78) с различным индексом массы тела при проведении ортостатической пробы при разных формах обучения, M±m

очная форма	дистанционная форма	очная форма	дистанционная форма	очная форма	дистанционная форма
ИМТ от 25 до 35 (n=24)		ИМТ от 18,5 до 24,9 (n=30)		ИМТ<18,5 (n=24)	
Показатели					
TP, мс <sup>2</sup>					
2973,3± 214,2	2231,5± 132,4*	2654,5± 175,3	2031,2± 213,6*	1828,3± 154,4	1022,4± 129,5*
HF, %					
47,6±5,3	37,2±4,4*	45,2±7,1	36,4±6,6*	34,2±3,6	25,5±6,1*
LF, %					
33,7±2,5	39,7±2,8*	34,3±2,2	41,1±3,1*	35,4±7,1	44,5±6,3*
VLF, %					
14,6±2,4	11,8±3,3*	15,2±1,6	10,1±1,8*	10,4±2,6	6,1±1,1*

Примечание: \* – различие между измерениями у девушек с различным ИМТ при разных формах обучения достоверно при p<0,05; TP – общая мощность спектра; HF – высокочастотные колебания; LF – низкочастотные колебания; VLF – очень низкочастотные колебания

**Заключение.** В условиях дистанционной формы обучения девушек выпускных классов происходит усиление автономной регуляции ВНС, повышение активности её парасимпатического отдела у школьниц с нормальной и избыточной массой тела и умеренное преобладание центральной регуляции у учениц с дефицитом массы тела.

Проведенная активная ортостатическая проба показала преобладание симпатического компонента в структуре вариабельности ритма сердца и снижение активности сегментарных уровней регуляции кровообращения, наиболее выраженное у школьниц с ИМТ<18,5.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лезарева, Т. А. Об эффективности механизмов психофизиологической адаптации в динамике учебно-образовательного процесса / Т. А. Лезарева, С. А. Лытаев // Педиатрия. – 2019. – Т. 10. – № 6. – С. 67-77.
2. Фенотипы сосудистого старения у лиц молодого возраста в аспекте их взаимосвязи с индексом массы тела / Евсевьева М. Е., Еремин М. В., Ростовцева М. В. [и др.] // Профилактическая медицина. – 2021. – Т. 24. – № 3. – С. 52-58.
3. Русанов, В. Б. Исследование механизмов регуляции системы кровообращения в условиях изоляции (эксперимент Sirius-17) / В. Б. Русанов, Р. М. Баевский // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2018. – № 7. – С. 221-225.
4. Ortega F. B. Physical activity, physical fitness, and overweight in children and adolescents: Evidence from epidemiologic studies / F. B. Ortega, J. R. Ruiz, M. J. Castillo // Endocrinol Nutr. – 2013. – № 60. – pp. 458-469.
5. Оценка сердечной деятельности лиц юношеского возраста на фоне учебного стресса / М. В. Зверева, Г. С. Бобков, Е. Ю. Федорова, С. Н. Бобкова // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2021. – № 3(79). – С. 116-118.
6. Бобков, Г. С. Особенности регуляции сердечной деятельности у мальчиков-подростков в условиях дистанционного обучения / Г. С. Бобков, М. В. Зверева, С. Н. Бобкова // Современные вопросы биомедицины. – 2021. – Т. 5. – № 4(17). DOI: 10.51871/2588-0500\_2021\_05\_04\_14

7. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: методические рекомендации / Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65-83.

#### REFERENCES

1. Lezareva, T.A., Lytaev S.A. On the effectiveness of mechanisms of psychophysiological adaptation in the dynamics of the educational process. *Pediatrics*, 2019, vol. 10, no. 6, pp.67-77. (in Russ.)  
2. Evsev'eva M. E., Eremin M.V., Rostovtseva M.V., Fursova E.N., Rusidi A.V., Ital'yantseva EV, Kudryavtseva V.D. Phenotypes of vascular aging in young people in terms of their relationship with body mass index. *Profilakticheskaya Meditsina*, 2021, vol. 24, no. 3, pp. 52-58. (in Russ.)  
3. Rusanov V.B., Baevskij R.M. Investigation of cardiovascular system regulatory mechanisms in isolation (Sirius-17 experiment). *"Modern Science: actual problems of theory and practice", series "Natural and Technical Sciences"*, 2018, no. 7, pp.221-225. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Герман Сергеевич Бобков** – аспирант кафедры адаптологии и спортивной подготовки, Московский городской педагогический университет, Москва, e-mail: BobkovGS@mgpu.ru.

**Елена Юрьевна Федорова** – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры адаптологии и спортивной подготовки, Московский городской педагогический университет, Москва, e-mail: FedorovaEYU@mgpu.ru.

**Софья Ниязовна Бобкова** – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры адаптологии и спортивной подготовки, Московский городской педагогический университет, Москва, e-mail: BobkovaSN@mgpu.ru.

**Марина Валентиновна Зверева** – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры биологии и физиологии человека, Московский городской педагогический университет, Москва, e-mail: ZverevaMV@mgpu.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**German Sergeevich Bobkov** – Post-Graduate Student of the Department of Adaptology and Sports Training, Moscow City University, Moscow, e-mail: BobkovGS@mgpu.ru.

**Elena Yur'evna Fedorova** – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Adaptology and Sports Training, Moscow City University, Moscow, e-mail: FedorovaEYU@mgpu.ru.

**Sofia Niazovna Bobkova** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Adaptology and Sports Training, Moscow City University, Moscow, e-mail: BobkovaSN@mgpu.ru.

**Marina Valentinovna Zvereva** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Human Biology and Physiology, Moscow, e-mail: ZverevaMV@mgpu.ru.

**Для цитирования:** Оценка вегетативной реактивности девушек с различным индексом массы тела в условиях дистанционного обучения / Г. С. Бобков, Е. Ю. Федорова, С. Н. Бобкова, М. В. Зверева // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_4

**For citation:** Bobkov G.S., Fedorova E.Yu., Bobkova S.N., Zvereva M.V. Assessment of autonomic reactivity of girls with different body mass index during distance learning. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_4

4. Ortega F.B. Ruiz J.R., Castillo M.J. Physical activity, physical fitness, and overweight in children and adolescents: Evidence from epidemiologic studies. *Endocrinol. Nutr.*, 2013, no. 60, pp. 458-469.

5. Zvereva M.V., Bobkov G.S., Fedorova E.Yu., Bobkova S.N. Assessment of the cardiac activity of young people against the background of educational stress. *Journal of VolgSMU*, 2021, no. 3 (79), pp. 116-118. (in Russ.)

6. Bobkov G.S., Zvereva M.V., Bobkova S.N. Features of the cardiac activity regulation in adolescent boys in conditions of distance learning. *Modern Issues of Biomedicine*, 2021, vol. 5, no. 4(17). DOI: 10.51871/2588-0500\_2021\_05\_04\_14 (in Russ.)

7. Baevskij R.M., Ivanov G. G., Chireykin L.V., Dovgalevskij P.Ya., Kukushkin Yu.A., Mironova T.F., Prilutskij D.A., Semenov A.V., Fedorov V.F., Fleishman A.N., Medvedev M.M., Chireykin L.V. The heart rate variability analysis with various electrocardiographic systems: guidelines. *Journal of Arrhythmology*, 2001, no. 24, pp. 65-83. (in Russ.)

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_5  
УДК 612.821

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_5  
UDC 612.821

## ОСОБЕННОСТИ СОЗРЕВАНИЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЙ СФЕРЫ ЖИВОТНЫХ, ПОДВЕРГАВШИХСЯ СОЦИАЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В РАННЕМ ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНЫХ БИОМЕДИЦИНСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Д.С. Громова<sup>1</sup>, В.И. Беляков<sup>1,2</sup>, С.И. Павленко<sup>1,2</sup>, Н.Р. Попова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Самара, Россия

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара, Россия

<sup>3</sup>Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской Академии Наук, г. Пущино, Россия

**Аннотация.** На основании проведённых исследований в статье рассматриваются основные вопросы, связанные со спецификой некоторых психофизиологических функций после социальной изоляции в раннем постнатальном онтогенезе. Обсуждаются возможные механизмы, лежащие в основе некоторых патологий и нарушений адаптационного потенциала, вызванные изоляцией. Цель настоящего обзора – изучить в модельном эксперименте особенности формирования психоэмоциональной сферы и динамику поведенческих реакций животных, подвергавшихся социальной изоляции в раннем постнатальном онтогенезе. **Ключевые слова:** социальная изоляция, стресс раннего периода жизни, психоэмоциональная сфера, двигательная активность, онтогенез, целостное поведение.

## FEATURES OF THE PSYCHOEMOTIONAL MATURATION OF ANIMALS EXPOSED TO SOCIAL ISOLATION IN EARLY POSTNATAL ONTOGENY: MODEL BIOMEDICAL RESEARCH RESULTS

D.S. Gromova<sup>1</sup>, V.I. Belyakov<sup>1,2</sup>, S.I. Pavlenko<sup>1,2</sup>, N.R. Popova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Samara State Medical University, Samara, Russia

<sup>2</sup>Samara University, Samara, Russia

<sup>3</sup>Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

**Annotation.** On the basis of the conducted research, the article deals with the main issues related to the specifics of some psychophysiological functions after social isolation in early postnatal ontogeny. The authors have discussed possible mechanisms underlying some pathologies and disorders of adaptive capacity caused by isolation. The purpose of this review is to study in a model experiment the features of the psychoemotional formation and the dynamics of behavioral reactions in animals subjected to social isolation in early postnatal ontogeny.

**Keywords:** social isolation, early life stress, psychoemotional field, motor activity, ontogeny, holistic behavior.

**Введение.** Патопсихологические состояния зачастую являются результатом неправильного развития нервной системы, вызванного эпигенетическими нарушениями в раннем онтогенезе под влиянием авersive событий разного характера [1]. Одним из наиболее значимых травмирующих факторов, запускающих развитие психоэмоционального стресса, является

социальная изоляция. Отсутствие социального общения на разных этапах жизни ведет к нарушению нормального онтогенеза, что приводит к абнормальному поведению – агрессивности, тревожно-депрессивным расстройствам, фобиям и пр. [2-4]. Эпигенетические нарушения уже в раннем периоде проявляются целым рядом изменений, в первую очередь касающихся

дисфункции гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, а также затрагивающих поведенческую сферу, что ведёт к нарушениям эмоционально-мотивационной сферы [5].

Одной из наиболее удобных моделей, использующей лабораторных животных для изучения влияния социальной изоляции на развитие нервной системы и психофизиологические функции, является модель отлучения новорожденных животных от матери в первые дни жизни. Однако большинство исследований в данной области касаются изучения отсроченных эффектов депривации на взрослый организм и практически не рассматривают возрастные особенности становления психических функций и динамику изменения поведения у молодых животных.

Цель нашего исследования: изучить в модельном эксперименте особенности формирования психоэмоциональной сферы и динамику поведенческих реакций животных, подвергавшихся социальной изоляции в раннем постнатальном онтогенезе.

**Методы и организация исследования.** Исследование проводилось на нелинейных новорожденных крысах обоего пола. Формировали две группы животных: первая – контрольная ( $n=6$ ), которая на протяжении всего исследования оставалась интактной, вторая – экспериментальная ( $n=9$ ) – подвергалась стрессу раннего периода жизни. Для моделирования стресса раннего периода жизни использовали стандартный протокол отлучения потомства от матери [6-7]. Животные экспериментальной группы отлучались от матери ежедневно на три часа в одно и то же время со 2 по 12 день постнатального периода. Выборка для каждой группы формировалась из потомства грызунов от двух родительских пар, т.к. подобрать новорожденных животных по фенотипу не представляется возможным.

На 10-й день жизни животных обеих групп тестировали по методике «Выход из круга» для оценки степени сформированности двигательных навыков. Крысёнка помещали в центр круга диаметром 15 см, а

затем отмечали время, за которое он всеми четырьмя лапами пересечёт границу круга.

На 26-ой день жизни всех животных тестировали в чёрно-белой камере по стандартной методике для оценки психоэмоционального состояния и уровня тревожности [8].

На 40-е сутки после рождения использовали тест «Потребление сахарозы» для оценки эмоционального состояния грызунов [8-9].

Полученные данные обрабатывали с помощью статистической программы SigmaPlot12.0. Различия считались достоверными при  $p \leq 0,05$ .

На протяжении всего исследования животные содержались в стандартных условиях вивария, при неограниченном доступе к воде и пище. Все исследования выполнены с учётом правил лабораторной практики в РФ (РФ ГОСТ Р53434-2009, принципы надлежащей лабораторной практики, 2010) и директив Европейской Конвенции по защите позвоночных животных (Страсбург, 1986).

**Результаты исследования и их обсуждение.** Перед началом исследования все новорожденные животные были осмотрены и взвешены.

Изучение двигательных навыков в тесте «Выход из круга» показало, что в контрольной группе наблюдалось более быстрое морфофункциональное созревание нервных центров, ответственных за реализацию движения на всех уровнях центральной нервной системы. Так, животные из группы контроля затрачивали достоверно меньше времени ( $66,89 \pm 30,89$ ;  $p \leq 0,028$ ) на пересечение границ круга по сравнению с животными экспериментальной группы ( $113,33 \pm 4,22$ ). Вероятно, такие особенности можно объяснить изменением активности дофаминергической системы у животных-изолянтов. Данные литературы в отношении влияния ранней социальной изоляции на уровень дофамина в нервной системе весьма противоречивы. Ряд авторов заявляют о повышении уровня внеклеточного дофамина при социальной изоляции, другие



приводят данные об отсутствии каких-либо изменений в синтезе данного моноамина, правда у взрослых животных. Однако стоит заметить, что в открытых источниках практически не встречаются данные о процессах созревания и становления дофаминергической системы в условиях социальной изоляции, в то время как полученные нами

данные дают все основания полагать, что депривация от матери новорожденных животных может способствовать смещению нормальных сроков развития дофаминергической и других нейромедиаторных систем мозга. Результаты тестирования животных обеих групп представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты тестирования животных на 10-е сутки жизни с использованием методики «Выход из круга»

Группа	Время выхода за пределы круга всеми четырьмя лапами, с
Контрольная	66,89±30,89
Экспериментальная	113,33±4,22

Изучение поведения животных в чёрно-белой камере также выявило значительные отличия между двумя группами. Животные контрольной группы достоверно больше времени проводили в светлом отсеке камеры (76,83±20,56;  $p \leq 0,004$ ). В то же время животные, подвергавшиеся социальной изоляции, предпочитали нахождение в тёмной части тестовой площадки и практически не выходили в светлый рукав (8,60±3,97). Кроме того, в условиях тестовой площадки отмечался крайне низкий уровень двигательной активности у животных-изолянтов (0,8±0,37;  $p \leq 0,004$ ) по сравнению с интактными грызунами (10,67±3,42), что было продемонстрировано в количестве подъёмов на задние лапы в светлом отсеке поля. У животных контрольной группы отмечалось меньшее число оценок «риска» (4,83±0,91;  $p \leq 0,04$ ) и большее число переходов между отсеками (9,50±1,84;  $p \leq 0,031$ ) в сравнении с экспериментальными

животными (6,40±1,63 и 3,80±1,02 соответственно). Данная стратегия поведения свидетельствует о высоком уровне тревожности у животных экспериментальной группы и вероятно указывает на дисфункциональное развитие серотонинергической системы мозга. Установлено, что социальная изоляция уменьшает транскрипцию генов всех постсинаптических 5HT-рецепторов в гипоталамусе и среднем мозге и уровень серотонина в гиппокампе. Также тенденция к уменьшению серотонина наблюдается во фронтальной коре. Можно предположить, что повышенный уровень тревожности может быть связан с повышением активности гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы, что приводит к общему развитию тревоги и избеганию новых стимулов. Результаты тестирования животных обеих групп представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты тестирования животных на 26-е сутки жизни с использованием методики «Чёрно-белая камера»

Группа	Заходы в тёмный отсек, шт	Время в светлом отсеке, с	Стойки в светлом отсеке, шт	Оценка «рисков», шт	Количество переходов между отсеками, шт
Контрольная	5,33±0,99	76,83±20,56	10,67±3,42	4,83±0,91	9,50±1,84
Экспериментальная	2,40±0,51	8,60±3,97	0,8±0,37	6,4±1,63	3,80±1,02

Весьма неожиданные результаты были получены в тесте «Потребление сахарозы». Несмотря на явно выраженные нарушения в психоэмоциональном состоянии животных, подвергавшихся социальной изоляции, ими не были продемонстрированы признаки депрессивноподобных состояний. Количество потреблённого в тесте раствора сахарозы было весьма незначительным ( $0,5 \pm 0,35$ ;  $p \leq 0,022$ ) и достоверно ниже объёма, выпитого контрольной группой ( $2,67 \pm 0,57$ ). Полученные данные указывают о неоднозначности изменений в функционировании моноаминергических систем, вызванных социальной изоляцией.

Дисфункция как дофаминергической, так и серотонинергической и норадренергической систем у животных экспериментальной группы не вызывает сомнений, однако нельзя говорить об однозначном снижении биосинтеза моноаминов в мозге. Вероятно, нарушения психоэмоционального статуса животных вызваны скорее не тотальным снижением уровня моноаминов, особенно серотонина (как это бывает при развитии депрессии), а нарушением общего баланса нейротрансмиттеров в мозге. Результаты тестирования животных обеих групп представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты тестирования животных на 40-е сутки жизни с использованием методики «Потребление сахарозы»

Группа	Объём выпитого раствора, мл
Контрольная	$2,67 \pm 0,57$
Экспериментальная	$0,5 \pm 0,35$

Предполагается, что ключевые изменения в ответ на социальную изоляцию касаются нарушения формирования нервных связей в раннем онтогенезе, обеспечивающих контроль над эмоциональными и моторными реакциями со стороны лимбической системы и висцеральной коры, включающей инфраламбические и прелимбические отделы медиальной префронтальной коры, а также кору островка [4]. Кроме того, в раннем онтогенезе социальная изоляция способна вызвать куда более значимые изменения в работе гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, что проявляется в повышении кортикостерона, который модулирует эмоциональные и поведенческие паттерны посредством связывания с собственными мозговыми рецепторами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупина, Н. А. Ранняя социальная изоляция увеличивает агрессивность и нарушает кратковременное привыкание у крыс / Н. А. Крупина, Н. Н. Хлебникова, И. Н. Орлова // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2015. – № 4. – С. 4-15.

**Заключение.** В настоящее время вопросы, связанные с изучением отдельных компонентов и целостного сложного поведения после стресса раннего периода жизни, вызванного социальной изоляцией, являются одними из приоритетных. Рост клинических патологий, связанных с нарушением психоэмоциональной сферы, механизмами адаптации и саморегуляции, делает данные исследования одними из наиболее приоритетных. Требуется доскональное изучение психофизиологических и нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе психопатологий, вызванных социальной изоляцией. Важными являются изучение нейрогенеза на всех возрастных этапах и установление наиболее чувствительных к повреждающим факторам процессов.

2. Григорьян, Г. А. Влияние социальной изоляции на развитие тревожного и депрессивно-подобного поведения в модельных экспериментах на животных / Г. А. Григорьян, И. В. Павлова, М. И. Зайченко // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. – 2021. – № 6. – С. 769-793.

3. Harro, J. Animal models of depression: pros and cons / J. Harro // *Cell Tissue Res.* – 2019. – № 377 (1). – pp. 5-20. DOI: 10.1007/s00441-018-2973-0.
  4. Kosel, F. Behavioural and psychological symptoms of dementia in mouse models of Alzheimer's disease-related pathology / F. Kosel, J. M. S. Pelley, T. B. Franklin // *Neurosci Biobehav Rev.* – 2020. – № 112. – pp. 634-647. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2020.02.012.
  5. Kumar, A. Neuropathic pain models caused by damage to central or peripheral nervous system / A. Kumar, H. Kaur, A. Singh // *Pharmacological Reports.* – 2018. – Vol. 70. – pp. 206-216. DOI: 10.1016/j.pharep.2017.09.009.
  6. Громова, Д. С. Влияние стресса раннего периода жизни на поведенческие реакции крыс в тесте «открытое поле» / Д. С. Громова, В. И. Беляков, С. И. Павленко // В книге: Естественнонаучные основы медико-биологических знаний. Материалы III Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием. Редколлегия: Т. Г. Авачева [и др.]. Рязань, 2021. – С. 50-51.
  7. Стресс раннего периода жизни: последствия для развития головного мозга / Малиновская Н. А., Моргун А. В., Лопатина О. Л. [и др.] // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова.* – 2016. – №6. – С. 643-668.
  8. Современные методы изучения поведения грызунов в модельных биомедицинских исследованиях (обзор проблемы) / В. И. Беляков, Д. С. Громова, Н. Р. Попова, Ю. В. Мякишева // *Современные вопросы биомедицины.* – 2022. – № 4. – С. 13-22.
  9. Лабораторные крысы: содержание, разведение и биоэтические аспекты использования в экспериментах по физиологии поведения: учебное пособие / Беляков В. И., Инюшкина Е. М., Громова Д. С. [и др.]. – Самара: Издательство Самарского университета, 2021. – 96 с.
- REFERENCES**
1. Krupina N.A., Khlebnikova N.N., Orlova I.N. Early social isolation increases aggression and impairs a short-term habituation in acoustic startle reflex in rats. *Pathological physiology and experimental therapy*, 2015, no. 4. pp. 4-15. (in Russ.)
  2. Grigor'yan G.A., Pavlova I.V., Zajchenko M.I. Influence of social isolation on development of anxious and depressive-like behavior in experimental animal models. *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, 2021, no. 6, pp. 769-793. (in Russ.)
  3. Harro J. Animal models of depression: pros and cons. *Cell Tissue Res*, 2019, no. 377 (1), pp. 5-20. DOI: 10.1007/s00441-018-2973-0.
  4. Kosel F., Pelley J.M.S., Franklin T.B. Behavioural and psychological symptoms of dementia in mouse models of Alzheimer's disease-related pathology. *Neurosci Biobehav Rev*, 2020, no. 112, pp. 634-647. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2020.02.012.
  5. Kumar A., Kaur H., Singh A. Neuropathic pain models caused by damage to central or peripheral nervous system. *Pharmacological Reports*, 2018, vol. 70, pp. 206-216. DOI: 10.1016/j.pharep.2017.09.009.
  6. Gromova D.S., Belyakov V.I., Pavlenko S.I. Influence of early life stress of behavioral responses in rats in the open field test. From the book: Natural Science Foundations of Biomedical Knowledge. Materials of the III All-Russian Conference of Students and Young Scientists with International Participation. Editorial Board: T.G. Avacheva et al. Ryazan, 2021. pp. 50-51. (in Russ.)
  7. Malinovskaya N.A., Morgun A.V., Lopatina O.L., Panina Yu.A., Volkova V.V., Gasymlly E.D., Taranushenko T.E., Salmina A.B. Early life stress: implications for brain development. *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, 2016, no. 6, pp. 643-668. (in Russ.)
  8. Belyakov V.I., Gromova D.S., Popova N.R., Myakisheva Yu.V. Modern methods for studying rodent behavior in model biomedical studies (problem review). *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 4. DOI: 10.51871/2588-0500.2022.06.04.1. (in Russ.)
  9. Belyakov V.I., Inyushkina E.M., Gromova D.S., Inyushkin A.N. Laboratory rats: management, breeding and bioethical aspects to use in experiments on the behavior physiology: a textbook: Samara University Publishing House, 2021. 93 p. (in Russ.)

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Дарья Сергеевна Громова** – старший преподаватель кафедры общей и молекулярной биологии ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, Самара, e-mail: d.s.gromova@samsmu.ru.

**Владимир Иванович Беляков** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физиологии с курсом безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; доцент кафедры физиологии

человека и животных ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», Самара, e-mail: vladbelakov@mail.ru.

**Снежанна Ивановна Павленко** – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии с курсом безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; доцент кафедры физиологии человека и животных ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», Самара, e-mail: pavlenko.snezhanna@mail.ru.

**Нелли Рустамовна Попова** – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией изотопных исследований, Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской Академии Наук, Пущино, e-mail: nellipopovaran@gmail.com.

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Daria Sergeevna Gromova** – Senior Lecturer of the Department of General and Molecular Biology, Samara State Medical University, Samara, e-mail: d.s.gromova@samsmu.ru.

**Vladimir Ivanovich Belyakov** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology with the Life Safety and Emergency Medicine Course, Samara State Medical University; Associate Professor of the Department of Human and Animal Physiology, Samara University, e-mail: vladbelakov@mail.ru.

**Snezhanna Ivanovna Pavlenko** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology with the Life Safety and Emergency Medicine Course, Samara State Medical University; Associate Professor of the Department of Human and Animal Physiology, Samara University, e-mail: pavlenko.snezhanna@mail.ru.

**Nelli Rustamovna Popova** – Candidate of Biological Sciences, Head of the Isotope Study Laboratory, Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, e-mail: nellipopovaran@gmail.com.

**Для цитирования:** Особенности созревания психоэмоциональной сферы животных, подвергавшихся социальной изоляции в раннем постнатальном онтогенезе: результаты модельных биомедицинских исследований / Д. С. Громова, В. И. Беляков, С. И. Павленко, Н. Р. Попова // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_5

**For citation:** Gromova D.S., Belyakov V.I., Pavlenko S.I., Popova N.R. Features of the psychoemotional maturation of animals exposed to social isolation in early postnatal ontogeny: model biomedical research results. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_5

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_6  
УДК 616.8

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_6  
UDC 616.8

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕЛКОВ, ЯВЛЯЮЩИХСЯ МАРКЕРАМИ НЕЙРОВОСПАЛЕНИЯ, ДЛЯ ОЦЕНКИ КОГНИТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТЕЙ

В.Л. Ефимова<sup>1</sup>, Е.И. Николаева<sup>1</sup>, Н.В. Коньшина<sup>2</sup>, Г.С. Голосная<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Детская неврологическая клиника «Прогноз», г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко, г. Воронеж, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментального исследования, целью которого было уточнение возможной роли нейронспецифической енолазы (NSE) и белка S100 в патогенезе расстройства аутистического спектра и нарушений языкового развития у детей. Изучались образцы крови 106 детей 5-13 лет, 85 из них имели диагноз «аутизм» или «тяжелые нарушения языкового развития». Связь между тяжестью нарушений развития и уровнем NSE и S100 не выявлена. Установлено, что у нейротипичных детей также может быть повышен уровень нейронспецифических белков. Нейронспецифические белки могут играть различные роли на разных этапах онтогенеза, в том числе участвовать в апоптозе и синаптическом прунинге. У детей с нарушениями развития могут быть значительно сдвинуты во времени критические периоды развития. Можно предположить, что повышение уровня нейронспецифических белков в этом случае не является признаком нейровоспаления.

**Ключевые слова:** нейровоспаление, расстройство аутистического спектра, NSE, S100, нейронспецифическая енолаза, дети.

## POSSIBILITY OF USING PROTEINS AS NEUROINFLAMMATION MARKERS TO EVALUATE COGNITIVE STATE OF CHILDREN

V.L. Efimova<sup>1</sup>, E.I. Nikolaeva<sup>1</sup>, N.V. Kon'shina<sup>2</sup>, G.S. Golosnaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Herzen University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Children's Neurological Clinic "Prognoz", St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, Russia

**Annotation.** The article presents the results of an experimental study aimed at clarifying the possible role of neuron-specific enolase (NSE) and S100 protein in the pathogenesis of autism spectrum disorder and language development disorders in children. Blood samples of 106 children aged 5-13 years were studied, 85 of them were diagnosed with autism or severe language development disorders. The association of the severity of developmental disorders and the level of NSE and S100 has not been revealed. It was found that neurotypical children may also have increased levels of neuron-specific proteins. Neuron-specific proteins can play various roles at different stages of ontogenesis, including participating in apoptosis and synaptic pruning. In children with developmental disorders, critical periods of development can be significantly shifted. It can be assumed that an increase in the level of neuron-specific proteins in this case is not a sign of neuroinflammation.

**Keywords:** neuroinflammation, autism spectrum disorder, NSE, S100, neuron-specific enolase, children.

**Введение.** Современная наука направляет особое внимание на прогностические факторы, позволяющие объяснять состояние ребенка и планировать индивидуальный

маршрут его будущего развития. В последние годы вырос интерес исследователей к определению в сыворотке крови и cerebrospinalной жидкости концентрации

различных нейроспецифических белков (далее – НСБ) в качестве маркеров нейродегенеративных и нейровоспалительных процессов. НСБ – это белки, которые являются тканеспецифическими для нервной системы и гистогенетически относятся к нейроэпителиальной ткани, т.е. нейронам и глиальным компонентам нервной системы. В настоящее время идентифицировано более 30 НСБ, которые находятся в сложном взаимодействии друг с другом [1].

В норме НСБ присутствуют в сыворотке крови в низких концентрациях из-за гибели нейронов, которая может происходить по естественным причинам и/или в результате патологических процессов. Поэтому повышение концентрации НСБ часто рассматривается в качестве маркера различных патологических состояний мозга взрослых и детей, среди которых эпилепсия, черепно-мозговые травмы, последствия гипоксии, аутизм, болезнь Паркинсона и др. [2].

Среди НСБ наиболее изученными и адекватно характеризующими мембранные функции гематоэнцефалического барьера (ГЭБ) являются NSE (нейронспецифическая енолаза) и белок S100, которые в настоящее время применяются для диагностики острых состояний, характеризующихся церебральной ишемией и гипоксией мозга, а также для изучения патогенеза неврологических заболеваний, протекающих с нарушением функции ГЭБ [3].

Существуют гипотезы, что причиной многих нарушений развития у детей, таких как расстройство аутистического спектра (РАС), синдром дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ), нарушений речи являются нейровоспаление и повышенная проницаемость ГЭБ, маркером этих состояний также считают повышенную концентрацию NSE и S100. Однако многие вопросы остаются недостаточно изученными, так как исследования о роли НСБ в основном проводились на недоношенных младенцах с гипоксически-ишемическими поражениями, взрослых с черепно-мозговыми травмами или нейродегенеративными

заболеваниями, пациентах с менингитом и энцефалитом, то есть в тех случаях, когда очевидно присутствовало острое поражение ткани мозга. Не приводилась оценка динамики концентрации в крови НСБ у детей во время критических периодов развития мозга, когда апоптоз и синаптический прунинг являются неотъемлемой частью развития мозга. Стоит учитывать, что корректировка состава мозгового вещества в процессе раннего развития состоит именно в том, что наряду с процессами создания связей и синапсов активно действует процесс уничтожения неэффективных связей и редко активирующихся синапсов. Более того, ребенок рождается с избыточным количеством нейронов, и активность глии состоит в том числе и в анализе активности нейрона [4-5].

Нейроны, не создавшие определенное число связей, подлежат апоптозу. Проблема состоит в том, что у детей с особенностями развития процессы прунинга, миелинизации и плановой гибели нейронов могут быть сдвинуты во времени, что предполагает возможность ошибочной оценки наличия у ребенка воспалительного процесса. Подобный ошибочный подход может привести специалиста к мнению, что с ребенком не стоит проводить реабилитационных когнитивных занятий, пока вещества, считающиеся маркерами воспаления, представлены в крови. Тогда на замедление развития, которое уже есть у ребенка, будет накладываться замедление оказания ему помощи [6-7].

Все это предопределило цели исследования:

1. Анализ научной литературы о связи НСБ и нарушений развития у детей.
2. Экспериментальное исследование для уточнения возможной роли NSE и S100 в патогенезе расстройства аутистического спектра (РАС) и тяжелых нарушений языкового развития.

**Методы и организация исследования.** В исследовании участвовали 106 детей. В экспериментальную группу вошли 85 соматически здоровых детей 5-13 лет

(65 мальчиков и 20 девочек) с нарушениями развития. Группа сравнения состояла из 21 соматически здорового ребенка 6-17 лет без нарушений развития (11 мальчиков и 10 девочек).

Критерии включения в экспериментальную группу: наличие одного из диагнозов, установленных психиатром по МКБ-10, F.80 (специфическое расстройство языкового развития) или F.84 (детский аутизм). В исследование не включались дети с соматическими заболеваниями, с клиническими проявлениями инфекционных и хронических воспалительных заболеваний.

Анализ венозной крови для определения концентрации НСБ (NSE, S100) проводился по назначению врача, использовался стандартный протокол. Забор крови для исследования производили утром натощак. Анализ NSE в сыворотке крови осуществлялся методом электрохемилюминесцентного иммуноанализа с использованием анализатора Cobas e601(Roche). Анализ S100 в сыворотке крови проводился методом электрохемилюминесцентного иммуноанализа с использованием анализатора Cobas e601(Roche). Аналитическая чувствительность –  $<0,005$  мкг/л. Нормальными показателями значений S100 считались показатели: 2-3 года –  $<0,17$  мкг/л, 3-14 лет –  $<0,15$  мкг/л, старше 14 лет –  $<0,105$  мкг/л. Нормальные показатели значений NSE –  $<17,0$  нг/мл (согласно референсным значениям лаборатории ИНВИТРО).

Так как в экспериментальную группу вошли дети с уже установленными психиатром тяжелыми нарушениями развития, для данного исследования была использована упрощенная балльная оценка когнитивных и языковых навыков (модифицированный вариант листа оценки поведения, который используется логопедами клиники «Прогноз» при составлении реабилитационного маршрута). Балльная оценка проводилась одним и тем же логопедом в процессе динамического наблюдения до и после курса реабилитации. Оценка речевой

функции: не использует для общения речь – 0 баллов; в речи до 5 слов – 1 балл; в речи до 10 слов – 2 балла; в речи более 10 слов – 3 балла; использует для общения фразы из двух слов – 4 балла; использует для общения фразы, в которых более двух слов – 5 баллов. Оценка понимания речи: не выполняет просьбы – 0 баллов; выполняет просьбы, которые сопровождаются жестом – 1 балл; выполняет просьбы без сопровождения жеста – 2 балла. Оценка способности концентрироваться на заданиях: не сидит на месте – 0 баллов; удерживает внимание на задании до 5 минут – 1 балл; удерживает внимание на задании до 10 мин – 2 балла; удерживает внимание на задании более 20 минут – 3 балла.

Родители подписывали информированное согласие на участие в исследовании. Работа одобрена этическим комитетом.

Результаты исследования вводились в программу SPSS-21, с помощью которой проводилась математическая обработка данных. В работе были использованы два типа анализа: множественный пошаговый регрессионный и факторный.

Множественный регрессионный анализ позволяет оценить степень влияния переменных-предикторов на изучаемую переменную, построить модель данного влияния и осуществить прогноз изменения переменной. Эффективность модели оценивалась с помощью критерия Дарбин-Уотсона, степень влияния переменных на исследуемую переменную – с помощью критерия Фишера (F-тест). Коэффициент В в полученном уравнении множественной регрессии обозначал степень влияния каждой переменной-предиктора на изучаемую переменную, коэффициент множественной корреляции (R) отражает связь совокупности предикторов с изучаемой переменной, квадрат коэффициента множественной корреляции – коэффициент детерминации ( $R^2$ ) – равен доли дисперсии изучаемой переменной, объясненной изменением совокупности независимых переменных (предикторов).

Факторный анализ был использован для выявления латентных обобщающих характеристик структуры изучаемых параметров. Был использован метод главных компонент с варимакс-вращением. В качестве критерия адекватности выборки использовался критерий Кайзера-Мейера-Олкина, для проверки гипотезы о том, что переменные в генеральной совокупности не коррелируют между собой – критерий сферичности Бартлетта.

**Результаты исследования и их обсуждение.** На первом этапе анализировали показатели NSE и S100 у детей с нарушениями развития до и после интенсивного курса коррекционных занятий.

Далее был проведен пошаговый линейный регрессионный анализ, в котором зависимой переменной сначала был уровень NSE, затем – уровень S100. Поскольку связи между показателями и уровнем S100 получено не было, то далее приводят данные только для уровня NSE. В качестве независимых переменных (предикторов) выступили все изучаемые показатели. Была получена модель (табл. 1), в которой уровень NSE определялся только тремя показателями-предикторами из рассмотренных: возрастом ребенка, усидчивостью после курса занятий и речью до курса занятий.

Таблица 1

Модель взаимосвязи уровня нейронспецифической енолазы с тремя переменными-предикторами (возраст ребенка, усидчивость после курса занятий, речь до курса занятий)

Коэффициент множественной корреляции (R)	Коэффициент детерминации, равный доли дисперсии NSE, зависящей от изменения трех переменных (R <sup>2</sup> )	Коэффициент Дарбин-Уотсона
0,523	0,273	1,774

Из таблицы 1 видно, что критерий Дарбин-Уотсона свидетельствует о возможности применения полученной модели, направленной на предсказание уровня NSE по значениям изучаемых показателей-предикторов (возраст ребенка, усидчивость после курса занятий, речь до курса занятий). Коэффициент множественной корреляции 0,523 свидетельствует об очень высокой взаимосвязи между предикторами и уровнем NSE. Коэффициент детерминации свидетельствует о том, что 27,3% изменения уровня NSE определяется изменением трех показателей-предикторов.

В таблице 2 представлен вес каждой переменной-предиктора во влиянии на

уровень NSE. Из таблицы 2 видно, что наибольшее влияние связано с усидчивостью ребенка после курса занятий. Отрицательное значение коэффициента регрессии В свидетельствует об этом. Такая же отрицательная связь, но с меньшим весом (В=-0835) отмечена и для возраста: чем выше уровень NSE, тем младше был ребенок; и для речи до занятий: речь тем хуже, чем выше уровень NSE. Следовательно, основным показателем, связанным с уровнем NSE, можно считать возраст ребенка (чем он старше, тем меньше уровень NSE), поскольку два других параметра – речь и усидчивость – также напрямую связаны с возрастом.

Таблица 2

Коэффициенты и уровни значимости для переменных предикторов, влияющих на уровень нейронспецифической енолазы

Предиктор	Коэффициент В	P<
усидчивость после курса занятия	-4,960	0,000
возраст	-0,835	0,002
речь до курса занятий	-0,925	0,008



Поскольку только три переменных вошли как предикторы в модель, полученную с помощью множественного пошагового регрессионного анализа, был проведен факторный анализ, с помощью которого можно представить структуру связей между всеми переменными. В таблице 3 представлены результаты факторного анализа.

Факторный анализ (4-х факторное решение, процент объясненной дисперсии 74,1%) свидетельствует о наличии связи уровня NSE с возрастом, тогда как когнитивные процессы в значительной мере коррелировали между собой, что вполне предсказуемо.

Таблица 3

Распределение переменных по факторам в факторном анализе

Переменные	Компонентам			
	1	2	3	4
речь после курса занятий	0,930	0,076	-0,042	0,021
речь до курса занятий	0,922	0,057	-0,235	0,023
понимание речи после курса занятий	0,845	-0,041	-0,056	0,113
усидчивость после курса занятий	0,786	0,379	0,174	-0,207
понимание речи до курса занятий	0,770	0,044	-0,413	-0,043
уровень NSE	-0,052	-0,835	-0,067	0,211
возраст	0,164	0,698	-0,193	0,186
интенсивность изменений после курса занятий	-0,146	-0,067	0,928	0,109
эпиактивность	0,023	0,124	-0,061	0,862
уровень S100	-0,053	-0,172	0,180	0,431

Из таблицы 3 видно, что первый фактор включает все когнитивные параметры, кроме интенсивности изменений после курса занятий, но с разными весами. Уровень NSE связан только с возрастом: чем старше ребенок, тем ниже уровень фермента. Оценка совокупных баллов изменений усидчивости, понимания и речи до и после курса занятий не зависит от NSE и объясняется факторами, которые не вошли в экспериментальное исследование. Эпиактивность слабо связана с уровнем S100, концентрация которого не связана ни с одним из изучаемых параметров.

Далее были проанализированы результаты оценки концентрации NSE у детей без нарушений развития. Из 19 детей и подростков, которые участвовали в исследовании, показатели концентрации NSE менее 17 нг/мл были только у 10 испытуемых. Таким образом, если исходить из принятых в настоящее время референсных показателей, то повышенный уровень NSE часто выявляется и у детей без нарушений развития. В нашей выборке это чаще были дети

младшего школьного возраста, которые профессионально занимаются спортом.

Была проведена оценка связи показателей NSE с возрастом для этой группы детей. Как показано на рисунке, выявлена обратная связь между возрастом и показателями NSE – у детей без нарушений развития эти показатели могут быть повышены в дошкольном возрасте, далее наблюдается их тенденция к их снижению.

Зависимость показателей NSE от возраста (чем младше, тем выше уровень) мы получили и для детей экспериментальной группы согласно результатам линейного регрессионного анализа.

Известно, что концентрация НСБ в сыворотке крови и других жидкостях организма может повышаться в результате травм и острых инфекционных заболеваний. Показано, что повышенная концентрация NSE связана с ишемией, гипоксией и различными метаболическими, пролиферативными, воспалительными, аутоиммунными и нейродегенеративными заболеваниями у взрослых [8-10].

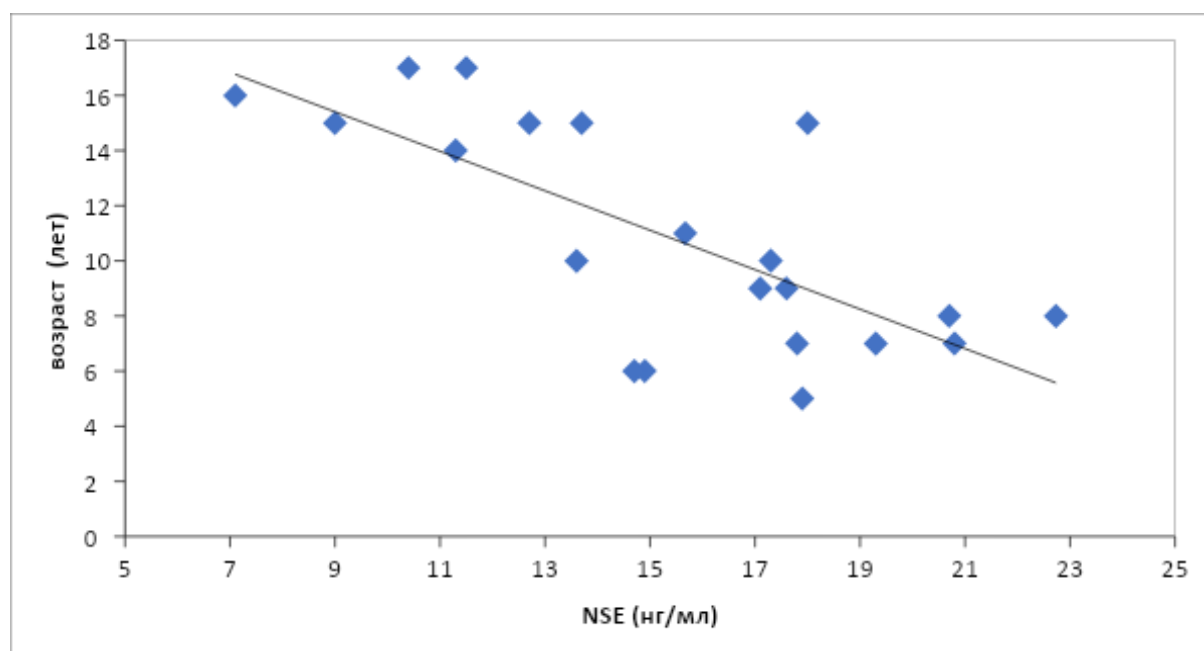


Рис. Зависимость показателей нейронспецифической енолазы от возраста у детей без нарушений развития и соматических заболеваний

Примечание: по горизонтали показатели нейронспецифической енолазы (NSE, нг/мл), по вертикали – возраст испытуемых (лет). Достоверность корреляционной связи посчитана с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена

Есть работы, подтверждающие повышение концентрации S100 при депрессии у взрослых пациентов [11].

Данные о повышенной концентрации НСБ у взрослых и у детей с черепно-мозговыми травмами согласуются [12].

Есть ряд работ, в которых показано повышение НСБ у детей с клещевым энцефалитом. По мнению авторов, повышение показателей NSE указывало на проницаемость ГЭБ [13].

Сейчас широко изучается роль НСБ в возникновении нарушений развития у детей. Наиболее изученными являются показатели в первые дни жизни у детей с отягощенным акушерским анамнезом – недоношенных, новорожденных с гипоксически-ишемическими поражениями нервной системы. Было установлено, что у новорожденных с гипоксическим поражением мозга уровень S100 значительно повышен в первые 72 часа жизни, затем концентрация начинает снижаться. После 14 суток жизни S100 не имеет ценности как маркер острой фазы повреждения мозга. Выявлено, что более высокие показатели

S100 наблюдаются у новорожденных с более тяжелыми поражениями мозга, такими как внутримозговые кровоизлияния и перивентрикулярная лейкомаляция. Концентрация НСБ обратно пропорциональна гестационному возрасту: чем менее доношен ребенок, тем выше уровень S100 в первые 72 часа жизни [14-16].

Опубликованы также результаты оценки НСБ у детей с эпилепсией. Большинство таких исследований проводилось при острых эпилептических состояниях – после эпилептического статуса, либо эпилептических приступов, вызванных травмами, кровоизлияниями в головной мозг, либо нейроинфекциями. Одно из таких исследований посвящено изучению НСБ, в том числе NSE и S100 у детей с эпилептическим статусом. В результате обнаружена взаимосвязь между повышением этих маркеров и временем после эпилептического статуса: максимальное повышение отмечалось в первые сутки, постепенное снижение до показателей детей происходило к 10 дню после эпилептического статуса. Следует отметить преобладание повышений НСБ в

группе детей, эпилептический статус которых был обусловлен вирусным энцефалитом. В данном исследовании подтверждается реактивное и временное повышение концентрации данных белков в результате острого повреждения, вызванного нейроинфекцией [17].

Таким образом, ценность определения концентрации НСБ при черепно-мозговых травмах, инфекционных заболеваниях и других острых состояниях у детей и взрослых не вызывает сомнений. Однако представления о том, насколько адекватным является использование измерения концентрации НСБ для прогноза формирования когнитивных функций у детей с онтогенетическими нарушениями развития нервной системы, являются противоречивыми.

В ряде публикаций последних лет обсуждается прогностическая роль НСБ для диагностики РАС. Так, в работе Ayaydin [1] и соавторов изучалось, могут ли NSE, S100 и показатели апоптоза использоваться в качестве диагностических биомаркеров РАС. Показатели измерялись в сыворотке крови у 43 детей 3-12 лет с РАС и 40 здоровых детей соответствующего возраста и пола. Был сделан вывод о том, что показатели детей с РАС отражают усиление апоптоза, повреждение аксонов и глиальных клеток.

Однако в других исследованиях не были выявлены связи между показателями НСБ и аутизмом. В работе Eraslan [18] и соавторов уровень S100 в сыворотке крови определялся у 25 мальчиков с РАС и сравнивался с показателями 27 мальчиков контрольной группы без нарушений развития. Не обнаружено достоверной разницы между группами в уровне S100.

В исследовании Esnafoglu [19] и соавторов участвовали 35 детей с РАС и 31 здоровый ребенок. Существенной разницы между группами в показателях NSE и S100 не выявлено.

Целью исследования Kartalci [17] и соавторов была оценка проницаемости кишечника, уровней пищевых антигенов и антител, воспалительных процессов и

повреждения нейронов у пациентов с РАС. В исследование были включены 35 детей в возрасте от 3 до 12 лет с РАС и 35 здоровых детей. Симптомы, указывающие на проницаемость кишечника, уровни NSE и S100 были сходными в обеих группах: как у детей с РАС, так и у детей без нарушений развития.

Проведенное нами исследование не подтвердило связь показателей NSE и S100 со степенью нарушений речи и поведения в детей с РАС и языковыми нарушениями. По-видимому, при оценке состояния пациентов недостаточно использовать только показатели НСБ. Важно учитывать возраст, состояние ребенка и результаты других видов функциональной диагностики, отражающей качество работы нервной системы. Большое значение также стоит уделять событиям, которые происходили в жизни матери в период вынашивания ребенка и в первые месяцы его жизни, так как эти события могут изменить скоростные характеристики развития нейрональных сетей и привести к активности ферментов, связанных с процессами прунинга и апоптоза в более поздние периоды жизни ребенка.

Выявленная нами связь между показателями NSE и возрастом у детей без нарушений развития может указывать на необходимость изменения референсных показателей для разных возрастных групп.

Существующие данные об этом противоречивы. Есть мнение о том, что содержание NSE в сыворотке крови не должно превышать 13 нг/мл, и этот показатель не зависит от пола и возраста. Однако исследование было посвящено взрослым пациентам [20].

Однако, например, компания «Инвитро» недавно изменила референсные показатели NSE для младенцев, теперь они составляют 50 нг/мл, тогда как нормой для взрослого человека считается концентрация до 17 нг/мл.

По данным других авторов, показатели NSE у детей могут на 3-50% отличаться от показателей взрослых [21].

В работе Berthold и соавторов, опубликованной еще в 1991 году, предлагаются следующие референсные значения для детей в зависимости от возраста: до 3 лет – 20,2 нг/мл, от 3 до 5 лет – 19,1 нг/мл, с 5 до 8 лет – 17,8 нг/мл. [22]. Если применить этот вариант ранжирования данных по возрасту, то в нашем исследовании для группы испытуемых без нарушений развития получаются следующие нормативные показатели: до 3 лет – 22,7 нг/мл, с 3 до 5 лет – 21,5 нг/мл, с 5 до 8 лет – 20,6 нг/мл.

Таким образом, хотя НСБ безусловно являются весьма перспективными показателями работы нервной системы, многие вопросы остаются недостаточно изученными:

1. Какие функции НСБ выполняют в организме человека?

2. Как и когда меняются эти функции в онтогенезе?

3. Можно ли считать, что воспаление всегда оказывает негативное влияние на нейропластичность и обучение?

#### *1. Двойные функции NSE и S100*

NSE – это фермент, который участвует в процессах как нейродегенерации, так и нейропротекции. С одной стороны, он является маркером разрушения нейронов, с другой стороны осуществляет нейротрофическую функцию, участвуя в дифференциации, регенерации и дифференцировке нервных клеток. Известно, что после травмы экспрессия и активность NSE заметно повышаются в нейронах, что указывает на роль фермента в воспалении, возникающем после этих событий. Однако NSE также обладает нейротрофическими свойствами для широкого спектра нейронов ЦНС и необходим для их выживания [23-24].

Помимо нейронов, NSE был обнаружен в нескольких типах глиальных клеток. Недавние исследования показывают, что NSE экспрессируется в микроглии, которая играет дифференцирующую роль как в нейродегенерации, так и в нейропротекции [19].

S100 также выполняет двойные функции, обеспечивая функциональный гомеостаз клеток мозга. Этот белок, находясь в физиологических концентрациях, влияет на уровень связывания ГАМК, норадреналина, дофамина с рецепторами, обладает нейротрофическими свойствами, регулирует нейрогенез. В повышенных концентрациях S100 может стимулировать гибель нейронов [25].

#### *2. Изменение функций НСБ в онтогенезе*

Считается, что уровни NSE снижены в эмбриональном мозге и могут повышаться по мере морфологического и функционального созревания нейронов [26].

NSE также экспрессируется в олигодендроглиальных клетках на различных стадиях их дифференцировки и созревания, но он подавлен во взрослых полностью зрелых клетках [27].

Важно учитывать, что чаще всего исследования НСБ проводятся на животных моделях, функционирование НСБ в организме человека все еще изучено недостаточно. Наиболее изученными группами пациентов являются новорожденные и взрослые люди с черепно-мозговыми травмами, инфекционными заболеваниями, психическими недугами. По-видимому, есть своя специфика функционирования НСБ у детей, и результаты исследования взрослых нельзя полностью переносить на детей [28].

Клиническую значимость для оценки состояния пациентов имеет не только однократное измерение уровня НСБ в сыворотке крови, но и наблюдение за этими показателями в динамике. По этическим причинам достаточно сложно оценить показатели НСБ в динамике у здоровых детей и тем более у детей с РАС, так как даже забор венозной крови у детей с ментальными особенностями является проблематичным. Поэтому возрастная динамика изменений концентрации НСБ на протяжении детства остается недостаточно изученной.

Есть сведения о том, что у здоровых подростков с отягощенным акушерским

анамнезом сохраняется достоверно высокий уровень S100, но при этом не повышается уровень NSE [29].

Повышение S100 выявлено и у подростков без отягощенного акушерского анамнеза. Авторы полагают, что это может быть результатом нейровегетативных дисфункций, характерных для подросткового возраста, из-за которых происходит повреждение клеточных мембран [30].

В человеческом организме одни и те же биохимические механизмы отвечают как за гибель нервных клеток, так и за их защиту. Различные функции актуальны для определенных периодов развития нервной системы. Процессы апоптоза и синаптического прунинга в организме человека пока изучены недостаточно, поэтому их сложно привязать к определенному возрасту ребенка. Возможно определить концентрацию НСБ в тех жидкостях организма, где она в норме должна быть минимальной. Однако повышение этих показателей может оказаться результатом не патологического воспалительного процесса, а апоптоза или синаптического прунинга, то есть запланированной организмом гибели клеток, которая не сопровождается воспалением.

Известно, что в первые годы жизни апоптоз и синаптический прунинг происходят наиболее интенсивно, так как при рождении в мозге ребенка имеется избыточное количество нейронов и неактивных связей между ними. Однако процессы гибели и появления новых нейронов не завершаются в детстве, а продолжают всю жизнь.

В работах Т. Inui [31] показано, что у детей с РАС развитие коннективности происходит нестандартным путем. В первые годы жизни наблюдается гиперконнективность, так как процессы естественной гибели клеток и ненужных синаптических связей не происходят своевременно, критические периоды развития сдвигаются, однако после достижения определенного возраста гиперконнективность сменяется недостаточностью необходимых внутренних связей в мозге в результате

неадекватной сенсорной стимуляции, которая связана с особенностями ребенка.

Таким образом можно предположить, что повышение концентрации НСБ у детей является маркером не воспаления, а запаздывающего цикла апоптоз-прунинг. Это предположение нуждается в дальнейшем изучении.

Связь показателей НСБ с динамикой функционального созревания мозга у детей с нарушениями развития была показана еще в 1980 году [17].

Повышение уровня НСБ у детей может быть связано и с другими факторами, например стрессом [32].

Дети с нарушениями развития, такими как РАС, в большей степени подвергаются ежедневному стрессу из-за дисфункций обработки сенсорной информации, которые являются характерной чертой этого расстройства. Это также может быть причиной частого выявления повышенного уровня НСБ у этой группы детей.

### *3. Роль воспаления в нормальной (физиологической) нейропластичности*

Известно, что иммунные процессы модулируют работу мозга и могут влиять на поведение. Иммунная система выполняет сложную двойную роль в процессах нейропластичности, нейрогенеза и обучения. Показано, что в благоприятных условиях иммунные механизмы положительно активируются экологическими и психологическими стимулами, способствуя обучению. В тех случаях, когда иммунная система избыточно активируется эндогенными стимулами (например, травмой, инсультом, аутоиммунными процессами) или экзогенными факторами (например, психологическими стрессорами), тонкий баланс между различными взаимодействующими компонентами, которые регулируют нормальное функционирование мозга, нарушается. В результате этого снижается продукция нейротрофических факторов, нарушается нейрогенез, что может приводить к трудностям в обучении [33].

Остается открытым вопрос о том, каким образом возможно достоверно определить

адекватность уровня экспрессии конкретного фактора для каждого конкретного ребенка.

**Заключение.** Результаты изучения публикаций о роли НСБ:

- В настоящее время в научной литературе недостаточно данных о том, чтобы на основе определения повышенной концентрации НСБ можно было делать выводы об определяющей роли этого фактора в возникновении трудностей в обучении и поведении ребенка. Опубликованные данные о связи уровней НСБ с уровнем нарушений при РАС и других расстройствах развития у детей противоречивы.

- Изучение НСБ чаще всего проводится на грызунах. Поскольку на генерацию этих веществ оказывают влияние как биологические, так и психологические факторы, закономерности влияния концентрации НСБ на обучение и поведение человека могут не совпадать с результатами, полученными на животных моделях.

Результаты экспериментального исследования:

- Наше экспериментальное исследование показало отсутствие статистически значимой связи между тяжестью проявлений языковых и поведенческих нарушений у детей с концентрацией NSE и S100 в сыворотке крови.

- Показатели НСБ также не связаны статистически с эффективностью интенсивного курса развивающих занятия с детьми.

- Установлено, что у здоровых детей с нейротипичным развитием может быть повышен уровень НСБ. Так как нами и другими авторами выявлена возрастная динамика этих показателей, возможно референсные значения нуждаются в пересмотре.

Общие выводы:

1. Роль НСБ достаточно хорошо изучена на детях первого года жизни с последствиями гипоксически-ишемических поражений мозга и взрослых пациентах

с черепно-мозговыми травмами и различными заболеваниями. Функции НСБ в развитии детей дошкольного и школьного возраста нуждаются в дальнейшем изучении.

2. На разных стадиях онтогенеза человека НСБ могут играть различные роли, в том числе участвовать в апоптозе и синаптическом прунинге. У детей с нарушениями развития, такими как РАС, могут быть значительно сдвинуты во времени критические периоды развития. Можно предположить, что повышение уровня НСБ у части этих детей связано с этим и не является признаком нейровоспаления. Отсутствуют достоверные данные о том, какой уровень концентрации НСБ считается оптимальным для детей дошкольного и школьного возраста с учетом возможных сдвигов критических периодов. Зависимость показателей НСБ от возраста нуждается в дальнейшем изучении.

3. Воспалительные процессы могут играть положительную роль в нейропластичности, нейрогенезе и обучении. На основе только определения уровня НСБ сложно делать выводы о том, что имеет место избыточная активация иммунной системы, оказывающая негативное влияние на обучаемость ребенка. Возможно увеличение концентрации НСБ является признаком активации компенсаторных механизмов, способствующих нейропластичности и обучению.

4. Так как психологические факторы также влияют на уровень НСБ, важно, чтобы взаимодействие с ребенком и занятия не сопровождались стрессом и доставляли удовольствие.

5. Нет опубликованных данных о том, что детям с повышенным уровнем НСБ противопоказаны занятия или программно-аппаратные тренировки, направленные на когнитивное развитие.

6. NSE и S100 не могут использоваться для оценки когнитивного состояния детей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. High Serum Levels of Serum 100 Beta Protein, Neuron-specific Enolase, Tau, Active Caspase-3, M30 and M65 in Children with Autism Spectrum Disorders / Ayaydin H., Kirit A., Çelik H. [et al] // *Clinical psychopharmacology and neuroscience: the official scientific journal of the Korean College of Neuropsychopharmacology*. – 2020. – № 18(2). – pp. 270-278. DOI: <https://doi.org/10.9758/cpn.2020.18.2.270>.
2. Скрипченко, Н. В. Нейронспецифическая енолаза и белок S100 – биомаркеры повреждения головного мозга. Состояние вопроса и клиническое применение / Н. В. Скрипченко, А. С. Широкова // *Нейрохирургия и неврология детского возраста*. – 2016. – № 4. – С. 16-25.
3. Blennow, K. Neuron specific enolase in cerebrospinal fluid: a biochemical marker for neuronal degeneration in dementia disorders / K. Blennow, A. Wallin, R. Ekam // *J. Neurol. Transm.* – 1994. – Vol. 8. – pp. 27-30.
4. Николаева, Е. И. Функциональные роли нейронных сетей в раннем детском возрасте / Е. И. Николаева // *Вопросы психологии*. – 2021. – Т. 67. – № 5. – С. 15-29. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48140848> (дата обращения: 01.20.2023).
5. Разумникова, О. М. Онтогенез тормозного контроля когнитивных функций и поведения: монография / О. М. Разумникова, Е. И. Николаева. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2021. – 159 с.
6. Expression of the neuron-specific enolase gene by rat oligodendroglial cells during their differentiation / Deloulme J. C., Lucas M., Gaber C. [et al] // *J. Neurochem.* – 1996. – № 66. – pp. 936-945. DOI: <https://doi:10.1046/j.1471-4159.1996.66030936.x>.
7. Nikolaeva, E. I. Integration of Vestibular and Auditory Information in Ontogenesis / E. I. Nikolaeva, V. L. Efimova, E. G. Vergunov // *Children*. – 2022. – № 9. – pp. 401. DOI: <https://doi.org/10.3390/children9030401>
8. Alpha-Enolase expressed on the surfaces of monocytes and macrophages induces robust synovial inflammation in rheumatoid arthritis / Bae S., Kim H., Lee N. [et al] // *J. Immunol.* – 2012. – № 189. – pp. 365-372. DOI: <https://doi:10.4049/jimmunol.1102073>.
9. Elevation of neuron-specific enolase and S-100beta protein level in experimental acute spinal cord injury / Cao F., Yang X. F., Liu W. G. [et al] // *J. Clin. Neurosci.* – 2008. – № 15. – pp. 541-544. DOI: <https://doi:10.1016/j.jocn.2007.05.014>.
10. Enolase and acute spinal cord injury / Polcyn R., Capone M., Hossain A. [et al] // *J. Clin. Cell. Immunol.* – 2017. – № 8. – pp. 536. DOI: <https://doi:10.4172/2155-9899.1000536>
11. Morera-Fumero, A. L. Summer/winter changes in serum S100B protein concentration as a source of research variance / A. L. Morera-Fumero, P. Abreu-Gonzalez, M. Henry-Benitez // *Journal of Psychiatric Research*. – 2013. – Vol. 47. – pp. 791-795.
12. Neuron-specific enolase and S100B in cerebrospinal fluid after severe traumatic brain injury in infants and children / Berger R. P., Pierce M. C., Wisniewski S. R. [et al] // *Pediatrics*. – 2002. – Vol. 109 (2). – P. 31.
13. Конькова-Рейдман, А. Б. Резистентность гематоэнцефалического барьера при клещевых нейроинфекциях / А. Б. Конькова-Рейдман, В. И. Злобин // *Байкальский медицинский журнал*. – 2011. – № 7. – С. 37-40.
14. Голосная, Г. С. Роль нейроспецифических белков в диагностике тяжелых поражений мозга у новорожденных детей / Г. С. Голосная // «Актуальные вопросы диагностики и фармако-терапии в педиатрии». Лекции для практикующих врачей. X конгресс «Человек и лекарство», 2004. – С. 189-207.
15. Голосная, Г. С. Диагностические возможности иммуоферментного метода определения нейроспецифических белков у новорожденных детей с перинатальным поражением ЦНС (тезис) / Г. С. Голосная, К. А. Маркевич // Тезисы IX Всероссийской научно-практической конференции «Молодые ученые в медицине» Казань, 2004. – С. 61.
16. Изменение уровня белка S-100 у новорожденных с перинатальным гипоксическим поражением ЦНС / Г. С. Голосная, А. Петрухин, К. Маркевич, О. Трифонова // *Журнал Педиатрия*. – 2004. – № 1. – С. 10-15.
17. Evaluation of Blood Zonulin Levels, Inflammatory Processes and Neuronal Changes in Children with Autism Spectrum Disorder / Kartalci G., Çalışkan Demir A., Kartalci Ş. [et al] // *Psychiatria Danubina*. – 2022. – № 34(2). – pp. 279-287.
18. Evaluation of Serum S100B Levels in Male Children Younger than 6 Years Old with Autism Spectrum Disorder: A Psychiatric and Biochemical Perspective / A. Eraslan, İ. Durukan, Ş. Bodur, Ö. Demircan // *Duzce Medical Journal*. – 2021. – № 23(3). – pp. 263-269. DOI: <https://doi:10.18678/dtfd.976021>.

19. Evaluation of serum Neuron-specific enolase, S100B, myelin basic protein and glial fibrillary acidic protein as brain specific proteins in children with autism spectrum disorder / Esnafoglu E., Ayyıldız S. N., Cırrık S. [et al] // *International journal of developmental neuroscience: the official journal of the International Society for Developmental Neuroscience*. – 2017. – № 61. – pp. 86-91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2017.06.011>
20. Elevated serum neuron-specific enolase in patients with temporal lobe epilepsy: A video-EEG study / Palmio J., Keranen T., Alapirtti T. [et al] // *Epilepsy Research*. – 2008. – № 81. – pp. 155-160.
21. Measurement of Serum Neuron-Specific Enolase in Neuroblastoma: Is There a Clinical Role? / Ferraro S., Braga F., Luksch R. [et al] // *Clin Chem*. – May 1, 2020. – № 66(5). – pp. 667-675. DOI: <https://doi:10.1093/clinchem/hvaa073>. PMID: 32353141.
22. Age dependence and prognostic impact of neuron specific enolase (NSE) in children with neuroblastoma / Berthold F., Engelhardt-Fahrner U., Schneider A. [et al] // *In Vivo*. – May-Jun 1991. – № 5(3). – pp. 245-247.
23. Neuroprotective role of gamma-enolase in microglia in a mouse model of Alzheimer's disease is regulated by cathepsin X / Hafner A., Glavan G., Obermajer N. [et al] // *Aging Cell*. – 2013. – № 12. – pp. 604-614. DOI: <https://doi:10.1111/accel.12093>.
24. New Insights into the Role of Neuron-Specific Enolase in Neuro-Inflammation, Neurodegeneration, and Neuroprotection / A. Haque, R. Polcyn, D. Matzelle, N. L. Banik // *Brain Sci*. – Feb 18, 2018. – № 8(2). – P. 33. DOI: <https://doi:10.3390/brainsci8020033>. PMID: 29463007, PMCID: PMC5836052.
25. Receptor for advanced glycation end products activation injures primary sensory neurons via oxidative stress / Vincent A.M., Perrone L., Sullivan K. A. [et al] // *Endocrinology*. – 2007. – Vol. 148 (2). – pp. 548-558.
26. Developmental profile of neuron-specific (NSE) and non-neuronal (NNE) enolase / P. Marangos, D. Schmechel, A. Parma, F. Goodwin // *Brain Res*. – 1980. – № 190. – pp. 185-193. DOI: [https://doi:10.1016/0006-8993\(80\)91168-3](https://doi:10.1016/0006-8993(80)91168-3)
27. Changes of biochemical biomarkers in the serum of children with convulsion status epilepticus: a prospective study / Wang M., Yu J., Xiao X. [et al] // *BMC Neurol*. – 2022. – № 22. – Art. № 196. PMID: 35624413 PMCID: PMC9137178 DOI: <https://DOI:10.1186/s12883-022-02686-2>
28. Cerebrospinal fluid biomarkers in neurological diseases in children / Pashtun S., Mansson J., Darin N. [et al] // *European journal of pediatric neurology*. 2013. – Vol. 17 (1). – pp. 7-13.
29. Serikova, I. J. Laboratory markers of longterm effects of perinatal brain lesions in adolescents / I. J. Serikova, E. N. Vorobjeva, G. I. Shumacher // *Health and education in Siberia*. – 2013. – № 2. URL: [https://www.ngmu.ru/cozo/mos/article/tcxt\\_fuH.php?id=962](https://www.ngmu.ru/cozo/mos/article/tcxt_fuH.php?id=962) (дата обращения 20.12.2016).
30. Джума, С. Г. Клинико-лабораторная оценка биохимических показателей и перекисного окисления липидов у больных с нейровегетативной дисфункцией: Автореф. диссертация ... канд. мед. наук. / Светлана Геннадьевна Джума. – Саратов, 2007. – 157 с.
31. Inui, T. Neurodevelopmental Hypothesis About Etiology of Autism Spectrum Disorders / T. Inui, S. Kumagaya, M. Myowa-Yamakoshi // *Front Hum. Neurosci*. – 2017. – P. 11.
32. Increase of plasma S100B and neuron-specific enolase in children following adenotonsillectomy: a prospective clinical trial / D. Kaul, S. G. Schwab, N. Mechawar, N. Matosin // *Eur Arch Otorhinolaryngol*. – 2017 Oct. – № 274(10). – pp. 3781-3788. DOI: <https://doi:10.1007/s00405-017-4698-1>. PMID: 28785895.
33. Yirmiya, R. Immune modulation of learning, memory, neural plasticity and neurogenesis / R. Yirmiya, I. Goshen // *Brain Behav Immun*. – Feb 2011. – № 25(2). – pp. 181-213. DOI: <https://doi:10.1016/j.bbi.2010.10.015>. PMID: 20970492.

## REFERENCES

1. Ayaydın H., Kirit A., Çelik H., Akaltun İ., Koyuncu İ., Bilgen Ulgar Ş. High Serum Levels of Serum 100 Beta Protein, Neuron-specific Enolase, Tau, Active Caspase-3, M30 and M65 in Children with Autism Spectrum Disorders. *Clinical psychopharmacology and neuroscience: the official scientific journal of the Korean College of Neuropsychopharmacology*, 2020, no. 18(2), pp. 270-278. DOI: <https://doi.org/10.9758/cpn.2020.18.2.270>.
2. Skripchenko N.V., Shirokova A.S. Neuron-specific enolase and S100 protein as biomarkers of brain damage. Review and clinical application. *Pediatric Neurosurgery and Neurology*, 2016, no. 4, pp. 16-25. (in Russ.)
3. Blennow K., Wallin A., Ekamn R. Neuron specific enolase in cerebrospinal fluid: a biochemical marker for neuronal degeneration in dementia disorders. *J Neurol. Transm*, 1994, vol. 8, pp. 27-30.



4. Nikolaeva E.I. Functional role of neural networks in early children. *Voprosy Psichologii*, 2021, vol. 67, no. 5, pp. 15-29. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48140848> (accessed 01.20.2023). (in Russ.)
5. Razumnikova O.M., Nikolaeva E.I. Ontogeny of inhibitory control of cognitive functions and behavior: a monograph. Novosibirsk: Publishing House of the Novosibirsk State Technical University 2021. 159 p. (in Russ.)
6. Deloulme J.C., Lucas M., Gaber C., Bouillon P., Keller A., Eclancher F., Sensenbrenner M. Expression of the neuron-specific enolase gene by rat oligodendroglial cells during their differentiation. *J. Neurochem*, 1996, no. 66, pp. 936-945. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1471-4159.1996.66030936.x>.
7. Nikolaeva E.I., Efimova V.L., Vergunov E.G. Integration of Vestibular and Auditory Information in Ontogenesis. *Children*, 2022, no. 9, pp. 401. DOI: <https://doi.org/10.3390/children9030401>.
8. Bae S., Kim H., Lee N., Won C., Kim H.R., Hwang Y.I., Song Y.W., Kang J.S., Lee W.J. Alpha-Enolase expressed on the surfaces of monocytes and macrophages induces robust synovial inflammation in rheumatoid arthritis. *J. Immunol*, 2012, no. 189, pp. 365-372. DOI: <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1102073>.
9. Cao F., Yang X.F., Liu W.G., Hu W.W., Li G., Zheng X.J., Shen F., Zhao X.Q., Lv S.T. Elevation of neuron-specific enolase and S-100beta protein level in experimental acute spinal cord injury. *J. Clin. Neurosci*, 2008, no. 15, pp. 541-544. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2007.05.014>.
10. Polcyn R., Capone M., Hossain A., Matzelle D., Banik N.L., Haque A. Enolase and acute spinal cord injury. *J. Clin. Cell. Immunol*, 2017, no. 8, pp. 536. DOI: <https://doi.org/10.4172/2155-9899.1000536>.
11. Morera-Fumero A.L., Abreu-Gonzalez P., Henry-Benitez M. Summer/winter changes in serum S100B protein concentration as a source of research variance. *Journal of Psychiatric Research*, 2013, vol. 47, pp. 791-795.
12. Berger R.P., Pierce M.C., Wisniewski S.R., Adelson P.D., Clark R.S.B., Ruppel R.A., Kochanek P.M. Neuron-specific enolase and S100B in cerebrospinal fluid after severe traumatic brain injury in infants and children. *Pediatrics*, 2002, vol. 109(2), p. 31.
13. Kon'kova-Reidman A.V., Zlobin V.I. Resistance of blood-brain barrier in tick-borne neuroinfections. *Baikal Medical Journal*, 2011, no 7, pp. 37-40. (in Russ.)
14. Golosnaya G.S. The role of neuron-specific proteins in diagnosis of severe brain lesions in newborn children. "Relevant Issues of Diagnosis and Drug Therapy In Pediatrics". Lectures for practicing physicians. 10th Congress "Man and Medicine", 2004. pp. 189-207. (in Russ.)
15. Golosnaya G.S., Markevich K.A. Diagnostic capabilities of the immunoenzyme method of identifying neuron-specific proteins in newborn children with perinatal lesion of the central nervous system. Conference papers of the 9th All-Russian Scientific and Practical Conference "Young Scientists in Medicine". Kazan, 2004. p. 61. (in Russ.)
16. Golosnaya G.S., Petruhin A.S., Markevich K.A., Trifonova O.E. Changes in the level of S-100 protein in newborn children with perinatal hypoxic lesion of the central nervous system. *Pediatrics*, 2004, no. 1, pp. 10-15. (in Russ.)
17. Kartalci G., Çalışkan Demir A., Kartalci Ş., Üremiş N., Türköz Y. Evaluation of Blood Zonulin Levels, Inflammatory Processes and Neuronal Changes in Children with Autism Spectrum Disorder. *Psychiatria Danubina*, 2022, no. 34(2), pp. 279-287.
18. Eraslan A.N., Durukan İ., Bodur Ş., Demircan Ö. Evaluation of Serum S100B Levels in Male Children Younger than 6 Years Old with Autism Spectrum Disorder: A Psychiatric and Biochemical Perspective. *Duzce Medical Journal*, 2021, no. 23(3), pp. 263-269. DOI: <https://doi.org/10.18678/dtfd.976021>.
19. Esnafoglu E., Ayyıldız S.N., Cırnik S., Erturk E.Y., Erdil A., Dağlı A., Noyan, T. Evaluation of serum Neuron-specific enolase, S100B, myelin basic protein and glial fibrillary acidic protein as brain specific proteins in children with autism spectrum disorder. *International journal of developmental neuroscience: the official journal of the International Society for Developmental Neuroscience*, 2017, no. 61, pp. 86-91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2017.06.011>.
20. Palmio J., Keranen T., Alapirtti T., Hulkkonen J., Mäkinen R., Holm P., Suhonen J., Peltola J. Elevated serum neuron-specific enolase in patients with temporal lobe epilepsy: A video-EEG study. *Epilepsy Research*. 2008, no. 81, pp. 155-160.
21. Ferraro S., Braga F., Luksch R., Terenzi M., Caruso S., Panteghini M. Measurement of Serum Neuron-Specific Enolase in Neuroblastoma: Is There a Clinical Role? *Clin Chem*, May 1 2020, no. 66(5), pp. 667-675. DOI: <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvaa073>. PMID: 32353141.

22. Berthold F., Engelhardt-Fahrner U., Schneider A., Schumacher R., Zieschang J. Age dependence and prognostic impact of neuron specific enolase (NSE) in children with neuroblastoma. *In Vivo*, May-Jun 1991, no. 5(3), pp. 245-247.
23. Hafner A., Glavan G., Obermajer N., Zivin M., Schliebs R., Kos J. Neuroprotective role of gamma-enolase in microglia in a mouse model of Alzheimer's disease is regulated by cathepsin X. *Aging Cell*, 2013, no. 12, pp. 604-614. DOI: <https://doi.org/10.1111/accel.12093>.
24. Haque A., Polcyn R., Matzelle D., Banik N.L. New Insights into the Role of Neuron-Specific Enolase in Neuro-Inflammation, Neurodegeneration, and Neuroprotection. *Brain Sci.* 2018, Feb 18, no. 8(2), pp. 33. DOI: <https://doi.org/10.3390/brainsci8020033>. PMID: 29463007, PMCID: PMC5836052.
25. Vincent A.M., Perrone L., Sullivan K.A., Backus C., Sastry A.M., Lastoskie C., Feldman E.L. Receptor for advanced glycation end products activation injures primary sensory neurons via oxidative stress. *Endocrinology*, 2007, vol. 148 (2), pp. 548-558.
26. Marangos P.J., Schmechel D.E., Parma A.M., Goodwin F.K. Developmental profile of neuron-specific (NSE) and non-neuronal (NNE) enolase. *Brain Res.* 1980, no. 190, pp. 185-193. DOI: [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(80\)91168-3](https://doi.org/10.1016/0006-8993(80)91168-3).
27. Wang M., Yu J., Xiao X., Zhang B., Tang J. Changes of biochemical biomarkers in the serum of children with convulsion status epilepticus: a prospective study. *BMC Neurol*, 2022, no. 22, art. no. 196. PMID: 35624413, PMCID: PMC9137178. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12883-022-02686-2>.
28. Pashtun S., Mansson J., Darin N., Zetterberg H., Mattsson N. Cerebrospinal fluid biomarkers in neurological diseases in children. *European journal of pediatric neurology*, 2013, vol. 17(1), pp. 7-13.
29. Serikova I.J., Vorobjeva E.N., Shumaker G.I. Laboratory markers of longterm effects of perinatal brain lesions in adolescents. *Health and education in Siberia*. 2013, no. 2. Available at: [https://www.ngmu.ru/cozo/mos/article/tcxt\\_fuH.php?id=962](https://www.ngmu.ru/cozo/mos/article/tcxt_fuH.php?id=962) (accessed 20.12.2016).
30. Dzhuma S.G. Clinical laboratory evaluation of biochemical indices и lipid peroxidation in patients with neurovegetative dysfunction: an author's abstract. Saratov, 2007. 157 p. (in Russ.)
31. Inui T., Kumagaya S., Myowa-Yamakoshi M. Neurodevelopmental Hypothesis About Etiology of Autism Spectrum Disorders. *Front. Hum. Neurosci.*, 2017, p. 11.
32. Kaul D., Schwab S.G., Mechawar N., Matosin N. Increase of plasma S100B and neuron-specific enolase in children following adenotonsillectomy: a prospective clinical trial. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, Oct 2017, no. 274(10), pp. 3781-3788. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00405-017-4698-1>. PMID: 28785895.
33. Yirmiya R., Goshen I. Immune modulation of learning, memory, neural plasticity and neurogenesis. *Brain Behav Immun*, Feb 2011, no. 25(2), pp. 181-213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2010.10.015>. PMID: 20970492.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Виктория Леонидовна Ефимова** – доктор психологических наук, доцент, преподаватель, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, e-mail: [prefish@ya.ru](mailto:prefish@ya.ru).

**Елена Ивановна Николаева** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой возрастной физиологии и педагогики семьи, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, e-mail: [klemtina@yandex.ru](mailto:klemtina@yandex.ru).

**Наталья Владимировна Коньшина** – кандидат медицинских наук, эпиптолог, врач функциональной диагностики, детская неврологическая клиника «Прогноз», Санкт-Петербург, e-mail: [natakonshina@yandex.ru](mailto:natakonshina@yandex.ru), ORCID: 0000-0001-7325-3461.

**Галина Станиславовна Голосная** – доктор медицинских наук, профессор кафедры неврологии ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, e-mail: [golosnaya@yandex.ru](mailto:golosnaya@yandex.ru), ORCID: 000-0001-6103-7171.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Viktoria Leonidovna Efimova** – Doctor of Psychological Sciences, Associate Professor, Lecturer, Herzen University, Saint Petersburg, e-mail: [prefish@ya.ru](mailto:prefish@ya.ru).

**Elena Ivanovna Nikolaeva** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Developmental Physiology and Family Pedagogics, Herzen University, Saint Petersburg, e-mail: [klemtina@yandex.ru](mailto:klemtina@yandex.ru).

**Natal'ya Vladimirovna Kon'shina** – Candidate of Medical Sciences, Epileptologist, Functional Diagnostics Doctor, Children's Neurological Clinic “Prognoz”, Saint Petersburg, e-mail: nata-konshina@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7325-3461.

**Galina Stanislavovna Golosnaya** – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Neurology, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, e-mail: ggolosnaya@yandex.ru, ORCID: 000-0001-6103-7171.

**Для цитирования:** Возможность использования белков, являющихся маркерами нейровоспаления, для оценки когнитивного состояния детей / В. Л. Ефимова, Е. И. Николаева, Н. В. Коньшина, Г. С. Голосная // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_6

**For citation:** Efimova V.L., Nikolaeva E.I., Kon'shina N.V., Golosnaya G.S. Possibility of using proteins as neuroinflammation markers to evaluate cognitive state of children. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_6

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_7  
УДК 612.172.2

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_7  
UDC 612.172.2

## **ОСОБЕННОСТИ СТРЕСС-ИНДУЦИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА КРЫС НА ФОНЕ БЛОКАДЫ ВЕГЕТАТИВНЫХ ГАНГЛИЕВ, М-ХОЛИНО- И $\beta$ -АДРЕНОРЕЦЕПТОРОВ**

**Ю.Д. Жукова, Е.В. Курьянова, А.В. Трясучев, В.О. Ступин**

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева», г. Астрахань, Россия

**Аннотация.** В условиях острого стресса ритм сердца крыс характеризуется высокой частотой (400-440 уд/мин), умеренным повышением напряженности (до 50 усл.ед.), трендами к ослаблению HF-волн и росту мощности LF-волн, повышением мощности VLF-волн и индекса централизации. Блокада М-холинорецепторов (атропин, 1 мг/кг) нивелирует стрессогенный рост частоты сердечных сокращений, блокада  $\beta$ -адренорецепторов (анаприлин, 2 мг/кг) ослабляет его на 45-65 уд/мин, на фоне обоих блокаторов не происходит повышения мощности LF- и VLF-волн и индекса централизации. Блокада вегетативных узлов ослабляет эффект атропина и анаприлина по отношению к вариабельности сердечного ритма, понижает мощность LF- и VLF-волн в покое. Комбинация блокады вегетативных узлов (гексаметоний, 7 мг/кг) с блокадой периферических М-холино- и  $\beta$ -адренорецепторов полностью нивелирует изменения не только мощности волн спектра и индекса централизации, но и даже частоты сердечных сокращений в условиях стресса. Следовательно, для развития изменений вариабельности сердечного ритма при стрессе необходимо взаимодействие ганглионарного и эффекторного уровней адренергического и холинергического каналов регуляции, а симпатические и парасимпатические механизмы вовлечены в формирование амплитуды колебаний длительности кардиоинтервалов на всех основных частотах.

**Ключевые слова:** вариабельность сердечного ритма, блокада М-холинорецепторов, блокада  $\beta$ -адренорецепторов, блокада вегетативных узлов, атропин, анаприлин, гексаметоний, острый стресс, крысы.

## **THE FEATURES OF STRESS-INDUCED CHANGES OF HEART RATE VARIABILITY IN RATS IN CASE OF THE BLOCKADE OF AUTONOMIC GANGLIONS, MUSCARINIC ACETYLCHOLINERGIC RECEPTORS AND $\beta$ -ADRENERGIC RECEPTORS**

**Yu.D. Zhukova, E.V. Kur'yanova, A.V. Tryasuchev, V.O. Stupin**

Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia

**Annotation.** In conditions of acute stress, the rat heart rate is described by high frequency (400-440 beats/min), a moderate increase in intensity (up to 50 c.u.), trends towards weakened high-frequency and increased low-frequency wave power, increased very-low-frequency wave power and index of centralization. Blockade of muscarinic acetylcholinergic receptors (atropine, 1 mg/kg) neutralizes the stress-induced increase in heart rate frequency, while blockade of  $\beta$ -adrenergic receptors (anaprilin, 2 mg/kg) weakens it by 45-65 beats/min. There is no increase in low-frequency and very-low-frequency power waves and index of centralization against the background of those two blockers. Autonomic ganglions blockade attenuates the effects of atropine and anaprilin in relation to rate variability, reduces the power of low-frequency and very-low-frequency waves at rest. The combination of autonomic ganglions blockade (hexamethonium, 7 mg/kg) with blockade of muscarinic acetylcholinergic and  $\beta$ -adrenergic receptors completely neutralizes not only the power of the spectrum waves and index of centralization, but even heart rate frequency under stress. Consequently, the interaction of ganglion and effector levels of adrenergic and cholinergic regulation channels is necessary for the development of

changes in heart rate variability at stress. Sympathetic and parasympathetic mechanisms are involved in shaping the amplitude of fluctuations in the duration of cardiointervals at all basic frequencies.

**Keywords:** heart rate variability, blockade of muscarinic acetylcholinergic receptors, blockade of  $\beta$ -adrenergic receptors, blockade of autonomic ganglions, atropine, anapriline, hexametonium, acute stress, rats.

**Введение.** Методы анализа variability сердечного ритма (ВСР) изначально разрабатывались и в настоящее время достаточно активно используются для оценки напряжения регуляторных систем, уровня стресса, прогноза состояния на грани нормы и патологии [1-5]. Как известно, в модели Р.М. Баевского [1] за центральным контуром регуляции признается ведущая роль в изменении сердечного ритма при различного рода нагрузках и в стрессовых состояниях. Считается, что центральный контур регуляции оказывает влияние на ритм сердца через симпатический отдел вегетативной нервной системы [1-3]. В составе центрального контура рассматривается уровень сосудодвигательного центра, связанный с регуляцией артериального давления, и так называемый надсегментарный уровень, который ассоциируется с гипоталамическими и лимбическими центрами, влияющими на вегетативную нервную систему [1, 3, 4]. Основным компонентом автономного контура регуляции считается уровень дыхательного центра, активность которого проявляется в колебаниях ритма сердца в соответствии с ритмом дыхания, при этом автономный контур оказывает влияние на сердечный ритм через блуждающие нервы [1-5]. С активностью названных уровней регуляции связывают основные частотные составляющие ВСР, выявляемые при спектральном анализе – волны HF, LF, VLF (высоких, низких и очень низких частот соответственно). Однако до сих пор обсуждаются вопросы природы волн ВСР и в целом происхождения колебательных процессов в сердечно-сосудистой системе [2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Согласно Р.М. Баевскому, стресс вызывает снижение variability и усиление ригидности ритма сердца, преобладание влияния центрального контура регуляции,

что проявляется в увеличении мощности низкочастотных волн LF, VLF [1, 3]. Это в целом согласуется с представлениями о механизмах развития стресса и локализации центрального звена стресс-системы в гипоталамической области мозга [14], как основном компоненте центрального контура регуляции [1, 3]. Учитывая наибольшую дискуссионность природы низкочастотных волн [2, 6, 7, 8, 9], имеет смысл применять экспериментальные модели, провоцирующие усиление LF- и VLF-волн, в частности модели острого стресса. Полагаем, что моделирование стресса на фоне воздействий на периферические холино- и адренорецепторы, вегетативные ганглии [10] позволит показать, насколько значимо состояние периферических звеньев вегетативной регуляции для формирования волн ВСР и их стресс-индуцированных изменений, уточнить и дополнить представления о физиологических основах variability кардиоинтервалов. В этой связи целью работы стало экспериментальное изучение роли эффекторного и ганглионарного уровней вегетативной регуляции в развитии стресс-индуцированных изменений variability сердечного ритма крыс для уточнения представлений об их участии в формировании основных спектральных компонент ВСР.

**Методы и организация исследования.** Исследования выполнены на 36 половозрелых крысах-самцах 4-5 месячного возраста (виварий ФБГУ НИИ по изучению лепры Минздрава России), содержащихся в условиях лабораторного вивария Астраханского государственного университета (температура воздуха – 24-26°C, относительная влажность – 35-40%, освещение в помещениях – искусственное с фиксированным режимом 12 ч день и 12 ч ночь), в

пластиковых клетках с мелкой древесной стружкой на стандартном рационе – комбикорм гранулированный полнорационный для лабораторных животных (экструдированный) ПК-120 ГОСТ 50258-92 производства ООО «Лабораторкорм». Животные потребляли корм и воду *ad libitum*.

Все эксперименты выполнялись в соответствии с Национальным стандартом РФ ГОСТ Р-53434-2009 «Принципы надлежащей лабораторной практики», Приказом Минздрава РФ от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики» и Европейской конвенции Directive 2010/63/EU от 22 сентября 2010. Эксперименты проведены в летний период.

Электрокардиограмму (ЭКГ) регистрировали у бодрствующих нефиксированных крыс во втором стандартном отведении на аппаратно-программном комплексе «Варикард» («Рамена», Россия) с помощью миниатюрных электродов-зажимов при местном обезболивании лидокаином, как описано ранее [15]. Частота дискретизации сигнала составляла 1200 Гц.

Экспериментальные животные были разделены на 4 группы, которым однократно вводили:

1) неселективный блокатор М-холинорецепторов атропин (1 мг/кг, ГНЦЛС, Украина, n=6) [8, 16];

2) неселективный блокатор β-адренорецепторов анаприлин (2 мг/кг, ИФА, Россия, n=6) [8, 9, 17, 18];

3) блокатор N-холинорецепторов вегетативных узлов – гексаметоний (7 мг/кг, “Sigma”) [15, 19, 20] и через 10 мин – М-холиноблокатор атропин (1 мг/кг, n=6);

4) гексаметоний (7 мг/кг, “Sigma”) и через 10 мин – β-адреноблокатор анаприлин (2 мг/кг, n=6).

Эффекты каждого из этих препаратов и их комбинаций на ВСР в состоянии спокойного бодрствования рассмотрены в ранее опубликованной работе [10].

Контрольные животные (n=12) получали инъекции физиологического раствора (0,1 мл / 100 г). Все препараты вводили внутривенно.

В течение первых 5-10 мин после введения препаратов у всех животных регистрировали ЭКГ в состоянии спокойного бодрствования. Затем крыс контрольной и опытных групп подвергали стрессированию по методике [4, 21]. Крысы подвергались 1-часовой иммобилизации в пеналах из плексигласа в сочетании с электрокожным раздражением хвоста по стохастической схеме при значениях переменного тока (4-6 В, 50 Гц), пятикратно с длительностью каждой стимуляции – 5 сек. Запись ЭКГ проводили на 15-, 30- и 60-й минутах стресса.

Измерение R-R-интервалов и обработку данных осуществляли в компьютерной программе «ИСКИМ6» («Рамена», Россия). Для анализа брали непрерывные и стационарные ряды из 350 R-R-интервалов ЭКГ, зарегистрированных в состоянии спокойного бодрствования, на 15-й, 30-й и 60-й минутах стресса. Определяли частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), индекс напряжения (ИН, усл.ед.) [1, 4, 10, 15] с учетом ширины класса гистограммы 7,8 мс:

$ИН = (AMo / 2 \times \Delta X \times Mo) \times (50/7,8) \times 1000$ .  
Спектральный анализ ВСР проводили в диапазонах высокой частоты – HF (0,9-3,5 Гц), низкой частоты – LF (0,32-0,9 Гц), очень низкой частоты – VLF (0,15-0,32 Гц) [4, 10, 15]. Рассчитывали абсолютную (мс<sup>2</sup>) и относительную (%) мощность волн в каждом диапазоне, индекс централизации (IC) (усл.ед.) [1]:

$$IC = (LF+VLF) / HF.$$

Результаты исследования обработаны в программе Statistica 10.0 с использованием возможностей описательной статистики. В таблице приведены средние значения и их ошибки (M±m). Достоверность изменений показателей ВСР в ходе острого стресса по сравнению с состоянием спокойного бодрствования, а также между контрольной и экспериментальными группами на всех этапах наблюдений оценивали по непараметрическому U-критерию Манна-Уитни. Различия между средними считали достоверными при p<0,05. Выявленные

различия подтверждены результатами дисперсионного анализа (ANOVA, Statistica 10.0). При представлении результатов в графическом виде учтены стандартные отклонения средних.

**Результаты исследования и их обсуждение.** У крыс-самцов контрольной группы (табл., рис. 1-6) в состоянии острого стресса ЧСС увеличилась на 39-30% ( $p < 0,001$ ) и оставалась выше 400 уд/мин до завершения стрессирования. ИН повысился на 40-44% ( $p < 0,05$ ) и поддерживался на уровне 45-50 отн.ед. в ходе всего стресса. На 30–60-й минутах стресса наметились тренды к снижению мощности HF-волн и усилению низкочастотных волн, к 60-й минуте мощность LF-волн увеличилась на 50% ( $p < 0,3$ ), VLF-волн – на 120% ( $p < 0,05$ ) по сравнению со спокойным бодрствованием. Соответственно, доля HF-волн в спектре сократилась до 35-38%, а доля VLF-волн выросла до 33%, IC повысился почти в два раза (табл., рис. 1-6). То есть, в контрольной серии характерными изменениями ритма сердца в условиях стресса стал рост ЧСС выше 400 уд/мин, умеренное повышение мощности VLF-волн и IC.

После введения атропина ЧСС у животных была высокой (более 400 уд/мин), а ритм сердца – весьма напряженным ( $p < 0,001$ ) с минимальной мощностью всех волн спектра ( $p < 0,001$ ) (табл., рис. 1-6). На этом фоне моделирование острого стресса не привело к дальнейшему росту ЧСС, и она оставалась в пределах 400-420 уд/мин, а к 60-й минуте стресса снизилась до 390-395 уд/мин. ИН на 15-30-й минутах стресса преодолел уровень в 300 усл.ед., но этот рост оказался статистически несущественным. Приросту ИН соответствовало снижение мощности волн в диапазонах LF и VLF до минимума (0,07-0,03  $мс^2$ ). Небольшое ослабление напряженности ритма сердца к 60-й минуте стресса было связано с приростом мощности HF-волн до 1,2  $мс^2$

( $p < 0,05$ ). На 30-60-й минутах стресса HF-волны в спектре составили 80-82% от общей мощности, вклад LF- и VLF-волн стал ниже 10% ( $p < 0,01$ ), индекс централизации достиг наименьших величин (0,15-0,2 усл.ед.) среди всех обследованных групп. В целом, на всех этапах стресса ИН на 550-590% выше, а мощность волн ВСР (особенно LF и VLF) и IC – во много раз ниже, чем в контрольной серии ( $p < 0,001$ ) (табл., рис. 1-6). То есть, моделирование стресса на фоне атропина не вызывает роста ЧСС и ИН, они остаются очень высокими, мощности волн изменяются очень слабо и остаются крайне низкими, особенно в LF- и VLF-диапазонах, централизация управления становится еще слабее. По сути, стресс-индуцированные изменения ВСР, отмеченные в контрольной серии, при блокаде М-холинорецепторов не формируются.

Введение блокатора  $\beta$ -адренорецепторов анаприлина привело к урежению ЧСС ( $p < 0,01$ ) и росту мощности волн в HF- и LF-диапазонах (табл., рис. 1-6). В стрессовой ситуации у этих крыс ЧСС увеличилась на 45-41% ( $p < 0,01$ ), но средние величины были равны 370-380 уд/мин, что ниже контрольных значений ( $p < 0,05$ ). ИН во время стресса изменялся мало, а к 60-й минуте его величины стали ниже контрольных на 48% ( $p < 0,05$ ). Мощности всех волн спектра в ходе стресса изменялись несущественно, в основном оставались выше контрольных значений, а в LF-диапазоне к 60-й минуте эта разница достигла 115% ( $p < 0,05$ ). Соответственно, индекс централизации оставался вблизи 1-й и немного увеличился к 60-й минуте стресса в связи с трендом к усилению LF-волн и увеличению их доли в спектре (табл., рис. 1-6). В целом, блокада  $\beta$ -адренорецепторов ослабляет стрессорную тахикардию и препятствует формированию характерного для стресса усиления мощности VLF-волн, повышения индекса централизации и индекса напряжения.

Таблица  
Стресс-индуцированные изменения параметров variability сердечного ритма крыс на фоне блокады М-холинорецепторов, β-адренорецепторов и их комбинации с блокадой вегетативных узлов, М±m

Показатели	Группы	Исходное состояние	15 минута стресса	30 минута стресса	60 минута стресса
ЧСС, уд/мин	Контроль(n=12)	318,7±7,4	443,8±10,2 ***	426,1±15,0 ***	416,2±10,4 ***
	Атропин (n=6)	443,8±17,3 ###	428,3±6,0	401,0±11,4	395,0±8,5
	Анаприлин (n=6)	259,7±13,3 ##	377,8±25,9 **, #	382,5±11,3 **	365,2±12,9 **, #
	Гексаметоний +Атропин (n=6)	433,2±11,0 ###	451,7±11,5	451,3±13,6 ^	445,3±15,2 ^
	Гексаметоний +Анаприлин (n=6)	310,5±12,2 +	305,8±11,6 ###, +	303,6±8,9 ###, ++	299,4±11,3 ###, ++
ИН, усл.ед.	Контроль (n=12)	32,4±5,1	46,8±3,8 *	46,1±4,9 *	46,1±7,3
	Атропин (n=6)	256,5±42,0 ###	314,0±55,6 ###	324,2±45,0 ###	240,3±29,4 ###
	Анаприлин (n=6)	37,3±15,3	39,4±13,4	33,9±5,2	24,4±6,7 #
	Гексаметоний +Атропин (n=6)	219,3±32,4 ###	268,3±32,1 ###	298,1±21,2 ###	256,7±61,1 ###
	Гексаметоний +Анаприлин (n=6)	64,1±16,4	47,6±15,5	46,9±6,7	39,9±15,8
ИС, усл.ед.	Контроль (n=12)	1,0±0,2	2,0±1,0	1,5±0,5	1,8±0,6
	Атропин (n=6)	0,6±0,1	0,5±0,1	0,15±0,04 *, ###	0,2±0,1 *, ##
	Анаприлин (n=6)	1,4±0,6	1,1±0,4	1,1±0,2	1,8±0,4
	Гексаметоний +Атропин (n=6)	0,4±0,1 #	0,6±0,1	0,4±0,15 ##	0,5±0,2 ##
	Гексаметоний +Анаприлин (n=6)	0,3±0,1 #	0,7±0,14	0,8±0,2 #	0,9±0,4

Примечание: ЧСС – частота сердечных сокращений; ИН – индекс напряжения; ИС – индекс централизации; достоверность различий рассчитана по U-критерию Манна-Уитни по сравнению с исходным состоянием в каждой группе: \* (p<0,05), \*\* (p<0,01), \*\*\* (p<0,001); по сравнению с контрольной группой в каждом состоянии: # (p<0,05), ## (p<0,01), ### (p<0,001); по сравнению с группой Атропин: ^ (p<0,05), ^^ (p<0,01), ^^ (p<0,001); по сравнению с группой Анаприлин: + (p<0,05), ++ (p<0,01), +++ (p<0,001). Достоверность влияния атропина, анаприлина, их комбинаций с введением гексаметония на ВСР подтверждена дисперсионным анализом (ANOVA, Statistica 10.0)



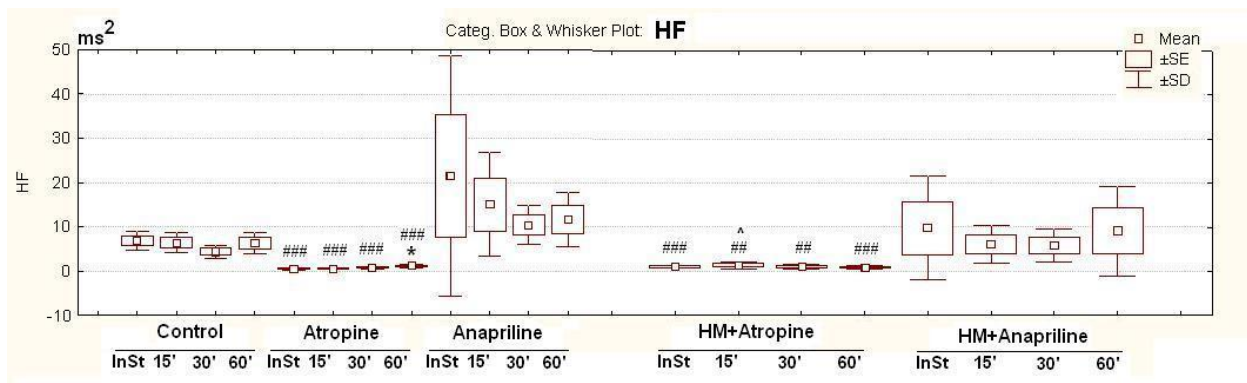


Рис. 1. Динамика мощности HF-волн в ходе острого стресса у крыс контрольной и экспериментальных групп

Примечание (к этому и последующим рисункам): из программы Statistica 10.0. Контрольная группа – Control (n=12), группы Атропин – Atropine (n=6), Анаприлин – Anapriline (n=6), Гексаметониум+ Атропин – Hexametonium +Atropine (HM+Atropine, n=6), Гексаметониум+Анаприлин – Hexametonium +Anapriline (HM+Anapriline, n=6). На графиках в каждой группе InSt (Initial State) – исходное состояние, 15', 30', 60' – 15, 30, 60 минут стресса. Достоверность различий рассчитана по U-критерию Манна-Уитни по сравнению с исходным состоянием в каждой группе: \* (p<0,05), \*\* (p<0,01), \*\*\* (p<0,001); по сравнению с контрольной группой в каждом состоянии: # (p<0,05), ## (p<0,01), ### (p<0,001); по сравнению с группой Атропин: ^ (p<0,05), ^^ (p<0,01), ^^ (p<0,001); по сравнению с группой Анаприлин: + (p<0,05), ++ (p<0,01), +++ (p<0,001). Достоверность влияния атропина, анаприлина, их комбинаций с введением гексаметония на ВСР подтверждена дисперсионным анализом (ANOVA, Statistica 10.0)

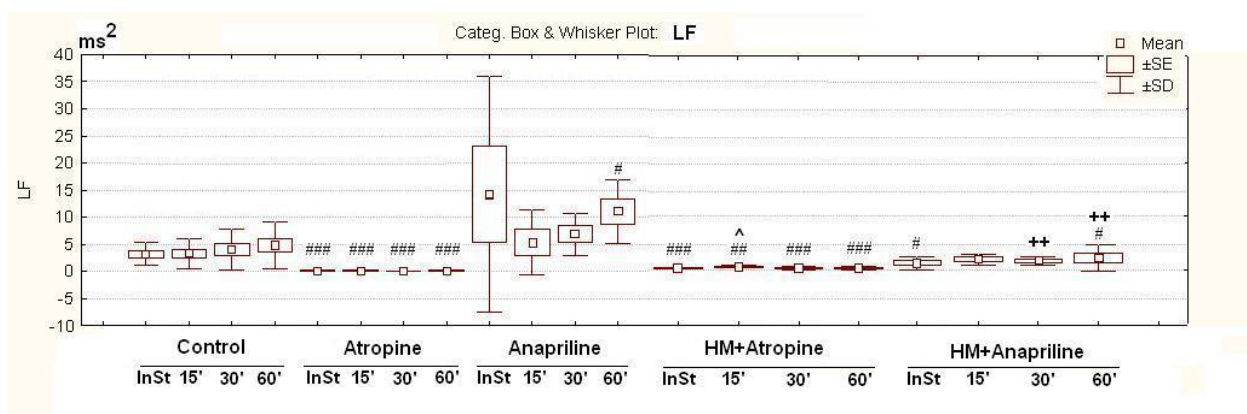


Рис. 2. Динамика мощности LF-волн в ходе острого стресса у крыс контрольной и экспериментальных групп

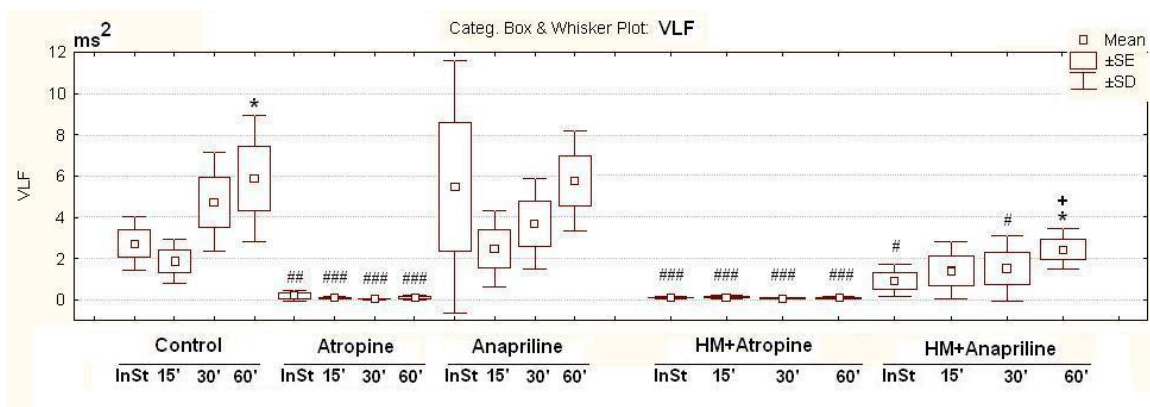


Рис. 3. Динамика мощности VLF-волн в ходе острого стресса у крыс контрольной и экспериментальных групп

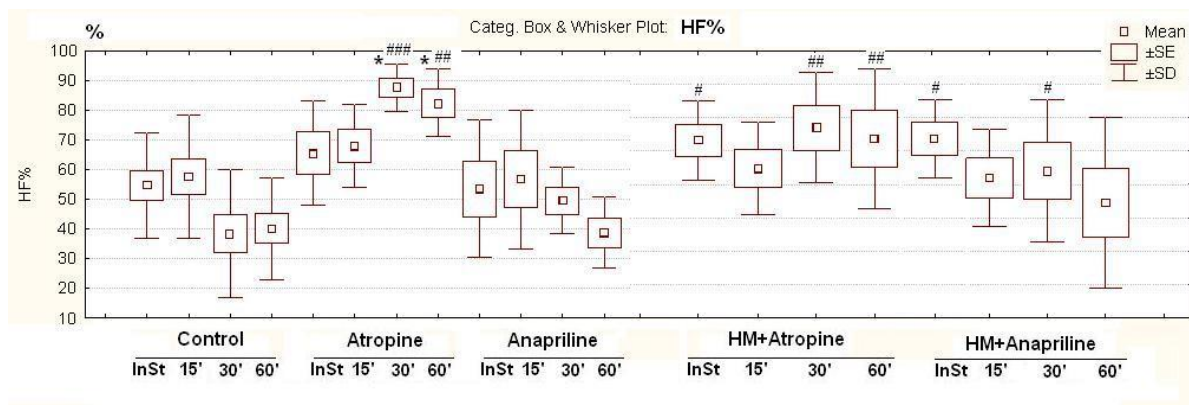


Рис. 4. Динамика HF% в ходе острого стресса у крыс контрольной и экспериментальных групп

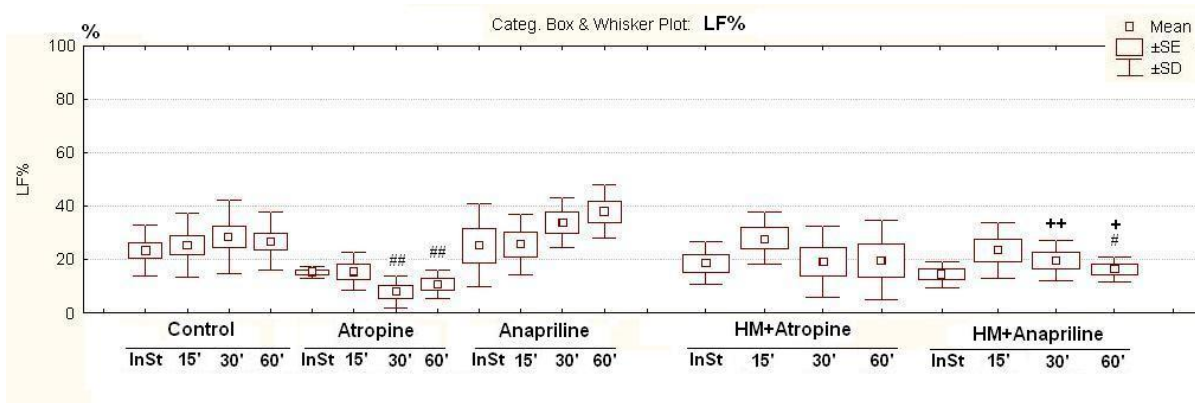


Рис. 5. Динамика LF% в ходе острого стресса у крыс контрольной и экспериментальных групп

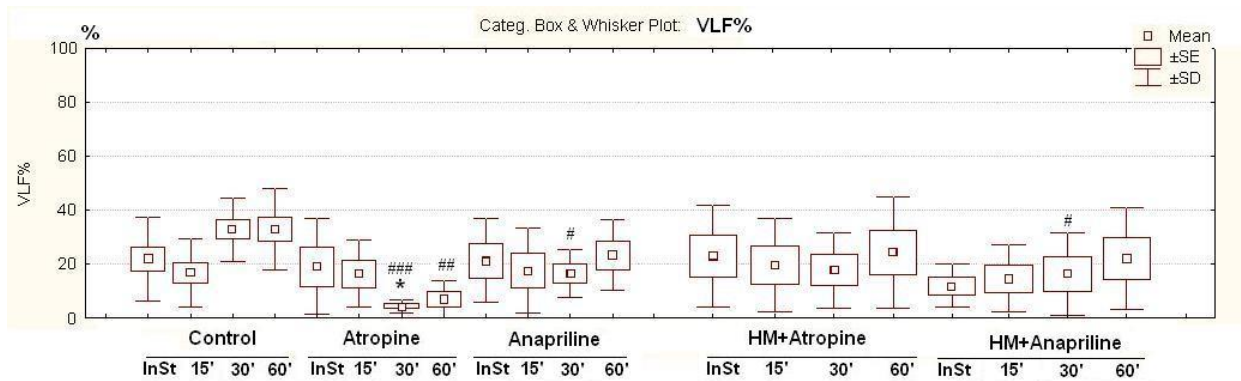


Рис.6. Динамика VLF% в ходе острого стресса у крыс контрольной и экспериментальных групп

На фоне последовательной блокады вегетативных узлов и М-холинорецепторов ЧСС в покое была выше 400 уд/мин, ритм сердца – очень напряженным, что согласуется с ранее опубликованными данными [10, 15]. В ходе острого стресса у животных этой серии ЧСС и ИН оставались стабильно высокими (около 450 уд/мин и 230-250 отн.ед. соответственно), а мощность всех волн – низкой. Небольшой прирост вариабельности в HF- и LF-диапазонах наблюдался на 15-й минуте. Усиления VLF-волн и повышения IC в ходе стресса не произошло (табл., рис. 1-6). Тем не менее, по сравнению с серией, где действующим фактором был только атропин, мощность волн в HF- и LF-диапазонах была почти вдвое выше ( $p < 0,05$ ), но при этом зафиксирована особая стабильность тахикардии и напряженности ритма. Следовательно, комбинация блокады вегетативных узлов и М-холинорецепторов миокарда еще более ограничивает возможности для управления работой сердца в экстремальных условиях, делает невозможным усиление влияния со стороны центрального контура, создает эффект «фиксации» напряженного состояния на уровне автономного контура регуляции.

В серии с комбинацией блокады вегетативных узлов и  $\beta$ -адренорецепторов ЧСС у крыс соответствовала контрольным величинам (около 300-320 уд/мин), брадикардии как после введения только

анаприлина, не наблюдалось ( $p < 0,05$ ), но ритм сердца был напряженным из-за низкой мощности LF- и VLF-волн ( $p < 0,05$ ) (табл., рис. 1-6). В ходе стресса у этих животных ЧСС осталась на уровне 290-310 уд/мин, что значительно меньше, чем в контроле ( $p < 0,001$ ) и в серии с введением только анаприлина ( $p < 0,01$ ). ИН не повысился и даже несколько снизился, поскольку наблюдался тренд к повышению мощности низкочастотных волн, а в VLF-диапазоне к 60-й минуте стресса мощность выросла на 100% ( $p < 0,05$ ). Но, несмотря на этот рост, мощности LF- и VLF-волн оставались почти вдвое ниже контрольных ( $p < 0,05$ ) и в несколько раз ниже, чем в серии с анаприлином ( $p < 0,01$ ). IC к 60-й минуте стресса почти достиг 1 усл.ед., но все же был ниже контрольного ( $p < 0,05$ ) (табл., рис. 1-6). Очевидно, блокада вегетативных узлов в сочетании с  $\beta$ -адреноблокадой нивелирует не только усиление централизации управления ритмом сердца, но и повышение адренергических влияний на ЧСС. В отличие от предыдущей серии, при такой комбинации воздействий создается эффект «фиксации» спокойного состояния, когда отсутствует даже минимальный рост ЧСС, ВРС представлена HF-волнами средней мощности, что обычно трактуется как доминирование автономного контура в управлении работой сердца при умеренной активности парасимпатического канала регуляции [1, 3].

Таким образом, блокада периферических холино- и адренорецепторов препятствует вовлечению компонентов центрального контура регуляции в управление работой сердца в экстремальных условиях. Блокада вегетативных узлов делает регуляцию ритма сердца еще менее гибкой, поэтому в условиях стресса показатели ВСР практически не изменяются, централизация управления остается весьма низкой. Такая недостаточность регуляции проявляется в фиксации напряженного состояния в серии Гексаметоний + атропин и в фиксации спокойного состояния в серии Гексаметоний + анаприлин. В целом, результаты указывают на постоянное взаимодействие ганглионарного и эффекторного уровней вегетативной нервной системы в формировании ЧСС и длительности кардиоинтервалов во всех частотных диапазонах спектра.

Согласно полученным данным, состояние острого стресса, создаваемое описанной моделью, у животных контрольной серии характеризовалось весьма значительным (почти на треть) ростом ЧСС. Небольшой тренд к ослаблению тахикардии в ходе стресса можно объяснить постепенным снижением концентрации катехоламинов в крови, на что обращали внимание другие авторы [14], тем не менее, ЧСС оставалась выше 400 уд/мин. При этом у животных не наблюдалось резкого усиления ригидности ритма, ИН находился вблизи 50 усл.ед., что всего на 30-40% выше величин при спокойном бодрствовании. На спектрограммах были видны волны всех основных частотных диапазонов, мощность волн была средней (HF) или низкой (LF и VLF) согласно предложенной градации [4]. Иными словами, резкого снижения вариабельности кардиоинтервалов не произошло ни на одном из этапов стресса, хотя такое снижение считается одним из основных проявлений стрессогенных изменений ВСР [1]. Вероятно, имели значение характер стресса, положение тела во время стрессирования и другие факторы. Согласно [22-23], вариабельность сердечного ритма

сильно снижается, если животное иммобилизуется на спине, но может повышаться, если животное подвергается стрессу в естественной позе. Относительно волн разных диапазонов спектра, в этой работе и ранее [4] при стрессе мы наблюдали тренды к умеренному снижению HF- и усилению LF-волн, нарастание мощности VLF-волн и IC. Такие изменения свидетельствуют об активации барорефлекторного механизма и надсегментарных эрготропных структур, что расценивается как повышение централизации управления при ослаблении влияния автономного контура регуляции согласно [1, 3]. Полагаем, невысокий ИН и сохранение волнового разнообразия спектра ВСР указывают на достаточную гибкость механизмов регуляции, что позволяет обеспечить эффективное сопряжение ритма сердца с ритмом дыхания, колебаниями артериального давления, ритмами активности эмоциогенных и эрготропных центров гипоталамуса, лимбической системы при стрессе.

Введение M-холиноблокатора атропина в покое привело к росту ЧСС (до 450 уд/мин) и резкому снижению мощности всех волн спектра, как показано нами ранее [10], а также другими авторами [7, 8, 16, 17, 18, 19]. Известно, что атропин ограничивает участие холинергических механизмов в регуляции длительности кардиоинтервалов [24-25], ослабляет холинергический контроль за выделением норадреналина [24-26], что может потенцировать его выброс из симпатических терминалей [26]. Установление резкого преобладания адренергических влияний на водители ритма сердца вызвало комплекс изменений ВСР, который можно трактовать как гиперсимпатизацию. Моделирование стресса на фоне такого состояния не привело к дальнейшему повышению ЧСС и индекса напряжения, тахикардия неуклонно слабела, ЧСС была немного ниже, чем в контроле на всех этапах стресса. Это может быть признаком истощения адренергического канала регуляции, что подтверждает значимость

пресинаптических М-холинорецепторов в контроле за выделением норадреналина [24-26]. Избыточное напряжение в системе регуляции сделало невозможным усиление VLF- или LF-волн, мощность которых даже стремилась к нулю, несмотря на то, что при стрессировании потоки афферентных импульсов неизбежно направлялись к надсегментарным эрготропным структурам и сосудодвигательному центру. То есть, блокада М-холинорецепторов делает невозможным переход от автономной регуляции ритма сердца к централизации управления с участием надсегментарного уровня и барорефлекторного механизма. Это демонстрирует значимость М-холинорецепторов в адекватном изменении регуляции ритма сердца в состоянии стресса, и подтверждает роль холинергического канала в формировании не только HF-, но LF- и VLF-волн спектра ВСР, что согласуется с данными [6, 9, 16].

Введение блокатора  $\beta$ -адренорецепторов привело к снижению ЧСС (на 60-70 уд/мин) и общему повышению variability кардиоинтервалов во всех диапазонах спектра, что можно расценить как возникновение заметного преобладания холинергических влияний (парасимпатизация ритма), как показано другими авторами [7, 8, 17, 18]. Известно, что мощность волн спектра ВСР, особенно низкочастотных диапазонов, может изменяться при блокаде  $\beta$ -адренорецепторов неоднозначно [6, 8, 9, 18], поскольку на мембранах кардиомиоцитов присутствуют не только  $\beta_1$ -, но также  $\alpha_1$ -,  $\beta_2$ -адренорецепторы, рецепторы к другим моноаминам [24, 25, 27]. По-видимому, присутствие других подтипов адренорецепторов стало причиной значительного повышения ЧСС при стрессе у крыс, получивших анаприлин. Эффект  $\beta$ -адреноблокатора проявился в том, что стрессорная тахикардия была слабее, чем в контроле [22-23]. Ритм сердца оставался в ходе всего стресса достаточно variability, мощность волн в диапазонах LF, VLF была средней, в диапазоне HF – высокой [4],

что указывает на сохраняющееся преобладание парасимпатических влияний в ходе стресса. При этом характерного усиления VLF-волн и роста IC не произошло. То есть, блокада  $\beta$ -адренорецепторов препятствует усилению влияния на сердце со стороны центральных эрготропных структур, поэтому в формировании variability кардиоинтервалов ведущую роль продолжает играть автономный контур и парасимпатический канал регуляции, согласно [1, 3]. Это подтверждает значимость  $\beta$ -адренергического канала для формирования VLF-волн спектра ВСР, что согласуется с данными [3]. Однако, рассматривая результаты в целом, считаем, что влияния через  $\beta$ -адренорецепторы участвуют в формировании мощности всех волн спектра, их назначение – ограничивать избыточную variability, обеспечивать изменения ритма сердца в соответствии с переходом в новое функциональное состояние организма.

Известно, что блокада N-холинорецепторов ограничивает передачу сигналов и в симпатических, и в парасимпатических вегетативных узлах, которые интегрируют сигналы от внутренних органов, других рефлексогенных зон и нервных центров [20, 24, 25]. Обычно после введения гексаметония ЧСС повышается [10, 15, 28], а variability ритма сердца снижается, особенно в диапазонах LF и VLF. В серии с введением гексаметония и атропина variability сильно снизилась, но мощности HF- и LF-волн были почти вдвое выше, чем после введения только атропина. В серии с комбинацией гексаметония и анаприлина не произошло формирование брадикардии и усиления мощности всех волн ВСР, как после введения только анаприлина. То есть, предварительная блокада вегетативных узлов ослабила отклонение вегетативного баланса в сторону преобладания симпатических влияний (после введения атропина) и парасимпатических влияний (после введения анаприлина).

У крыс, получивших гексаметоний и атропин, стресс не вызвал заметных изменений ЧСС и ВСР. ЧСС оставалась стабильно высокой, волны спектра – очень низкими, ИН – в пределах 0,4-0,5 усл.ед., что говорит о слабой централизации управления ритмом сердца. Иными словами, комбинация блокады N-холинорецепторов в вегетативных узлах и M-холинорецепторов создает эффект еще более жесткой «фиксации напряженного состояния» организма, чем только M-холиноблокада. Это ограничивает возможности регуляторных механизмов изменять работу сердца в экстремальных условиях, затрудняет согласование ритма сердца с ритмами дыхания, артериального давления и ритмами других нервных центров. Данная серия еще раз показала, что периферические M-холинорецепторы в норме вовлечены в формирование всех волн ВСР, а не только одного из спектральных диапазонов.

У крыс, получивших гексаметоний и анаприлин, стрессогенный подъем ЧСС не наблюдался, по-видимому, из-за недостаточного выброса катехоламинов из мозгового вещества надпочечников, поскольку нервный контроль за хромоаффинными клетками надпочечников также реализуется через N-холинорецепторы [29]. Величины ЧСС, ИН и незначительные колебания мощности HF-волн в пределах средних значений, согласно [4], позволяют говорить о «фиксации ложно спокойного состояния». То есть, в случае комбинации блокады вегетативных узлов и  $\beta$ -адренорецепторов характерные стрессогенные изменения ритма сердца также не формируются. Небольшое повышение мощности VLF-волн не повлияло на структуру спектра и величину индекса централизации, но свидетельствовало о проявлении активности надсегментарных эрготропных структур. Возможно, это стало результатом реализации эффектов через M-холинорецепторы и вегетативные нервные узлы, минуя N-холинергический путь, с учетом данных о сложной структуре вегетативных ганглиев [30].

Обращая внимание на ИН и IC, отмечаем, что в условиях острого стресса они должны повышаться. Но введение блокаторов M-холинорецепторов, комбинация блокады вегетативных узлов с блокадой M-холино- и  $\beta$ -адренорецепторов приводит к резкому и стойкому повышению ИН и снижению IC, такие величины индексов сохраняются и в состоянии острого стресса. Лишь в серии с блокадой  $\beta$ -адренорецепторов при низком ИН IC превышает 1 усл.ед. Иными словами, достаточно тяжелый стресс не приводит к повышению централизации управления ритмом сердца, как должно происходить при нормальном функционировании всего набора рецепторов к вегетативным медиаторам.

Итак, для реализации стресс-индуцированных изменений ВСР в виде нарастания ЧСС, изменения мощности волн ВСР и усиления централизации управления необходимо участие и M-холинорецепторов, и  $\beta$ -адренорецепторов кардиомиоцитов, через которые все уровни регуляции реализуют влияния на работу сердца, только в этом случае возможна адекватная перестройка работы сердца, отражающаяся в изменении волновой структуры спектра ВСР. Уровень вегетативных узлов является промежуточной «станцией» интеграции между структурами ЦНС и периферическими вегетативными нервными окончаниями, поэтому его блокада делает регуляцию ритма сердца еще менее гибкой, чем блокада только периферических рецепторов к вегетативным медиаторам.

**Заключение.** В условиях стресса ритм сердца крыс характеризуется высокой частотой, умеренным повышением напряженности и централизации управления из-за усиления барорефлекторной модуляции и влияний надсегментарного уровня регуляции, что проявляется в тренде к росту мощности LF-волн и повышению мощности VLF-волн.

Блокада M-холинорецепторов полностью нивелирует стрессогенный рост ЧСС, блокада  $\beta$ -адренорецепторов не препятствует развитию тахикардии при стрессе, но

ослабляет ее. Несмотря на разницу в общей мощности волн спектра, на фоне блокады и М-холинорецепторов, и  $\beta$ -адренорецепторов не происходит усиления LF- и VLF-волн и централизации управления ритмом сердца в ходе стресса.

Блокада вегетативных узлов ослабляет изменения мощности волн ВСП, возникающие после введения как атропина, так и анаприлина, при этом способствует наибольшему снижению мощности LF и VLF-волн. В условиях стресса при комбинации блокады вегетативных узлов с блокадой М-холинорецепторов формируется стабильно напряженное состояние, а при комбинации с блокадой  $\beta$ -адренорецепторов – ложно спокойное состояние,

мощности волн ВСП практически не изменяются, что указывает на резкое ограничение возможностей для изменения ритма сердца в экстремальных условиях.

Таким образом, для реализации изменений ВСП в условиях острого напряжения необходимо нормальное функционирование не только  $\beta$ -адренорецепторов, но также периферических М-холинорецепторов и ганглионарного уровня вегетативной нервной системы. Следовательно, в формировании амплитуды всех волн спектра ВСП участвуют и симпатический, и парасимпатический каналы регуляции, в то время как частотные характеристики колебаний являются результатом активности контуров или уровней центральной регуляции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. [и др.] // Вестник аритмологии. – 2002. – № 24. – С. 65-87.
2. Elghozi, J. L. Sympathetic control of short-term heart rate variability and its pharmacological modulation / J. L. Elghozi, C. Julien // *Fundamental and Clinical Pharmacology*. – 2007. – № 21(4). – pp. 337-347.
3. Соловьева, А. Д. Методы исследования вегетативной нервной системы / А. Д. Соловьева, А. Б. Данилов, Н. Б. Хаспекова. – Москва: Вегетативные расстройства: Клиника, диагностика, лечение, 2003. – С. 44-108.
4. Курьянова, Е. В. Вегетативная регуляция сердечного ритма: результаты и перспективы исследований / Е. В. Курьянова. – Астрахань, 2011. – С. 140.
5. Шлык, Н. И. Сердечный ритм у детей, подростков и спортсменов / Н. И. Шлык. – Ижевск, 2009. – С. 254.
6. LF power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes / D. Goldstein, O. Benthon, M. Park, Y. Sharabi // *Experimental Physiology*. – 2011. – № 96(12). – pp. 1255-1261.
7. Testing the vagal withdrawal hypothesis during light exercise under autonomic blockade: a heart rate variability study / Fontollet T., Pichot V., Bringard A. [et al] // *Applied Physiology Journal*. – 2018. – № 6. – pp. 1804-1811.
8. Effect of adrenergic blockers on slow (LF) waves in rabbit heart rate / Sergeeva O. V., Akimova I. A., Antonov I. S. [et al] // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. – 2014. – № 157 (3). – pp. 295-298.
9. LF power reflects baroreflex function, not cardiac sympathetic innervation / Rahman F., Pechnik S., Gross D. [et al] // *Clinical Autonomic Research*. – 2011. – № 21. – pp. 133-141.
10. Влияние блокады вегетативных узлов, М-холино- и  $\beta$ -адренорецепторов миокарда на variability сердечного ритма нелинейных крыс / Курьянова Е. В., Трясучев А. В., Ступин В. О. [и др.] // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2020. – Т. 106. – С. 17-30.
11. Chyzh, N. A. Physiological interpretation of heart rate variability spectral analysis data / N. A. Chyzh // *Ukrainian Fiziologichnyi Zhurnal*. – 2019. – № 65(2). – pp. 31-42.
12. Ghali, M. G. Z. Mechanisms contributing to the general of Mayer waves / M. G. Z. Ghali, G. Z. Ghali // *Frontiers of Neuroscience*. – 2020. – № 14. – pp. 1-33.
13. Шейх-Заде, Ю. Р. Резонансная гипотеза происхождения variability сердечного ритма / Ю. Р. Шейх-Заде, Г. Х. Мухамбеталиев, И. Л. Чередник // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2009. – № 95(9). – С. 944-954.

14. Пшенникова, М. Г. Феномен стресса. Эмоциональный стресс и его роль в патологии: лекция / М. Г. Пшенникова. – Москва, 2001. – С. 220-353.
15. Влияние скополамина, галантамина и их сочетаний с гексаметонием и атропином на спектральные характеристики сердечного ритма нелинейных крыс / Е. В. Курьянова, Ю. Д. Жукова, А. В. Трясучев, Н. А. Горст // Сибирский научный медицинский журнал. – 2016. – № 26(3). – С. 5-12.
16. Kirillina, T. N. Peculiarities of autonomic regulation assessed by variability of hemodynamic parameters in rats with different stress resistance / T. N. Kirillina, M. A. Usacheva, L. M. Belkina // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. – 2006. – Vol. 142. – № 4. – pp. 398-402.
17. Chronic fluoxetine reduces autonomic control of cardiac rhythms in rats with congestive heart failure / Henze M., Tiniakov R., Samarel A. [et al] // *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*. – 2013. – № 304 (3). – pp. 444-454.
18. Sergeeva, O. V. Effect of atropine, propranolol, and atenolol on wave structure of heart rate oscillations in rats / O. V. Sergeeva, N. N. Alipov, V. M. Smirnov // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. – 2008. – Vol. 145. – № 4. – pp. 387-390.
19. Mestivier, D. Effects of autonomic blockers on linear and nonlinear indexes of blood pressure and heart rate in SHR / D. Mestivier, H. Dabiré, N. P. Chau // *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*. – 2001. – Vol. 281. – № 3. – pp. 1113-1121.
20. Mechanism of blood pressure and R-R variability: insights from ganglion blockade in humans / R. Zhang, K. Iwasaki, J. H. Zuckerman, K. Behbehani // *Journal of Physiology*. – 2002. – № 543(1). – pp. 337-348.
21. Катехоламины надпочечников крыс Август и Вистар при остром эмоциональном стрессе / С. С. Перцов, Е. В. Коплик, В. Краузер, Н. Михаэль, К. В. Судаков // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. – 1997. – № 123 (6). – С. 645-648.
22. Дворников, А. В. Изменение вариабельности сердечного ритма в условиях эмоционального стресса у крыс на фоне введения блокатора  $\beta_1$ -адренорецепторов / А. В. Дворников, И. В. Мухина, В. Н. Крылов // *Нижегородский медицинский журнал*. – 2003. – № 1. – С. 17-22.
23. Heart rate variability in conscious and anesthetized rats under the action of angiotensin converting enzyme inhibitors / Fateev M. M., Sidorov A. V., Grigor'eva M. V. [et al] // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. – 2012. – № 152 (5). – pp. 590-594.
24. Леви, М. Н. Нейрогуморальная регуляция работы сердца (Физиология и патофизиология сердца) / М. Н. Леви, П. Ю. Мартин. – М.: Изд-во «Медицина», 1990. – 623 с.
25. Gordan, R. Autonomic and endocrine control of cardiovascular function / R. Gordan, J. K. Gwathmey, L. H. Xie // *World Journal of Cardiology*. – 2015. – Vol. 7. – № 4. – pp. 204-214.
26. Matko, I. Receptor mediated presynaptic modulation of the release of noradrenaline in human papillary muscle / I. Matko, E. Feher, E. S. Vizi // *Cardiovascular Research Journal*. – 1994. – Vol. 28. – № 5. – pp. 700-704.
27. Лычкова, А. Э. Серотонинергическая регуляция сердечно-сосудистой и бронхолегочной систем / А. Э. Лычкова. – Москва, 2012. – С. 486.
28. Evidence that BDNF regulates heart rate by a mechanism involving increased brainstem parasympathetic neuron excitability / Wan R., Weigand L.A., Bateman R. [et al] // *Journal of Neurochemistry*. – 2014. – № 129 (4). – pp. 573-580.
29. Чумасов, Е. И. Иммуногистохимическое исследование иннервации надпочечника крысы / Е. И. Чумасов, Е. С. Петрова, Д. Э. Коржевский // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. – 2020. – №106 (11). – С. 1436-1450.
30. Ноздрачев, А. Д. Звездчатый ганглий. Структура и функции / А. Д. Ноздрачев, М. М. Фатеев. – СПб.: Изд-во «Наука», 2002. – 238 с.

## REFERENCES

1. Baevskij R.M., Ivanov G.G., Chirejkin L.V., Gavrilushkin A.P., Dovgalevskij P.Ya., Kukushkin Yu.A., Mironova T.F., Prilutskij D.A., Semenov A.V., Fedorov V. F., Fleishman A.N., Medvedev M.M. Analysis of heart rate variability when using different electrocardiographic systems (methodological guidelines). *Journal of Arrhythmology*, 2002, no. 24, pp. 65-87. (in Russ.)
2. Elghozi J.L., Julien C. Sympathetic control of short-term heart rate variability and its pharmacological modulation. *Fundamental and Clinical Pharmacology*, 2007, no. 21(4), pp. 337-347.
3. Solovyova A.D., Danilov A.B., Khaspekova N.B. Methods of studying autonomic nervous system. Moscow: Autonomic disorders: Clinical picture, diagnosis, treatment, 2003. pp. 44-108. (in Russ.)



4. Kur'yanova E.V. Heart rate autonomic regulation: study results and prospects. Astrakhan, 2011. p. 140. (in Russ.)
5. Shlyk N.I. Heart rate in children, adolescents and athletes. Izhevsk, 2009. p. 254. (in Russ.)
6. Goldstein D.S., Benthó O., Park M.Y., Sharabi Y. LF power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. *Experimental Physiology*, 2011, no. 96(12), pp. 1255-1261.
7. Fontolliet T., Pichot V., Bringard A., Fagoni N., Adami A., Tam E., Furlan R., Barthélémy J.C., Ferretti G. Testing the vagal withdrawal hypothesis during light exercise under autonomic blockade: a heart rate variability study. *Applied Physiology Journal*, 2018, no.6, pp. 1804-1811.
8. Sergeeva O.V., Akimova I.A., Antonov I.S., Luzina L.S., Alipov N.N., Kuznetsova T.E. Effect of adrenoblockers on slow (LF) waves in rabbit heart rate. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 2014, no. 157 (3), pp. 295-298.
9. Rahman F., Pechnik S., Gross D., Sewell L., Goldstein D.S. LF power reflects baroreflex function, not cardiac sympathetic innervation. *Clinical Autonomic Research*, 2011, no. 21, pp. 133-141.
10. Kuryanova E.V., Tryasuchev A.V., Stupin V.O., Zhukova Yu.D., Gorst N.A. Influence of Blockade of the Vegetative Ganglions, of Myocardial M-Cholinoreceptors and Beta-Adrenoreceptors on the Heart Rate Variability in Rats. *Russian Journal of Physiology*, 2020, vol. 106, pp. 17-30. (in Russ.)
11. Chyzh N.A. Physiological interpretation of heart rate variability spectral analysis data. *Ukrainian Fiziologichnyi Zhurnal*, 2019, no. 65 (2), pp. 31-42.
12. Ghali M.G.Z., Ghali G.Z. Mechanisms contributing to the general of Mayer waves. *Frontiers of Neuroscience*, 2020, no. 14, pp. 1-33.
13. Sheikh-Zade Yu.R., Mukhambetaliev G.Kh., Cherednik I.L. Resonance hypothesis of heart rate variability origin. *Russian Journal of Physiology*, 2009, no. 95 (9), pp. 944-954. (in Russ.)
14. Pshennikova M.G. The stress phenomenon. Emotional stress and its role in pathology: lecture. Moscow, 2001. pp. 220-353. (in Russ.)
15. Kuryanova E.V., Zhukova Yu.D., Tryasuchev A.V., Khorst N.A. Influence of scopolamine, galantamine and their combination with hexametonium and atropine on the spectral characteristics of heart rhythm of nonlinear rats. *The Siberian Scientific Medical Journal*, 2016, no. 26(3), pp. 5-12. (in Russ.)
16. Kirillina T.N., Usacheva M.A., Belkina L.M. Peculiarities of autonomic regulation assessed by variability of hemodynamic parameters in rats with different stress resistance. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 2006, vol. 142, no. 4, pp. 398-402.
17. Henze M., Tiniakov R., Samarel A., Holmes E., Scrogin K. Chronic fluoxetine reduces autonomic control of cardiac rhythms in rats with congestive heart failure. *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*, 2013, no. 304 (3), pp. 444-454.
18. Sergeeva O.V., Alipov N.N., Smirnov V.M. Effect of atropine, propranolol, and atenolol on wave structure of heart rate oscillations in rats. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 2008, vol. 145, no 4, pp. 387-390.
19. Mestivier D., Dabiré H., Chau N.P. Effects of autonomic blockers on linear and nonlinear indexes of blood pressure and heart rate in SHR. *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*, 2001, vol. 281, no. 3, pp. 1113-1121.
20. Zhang R., Iwasaki K., Zuckerman J.H., Behbehani K. Mechanism of blood pressure and R-R variability: insights from ganglion blockade in humans. *Journal of Physiology*, 2002, no. 543(1), pp. 337-348.
21. Pertsov S.S., Koplík E.V., Krauzer V., Michael N., Sudakov K.V. Adrenal gland catecholamines in August and Wistar rats in case of severe emotional stress. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 1997, no. 123 (6), pp. 645-648. (in Russ.)
22. Dvornikov A.V., Mukhina I.V., Krylov V.N. Changes in heart rate variability in conditions of emotional stress in rats when applying beta<sub>1</sub>-adrenoceptor blockers. *Nizhegorodskij meditsinskij zhurnal*, 2003, no. 1, pp. 17-22. (in Russ.)
23. Fateev M.M., Sidorov A.V., Grigor'eva M.V., Rakov A.A., Fateeva K.M. Heart rate variability in conscious and anesthetized rats under the action of angiotensin converting enzyme inhibitors. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 2012, no. 152 (5), pp. 590-594.
24. Levi M.N., Martin P.Yu. Neurohumoral heart regulation (Heart physiology and pathophysiology). Moscow: Meditsina, 1990. 623 p. (in Russ.)
25. Gordan R., Gwathmey J.K., Xie L.H. Autonomic and endocrine control of cardiovascular function. *World Journal of Cardiology*, 2015, vol. 7, no. 4, pp. 204-214.
26. Matko I., Feher E., Vizi E.S. Receptor mediated presynaptic modulation of the release of noradrenaline in human papillary muscle. *Cardiovascular*

- Research Journal*, 1994, vol. 28, no. 5, pp. 700-704.
27. Lychkova A.E. Serotonergic regulation of cardiovascular and bronchopulmonary systems. Moscow, 2012. p. 486. (in Russ.)
28. Wan R., Weigand L.A., Bateman R., Griffioen K., Mendelowitz D., Mattson M.P. Evidence that BDNF regulates heart rate by a mechanism involving increased brainstem parasympathetic neuron excitability. *Journal of Neurochemistry*, 2014, no. 129 (4), pp. 573-580.
29. Chumasov E.I., Petrova E.S., Korzhevskij D.E. Immunohistochemical Study of Rat Adrenal Gland Innervation. *Russian Physiological Journal*, 2020, no. 106 (11), pp. 1436-1450. (in Russ.)
30. Nozdrachev A.D., Fateev M.M. *The stellate ganglion. Structure and functions*. Saint Petersburg: Nauka, 2002. 238 p. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Юлия Дмитриевна Жукова** – ассистент кафедры биотехнологии, зоологии и аквакультуры, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева», Астрахань, e-mail: iuliya.zhukova@yandex.ru.

**Евгения Владимировна Курьянова** – профессор кафедры физиологии, морфологии, генетики и биомедицины, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева», Астрахань, e-mail: teplyconf@yandex.ru.

**Андрей Валерьевич Трясучев** – доцент кафедры физиологии, морфологии, генетики и биомедицины, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева», Астрахань, e-mail: tryandval@mail.ru.

**Виктор Олегович Ступин** – ассистент кафедры физиологии, морфологии, генетики и биомедицины, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева», Астрахань, e-mail: neverforgettoday@bk.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Yulia Dmitrievna Zhukova** – Assistant of the Department of Biotechnology, Zoology and Aquaculture, Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, e-mail: iuliya.zhukova@yandex.ru.

**Evgenia Vladimirovna Kur'yanova** – Professor of the Department of Physiology, Morphology, Genetics and Biomedicine, Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, e-mail: teplyconf@yandex.ru.

**Andrej Valer'evich Tryasuchev** – Associate Professor of the Department of Physiology, Morphology, Genetics and Biomedicine, Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, e-mail: tryandval@mail.ru.

**Viktor Olegovich Stupin** – Assistant of the Department of Physiology, Morphology, Genetics and Biomedicine, Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, e-mail: neverforgettoday@bk.ru.

**Для цитирования:** Особенности стресс-индуцированных изменений variability сердечного ритма крыс на фоне блокады вегетативных ганглиев, м-холино- и  $\beta$ -адренорецепторов / Ю. Д. Жукова, Е. В. Курьянова, А. В. Трясучев, В. О. Ступин // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_7

**For citation:** Zhukova Yu.D., Kur'yanova E.V., Tryasuchev A.V., Stupin V.O. The features of stress-induced changes of heart rate variability in rats in case of the blockade of autonomic ganglions, muscarinic acetylcholinergic receptors and  $\beta$ -adrenergic receptors. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_7

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_8  
УДК 612.018.2

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_8  
UDC 612.018.2

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ И ПАТОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ МИОКИНА ИРИСИНА

А.Н. Инюшкин, Т.С. Исакова, А.А. Инюшкин, И.Г. Кретова

Самарский национальный исследовательский университет, г. Самара, Россия

**Аннотация.** Открытый десятилетие назад миокин ирисин обладает широким спектром физиологической и патофизиологической активности. Основным местом продукции ирисина являются сокращающиеся скелетные мышцы, где он образуется в результате расщепления фибронектин тип III домен-содержащего протеина 5 (FNDC5). Наиболее известным эффектом ирисина является способность трансформировать белую жировую ткань в бурую. Ирисин присутствует в плазме крови, он способствует усвоению глюкозы скелетными мышцами, улучшает липидный обмен, облегчает депонирование глюкозы в печени, препятствует возникновению гипергликемии и гиперлипидемии, благодаря чему оказывает благоприятное влияние в патогенезе ожирения и сахарного диабета 2 типа. Ирисин воздействует на костную ткань, увеличивая минеральную плотность, улучшая геометрию и прочность кости. Ирисин обладает противоопухолевой и противовоспалительной активностью, проникает через гематоэнцефалический барьер. Кроме этого, его экспрессия была зарегистрирована в различных отделах мозга. На уровне центральной нервной системы ирисин является нейрохимическим фактором, обуславливающим нейропротекторное влияние физических упражнений и смягчение окислительного стресса, улучшающим синаптическую пластичность, уменьшающим ишемическое повреждение нейронов, препятствующим нарушениям памяти и синаптической передачи при болезни Альцгеймера. Широкий набор положительных эффектов ирисина является основой для разработки новых терапевтических методов профилактики и лечения целого ряда заболеваний.

**Ключевые слова:** ирисин, миокины, белый и бурый жир, метаболические нарушения.

## PHYSIOLOGICAL AND PATHOPHYSIOLOGICAL ROLE OF MYOKINE IRISIN

A.N. Inyushkin, T.S. Isakova, A.A. Inyushkin, I.G. Kretova

Samara National Research University, Samara, Russia

**Annotation.** Discovered a decade ago, myokine irisin has a wide spectrum of physiological and pathophysiological activity. The main site of irisin production is contracting skeletal muscles, where it is produced by cleavage of fibronectin type III domain-containing protein 5 (FNDC5). The most known effect of irisin is the ability to transform white adipose tissue into brown. Irisin is present in the blood plasma, it promotes the uptake of glucose by skeletal muscles, improves lipid metabolism, facilitates the deposition of glucose in the liver, prevents the occurrence of hyperglycaemia and hyperlipidaemia, due to which it has a beneficial effect in the pathogenesis of obesity and type 2 diabetes. Irisin acts on bone tissue, increasing the mineral density, improving bone geometry and strength. Irisin has antitumor and anti-inflammatory activity, penetrates the blood-brain barrier. In addition, its expression has been registered in various parts of the brain. At the central nervous system level, irisin is a neurochemical factor responsible for the neuroprotective effects of exercise and mitigation of oxidative stress, improving synaptic plasticity, reducing ischemic neuronal damage, and preventing memory and synaptic impairment in Alzheimer's disease. A wide range of positive effects of irisin is the basis for the development of new therapeutic methods for the prevention and treatment of a number of diseases.

**Keywords:** irisin, myokines, white and brown fat, metabolic disorders.

**Введение.** Ирисин был впервые описан в 2012 году как регуляторный фактор, образующийся в мышцах при их сокращениях [1]. Ирисин является миокином, продуцируемым как результат расщепления и модификации фибронектин тип III домен-содержащего протеина 5 (FNDC5). В свою очередь, FNDC5 является одним из целевых протеинов, активируемых коактиватором транскрипции генов регуляции метаболизма PGC1 $\alpha$ . Boström et al. [1] показали, что экспрессия PGC1 $\alpha$  в работающих скелетных мышцах стимулирует образование FNDC5. В экспериментах с обработкой подкожного белого жира протеином FNDC5 было установлено, что в этих условиях от C-конца молекулы FNDC5 отщепляется водорастворимый 112-аминокислотный пептид, названный ирисин. Впоследствии в наблюдениях на человеке [2-3] и в модельных исследованиях на грызунах [4-5] была многократно продемонстрирована экспрессия мРНК FNDC5 при физической нагрузке. Было доказано присутствие ирисина в плазме крови [3, 6], и установлено, что данное вещество является не только миокином, но и адипокином [7].

В настоящем обзоре представлены современные представления об основных сторонах спектра физиологической и патофизиологической активности ирисина.

**Методы и организация исследования.** Проведен теоретический анализ научных публикаций по данным электронных баз Web of Science (Clarivate.com), Scopus, eLibrary, Google Scholar по проблеме физиологических и патофизиологических эффектов миокина ирисина и механизмов его активности. В обзор включены результаты анализа 52 источников литературы.

**Результаты исследования и их обсуждение.** *Ирисин – медиатор превращения белого жира в бурый*

Уже в первой публикации о вновь открытом миокине ирисина Boström et al. [1] описали ключевую роль этого вещества в механизме превращения белых адипоцитов в бурые при физической нагрузке и в

активации генов, отвечающих за термогенез у мышечных. Белые и бурые адипоциты различаются не только морфологически, но и функционально. Если белые адипоциты выполняют роль депо триглицеридов, то бурые специализируются на энергетическом катаболизме и теплопродукции. В настоящее время не вызывает сомнения наличие функционально активных бурых адипоцитов не только у детей, но и у взрослых [8]. Кроме этого, в белой жировой ткани описаны клетки, активно экспрессирующие протеин внутренней мембраны митохондрий UCP1 и приобретающие свойства бурого жира под действием цАМФ [9]. Клетки данного типа рассматриваются как третий (не белый и не бурый) тип адипоцитов и носят название «бежевых» (“beige” или “brite”). Индукция бежевых адипоцитов в подкожной белой жировой ткани с последующей трансформацией ее в бурую происходит под влиянием ирисина посредством p38 MAPK и ERK внутриклеточных сигнальных путей [10]. Способность ирисина индуцировать экспрессию бежевых и бурых адипоцитов открывает потенциальную перспективу разработки новых путей фармакологической коррекции метаболических нарушений при ожирении и резистентности к инсулину. Действительно, активированные бежевые адипоциты увеличивают продукцию тепла за счет быстрого потребления глюкозы и жира, тем самым способствуют снижению веса, улучшению толерантности к глюкозе и снижению резистентности к инсулину [11].

В исследовании, выполненном на мышцах с помощью чувствительной неинвазивной методики МРТ, было продемонстрировано, что низкие дозы ирисина вызывают значительное уменьшение размеров белых адипоцитов и их липидных включений, а также появление признаков трансформации этих адипоцитов в бурые [12]. Особенно выраженным влияние ирисина оказалось на мышцах, получавших диету, обогащенную липидами. У этих животных, наряду с характерными изменениями белой жировой

ткани, ирисин вызывал значительное снижение исходно повышенного уровня глюкозы и холестерина.

Учитывая, что ирисин является продуктом расщепления FNDC5, большой интерес вызывают факторы, способствующие экспрессии гена FNDC5. Главным среди этих факторов является физическая нагрузка. К настоящему времени выполнено значительное количество исследований регуляции мРНК FNDC5 в скелетных мышцах *in vivo* и *in vitro*. В пионерской работе Boström et al. [1] после 3-недельной произвольной локомоторной активности мышей в беговом колесе уровень мРНК FNDC5 повышался приблизительно в 2,8 раза по сравнению с контрольными животными. Усиленная экспрессия FNDC5 сопровождалась повышением уровня мРНК PGC1 $\alpha$  примерно в 2,5 раза. У человека регулярная 10-недельная тренировка на выносливость также приводила к приблизительно двукратному росту экспрессии генов FNDC5 и PGC1 $\alpha$  [1]. Стоит заметить, что попытки воспроизведения этих результатов не всегда были полностью успешными. Так, в работах Timmons et al. [13], Pekkala et al. [14], Norheim et al. [15] сообщалось о росте экспрессии гена FNDC5 под влиянием тренировок лишь в 1,3-1,4 раза. Также не всегда прослеживается корреляция между уровнем экспрессии генов FNDC5 и PGC1 $\alpha$ . Так, в работе Norheim et al. [15] выраженный рост уровня мРНК PGC1 $\alpha$  (в 7,4 раза), вызванный интенсивной физической нагрузкой, не сопровождался существенными изменениями уровня мРНК FNDC5.

В исследованиях *in vitro* на первичной культуре мышечной ткани человека исследовано влияние на экспрессию FNDC5 и PGC1 $\alpha$  веществ, фармакологически активирующих внутриклеточные сигнальные каскады, которые в физиологических условиях передают сигнал в миоцитах при физической нагрузке – кофеина, иономицина, форсколина. Установлено, что эти вещества значительно повышают уровень экспрессии PGC1 $\alpha$ , однако экспрессия

FNDC5, наоборот, имела тенденцию к снижению [16]. Аналогичные результаты были получены в другой модели *in vitro*, в которой использовали электростимуляцию культуры мышечной ткани импульсным током. В этих экспериментальных условиях также обнаружился значительный рост экспрессии PGC1 $\alpha$  не сопровождавшийся существенным повышением экспрессии FNDC5 [17]. Возможным объяснением отсутствия прямой корреляции между экспрессией FNDC5 и PGC1 $\alpha$  при физической нагрузке является гипотеза Norheim et al. [15] о том, что Fndc5 не является непосредственным таргетным геном для PGC1 $\alpha$ , но активация экспрессии этого гена со стороны PGC1 $\alpha$  может осуществляться опосредованно через вторичные механизмы.

Важную роль в трансформации белых адипоцитов в бурые под влиянием ирисина играет сигнальная система аденозинмонофосфат-киназы AMPK $\alpha$ 1. На культуре клеток 3T3-L1 продемонстрировано, что аппликация ирисина вызывает такую трансформацию путем повышения уровня мРНК и протеинов UCP1, PGC1 $\alpha$  и регуляторов транскрипции генов бежевых адипоцитов PRDM16, TMEM26, CD137 в подкожной жировой ткани [18-19]. Ирисин также ингибировал адипогенную дифференцировку человеческих висцеральных адипоцитов, стимулировал митохондриальный метаболизм и гликолиз. Этот эффект не был связан с изменениями экспрессии протеина UCP1 [19]. В этом исследовании было установлено, что на уровне висцеральных адипоцитов (в отличие от подкожной жировой ткани) p38 MAPK и ERK сигнальные системы в реализации эффектов ирисина не участвуют.

*Ирисин в патогенезе ожирения и сахарного диабета*

Жировая ткань является формой депонирования энергии, однако чрезмерное накопление жира в организме приводит к ожирению. Ожирение связано с риском для жизни в связи с перспективой развития

таких заболеваний как сахарный диабет 2 типа, инсульт, болезни сердца, онкологические заболевания. Ирисин способствует усвоению глюкозы скелетными мышцами, улучшает липидный обмен, облегчает депонирование глюкозы в печени, препятствует возникновению гипергликемии и гиперлипидемии при метаболическом синдроме и ожирении [20]. Массовые исследования пациентов с ожирением позволили выявить наличие положительной корреляции между такими показателями, как индекс массы тела, масса жировой ткани, окружность талии, соотношение талии и бедер, мышечная масса с одной стороны и концентрация ирисина в сыворотке крови – с другой [21]. Вместе с тем, роль ирисина в метаболизме глюкозы, а также связь между уровнем ирисина и концентрацией глюкозы, инсулина и резистентностью к инсулину пока остаются недостаточно изученными.

В исследовании, выполненном на жителях Китая с избыточным весом и ожирением, установлено, что низкое содержание ирисина в сыворотке крови обычно сочетается с курением, сахарным диабетом 2 типа, дислипидемией и наличием факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний [22]. При ожирении уровень концентрации ирисина зависит от этиологии. Например, при генетической форме ожирения у пациентов с синдромом Прадера-Вилли содержание ирисина в сыворотке крови значительно ниже, чем при других формах ожирения, не обусловленных генетическими факторами [21].

Характерно снижение концентрации ирисина в сыворотке крови у больных сахарным диабетом 2 типа [23]. Известно, что при диабете 2 типа основной причиной смерти являются сосудистые осложнения; при этом продемонстрировано, что ирисин препятствует эндотелиальной дисфункции за счет снижения окислительного стресса через ингибирование сигнальных путей, включающих NF- $\kappa$ B/iNOS и PKC-/NADPH оксидазы [24]. Результаты этих исследований показывают, что ирисин и его аналоги

могут быть потенциальными лекарственными препаратами для лечения осложнений сахарного диабета.

#### *Ирисин и метаболизм костной ткани*

Одной из актуальных проблем современной медицины является профилактика и лечение потери костной массы, обычно встречающейся у людей пожилого возраста. Остеопороз увеличивает сопутствующие заболевания, снижает качество жизни и мобильность [25]. Экспериментальные исследования на мышах показали, что ирисин непосредственно воздействует на костную ткань, увеличивая минеральную плотность, улучшая геометрию и прочность кости [26]. Под влиянием ирисина стромальные клетки костного мозга эффективно дифференцируются в зрелые остеобласты [27]. Ирисин повышает в плазме уровень концентрации склеростина – специфического продукта остецитов, вызывающего резорбцию кости и инициирующего ремоделирование кости. В культуре остецитов под влиянием ирисина уровень мРНК склеростина также повышается дозозависимым образом [28]. Таким образом, ирисин может защищать остециты от апоптоза *in vitro* и индуцировать экспрессию склеростина *in vivo*.

Исследования *in vitro* позволили понять важные механизмы активности ирисина на уровне костной ткани. Установлено, что ирисин способствует пролиферации остеобластов, повышая уровень экспрессии регуляторов их транскрипции, таких как *osterix/sp7*, *RUNX2* и маркеров дифференцировки остеобластов, включая щелочную фосфатазу, коллаген типа 1 альфа-1, остеопонтин и остеокальцин. Кроме этого, ирисин стимулировал отложение кальция и повышал активность алкалин-фосфатазы в культуре остеобластов [29]. Остеогенное действие ирисина опосредуется активацией сигнальных систем ERK и p38 MAPK; специфическое фармакологическое ингибирование этих путей приводило к уменьшению регулирующего действия ирисина на активность щелочной

фосфатазы и экспрессии RUNX2. Помимо стимуляции ремоделирования кости, ирисин также демонстрирует свойства контррегуляторного гормона, поскольку действует непосредственно на прогениторы остеокластов в направлении усиления дифференцировки и стимуляции резорбции кости [30]. Этот эффект объясняется стимуляцией ирисином дифференциальной экспрессии генов-маркеров резорбции и дифференцировки остеокластов.

Недавно начатые клинические испытания ирисина свидетельствуют о его положительном влиянии на формирование костной ткани. Serbest et al. [31] продемонстрировали, что концентрация ирисина в крови повышается в процессе сращения перелома, а поскольку рецепторы ирисина найдены в костной ткани человека, он способен оказывать влияние на сращение. В исследовании на спортсменах выявлена положительная корреляция между концентрацией ирисина и минеральной плотностью костной ткани [32]. В работе, выполненной на мышах с нокаутом генов FNDC5/ирисина, описано значительное снижение плотности костей и замедленное их развитие у этих животных [33]. Накопленные данные предполагают, что ирисин является ключевым веществом в метаболизме костной ткани. Он рассматривается в качестве потенциального терапевтического средства для лечения и профилактики остеопороза, саркопении и других заболеваний костей.

#### *Роль ирисина в канцерогенезе и противовоспалительная активность*

В настоящее время активно изучается роль ирисина в канцерогенезе. Общеизвестно, что ожирение является фактором риска онкологических заболеваний, поэтому ирисин как вещество, противодействующее ожирению, потенциально может обладать антиканцерогенными свойствами. Действительно, в культуре опухолевых клеток молочной железы человека была продемонстрирована способность ирисина значительно снижать количество злокачественных эпителиальных клеток (MCF-7),

доброкачественных эпителиальных клеток (MCF-10a) и злокачественных агрессивных эпителиальных клеток (MDA-MB-231) [34]. Установлено, что ирисин может затормозить характерный признак рака – сопротивление гибели клеток за счет повышения активности каспазы 3 и апоптоза [35]. Повышенный уровень ирисина в сыворотке крови может снизить риск развития рака молочной железы на 90%. При этом характерно, что пациенты, у которых развивается рак молочной железы, имеют значительно более низкие уровни ирисина в сыворотке, чем здоровые люди [36]. В другом исследовании выявлена способность ирисина тормозить рост клеток рака поджелудочной железы линий Panc03.27 и MIA PaCa-2 за счет активации AMPK сигнального пути и подавления передачи сигналов mTOR. Это приводило к торможению эпителиально-мезенхимальной трансформации и роста клеток опухоли [37].

Имеются данные о том, что повышение уровня ирисина приводит к снижению пролиферации, жизнеспособности и инвазивности клеток рака легкого путем ингибирования эпителиально-мезенхимальной трансформации, опосредованной RIP3K/AKT [38]. Ирисин может блокировать эпителиально-мезенхимальную трансформацию, вызванную IL-6 путем ингибирования сигнального пути STAT3 при остеосаркоме [39]. Было обнаружено, что ирисин влияет на экспрессию фактора транскрипции Snail, участвующего в эпителиально-мезенхимальной трансформации и ингибирующего транскрипцию гена, кодирующего E-кадгерин в клетках эпителиального происхождения [40]. Уровень ирисина значительно увеличивается у пациентов с опухолями почек, следовательно, ирисин можно использовать в качестве биомаркера для диагностики рака почки [41].

Ирисин обладает противовоспалительной активностью. Введение ирисина приводило к снижению экспрессии мРНК провоспалительных цитокинов TNF- $\alpha$ , IL-6, MCP-1 $\alpha$  и MIP-1 $\alpha$  и повышению экспрессии противовоспалительного цитокина IL-10 в

подкожной и висцеральной белой жировой ткани. Имеются данные о том, что противовоспалительное действие ирисина связано с его способностью активировать аутофагию [42-43].

#### *Центральная активность ирисина*

Давно известно о благотворном влиянии физических упражнений на функции нервной системы. В исследованиях на грызунах было показано, что регулярная физическая активность умеренной интенсивности усиливает дифференцировку и пролиферацию нейронов, способствуют их выживанию и миграции [44]. Физические упражнения облегчают состояние при многих неврологических заболеваниях, оказывая положительное влияние на нервную систему, поэтому предполагается, что и миокин ирисин, продуцируемый работающими скелетными мышцами, должен оказывать положительное влияние при этих заболеваниях. Экспрессия ирисина была зарегистрирована в различных отделах мозга: гиппокампе, гипоталамусе, среднем мозге, мозжечке, коре и продолговатом мозге [45-46]. Ирисин присутствует в цереброспинальной жидкости [47]. Он проникает через гематоэнцефалический барьер и индуцирует экспрессию BDNF в мозге; в свою очередь BDNF обладает широким спектром центральной активности, в частности, участвует в синаптической пластичности [45].

В экспериментах на грызунах с моделированием церебрального ишемического инсульта было установлено, что положительное действие ирисина при этом состоянии может быть обусловлено его стимулирующим влиянием на экспрессию BDNF [48]. Кроме этого, ирисин ингибирует экспрессию и активность фермента матриксной металлопротеиназы (ММП-9) в ткани головного мозга и тем самым защищает гематоэнцефалический барьер при ишемическом инсульте [49]. При церебральной ишемии введение ирисина помогает уменьшить объем инфаркта и отек головного мозга, проявления неврологического

дефицита и снижение веса тела. Уменьшение ишемического повреждения нейронов под действием ирисина опосредуется активацией PIP3K/AKT и ERK1/2 сигнальных путей [50].

Кроме BDNF, в реализации центральной активности ирисина участвуют и другие посредники. Например, в стимуляции ирисинем пролиферации и нейрогенеза в гиппокампе участвует сигнальная система STAT3. Ирисин рассматривается как потенциальное терапевтическое средство при болезни Альцгеймера, поскольку он способен снижать влияние ряда патогенетических факторов развития этого заболевания, в частности, окислительного стресса, дисбаланса нейротрофических факторов, инсулинорезистентности, нарушения нейрогенеза [51]. Ирисин проявляет защитное действие против aberrантной экспрессии генов, связанных с синапсами, что указывает на его потенциальную роль в ослаблении нарушений памяти и синаптической передачи при болезни Альцгеймера [52]. Таким образом, FNDC5 и ирисин являются медиаторами положительного влияния физических упражнений на память и синаптическую передачу. Эти вещества в настоящее время рассматриваются в рамках новой терапевтической стратегии для защиты от синаптической дисфункции, для повышения мозговой активности и профилактики нарушений памяти.

**Заключение.** Материалы настоящего обзора показывают, что открытый десятилетие назад миокин ирисин обладает широким спектром физиологической и патофизиологической активности. Среди наиболее важных эффектов ирисина – способность трансформировать белую жировую ткань в бурую, благоприятное влияние в патогенезе ожирения, сахарного диабета 2 типа, болезни Альцгеймера, церебральной ишемии, онкологических заболеваний. Установлено, что ирисин является нейрохимическим фактором, обуславливающим благотворное влияние физических упражнений, в частности их нейропротекторное



действие и смягчение окислительного стресса. Все это является основой для перспективных разработок новых

терапевтических методов профилактики и лечения целого ряда заболеваний с использованием ирисина.

**Финансирование.** Работа поддержана грантом Российского научного фонда №23-25-00152.

**Financing.** The work was supported by the grant of the Russian Science Foundation №23-25-00152.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A PGC1 $\alpha$ -dependent myokine that drives browning of white fat and thermogenesis / Boström P., Wu J., Jedrychowski M. P. [et al] // *Nature*. – 2012. – Vol. 481(7382). – pp. 463-468.
2. FNDC5 and irisin in humans: I. Predictors of circulating concentrations in serum and plasma and II. mRNA expression and circulating concentrations in response to weight loss and exercise / Huh J. Y., Panagiotou G., Mougios V. [et al] // *Metabolism*. – 2012. – Vol. 61. – pp. 1725-1738.
3. Expression of the irisin precursor FNDC5 in skeletal muscle correlates with aerobic exercise performance in patients with heart failure / Lecker S. H., Zavin A., Cao P. [et al] // *Circ. Heart Fail.* – 2012. – Vol. 5. – pp. 812-818.
4. Irisin-immunoreactivity in neural and nonneural cells of the rodent / Dun S. L., Lyu R. M., Chen Y. H. [et al] // *Neurosci.* – 2013. – Vol. 240. – pp. 155-162.
5. Elevated skeletal muscle irisin precursor FNDC5 mRNA in obese OLETF rats / Roberts M. D., Bayless D. S., Company J. M. [et al] // *Metabolism*. – 2013. – Vol. 62. – pp. 1052-1056.
6. Lower circulating irisin is associated with type 2 diabetes mellitus / Liu J. J., Wong M. D., Toy W. C. [et al] // *J Diabetes Complications*. – 2013. – Vol. 27. – pp. 365-369.
7. FNDC5/irisin is not only a myokine but also an adipokine / Roca-Rivada A., Castela C., Senin L. L. [et al] // *PLoS One*. – 2013. – Vol. 8. – Art. № e60563.
8. Functional brown adipose tissue in healthy adults / Virtanen K. A., Lidell M. E., Orava J. [et al] // *N. Engl. J. Med.* – 2009. – Vol. 360. – pp. 1518-1525.
9. Occurrence of brown adipocytes in rat white adipose tissue: molecular and morphological characterization / Cousin B., Cinti S., Morroni M. [et al] // *J. Cell. Sci.* – 1992. – Vol. 103. – pp. 931-942.
10. Irisin stimulates browning of white adipocytes through mitogen-activated protein kinase p38 MAP kinase and ERK MAP kinase signaling / Zhang Y., Li R., Meng Y. [et al] // *Diabetes*. – 2014. – Vol. 63. – pp. 514-525.
11. An update on the role of irisin in the regulation of endocrine and metabolic functions / Mahgoub M. O., D'Souza C., Al Darmaki R. [et al] // *Peptides*. – 2018. – Vol. 104. – pp. 15-23.
12. Irisin induces white adipose tissue browning in mice as assessed by magnetic resonance imaging / Chen Y., Ding J., Zhao Y. [et al] // *Exp. Biol. Med.* – 2021. – Vol. 246. – pp. 1597-1606.
13. Is irisin a human exercise gene? / J. A. Timmons, K. Baar, P. K. Davidsen, P. J. Atherton // *Nature*. – 2012. – Vol. 488. – pp. E9-10.
14. Are skeletal muscle FNDC5 gene expression and irisin release regulated by exercise and related to health? / Pekkala S., Wiklund P. K., Hulmi J. J. [et al] // *J. Physiol.* – 2013. – Vol. 591. – pp. 5393-5400.
15. The effects of acute and chronic exercise on PGC-1 $\alpha$ , irisin and browning of subcutaneous adipose tissue in humans / Norheim F., Langleite T. M., Hjorth M. [et al] // *FEBS Letters*. – 2014. – Vol. 281. – pp. 739-749.
16. Effect of endurance training on skeletal muscle myokine expression in obese men: identification of apelin as a novel myokine / Besse-Patin A., Montastier E., Vinel C. [et al] // *Int. J. Obes.* – 2014. – Vol. 38. – pp. 707-713.
17. Evidence against a beneficial effect of irisin in humans / Raschke S., Elsen M., Gassenhuber H. [et al] // *PLoS ONE*. – 2013. – Vol. 8. – Art. № e73680.
18. Irisin promotes the browning of white adipocytes tissue by AMPK $\alpha$ 1 signaling pathway / Luo X., Li J., Zhang H. [et al] // *Res. Vet. Sci.* – 2022. – Vol. 152. – pp. 270-276.
19. Effects of irisin on the differentiation and browning of human visceral white adipocytes / Li H., Zhang Y., Wang F. [et al] // *Am J Transl Res.* – 2019. – Vol. 11. – № 12. – pp. 7410-7421.
20. Irisin, an exercise-induced myokine as a metabolic regulator: An updated narrative review / N. Chen, Q. Li, J. Liu, S. Jia // *Diabetes. Metab. Res. Rev.* – 2016. – Vol. 32. – pp. 51-59.

21. Irisin levels in genetic and essential obesity: clues for a potential dual role / Mai S., Grugni G., Mele C. [et al] // *Sci. Rep.* – 2020. – Vol. 10. – Art. № 1020.
22. Inverse correlation between serum irisin and cardiovascular risk factors among Chinese overweight/obese population / Liu R., Zhang Q., Peng N. [et al] // *BMC Cardiovasc. Disord.* – 2021. – Vol. 21. – Art. № 570.
23. Serum irisin levels in new-onset type 2 diabetes / Choi Y.-K., Kim M.-K., Bae K. H. [et al] // *Diabetes Res. Clin. Pract.* – 2013. – Vol. 100. – pp. 96-101.
24. Irisin improves endothelial function in type 2 diabetes through reducing oxidative/nitrative stresses / Zhu D., Wang H., Zhang J. [et al] // *J. Mol. Cell. Cardiol.* – 2015. – Vol. 87. – pp. 138-147.
25. An overview of osteoporosis and frailty in the elderly / Li G., Thabane L., Papaioannou A. [et al] // *BMC Musculoskelet. Disord.* – 2017. – Vol. 18. – Art. № 46.
26. The myokine irisin increases cortical bone mass / Colaianni G., Cuscito C., Mongelli T. [et al] // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2015. – Vol. 112. – pp. 12157-12162.
27. Irisin enhances osteoblast differentiation in vitro / Colaianni G., Cuscito C., Mongelli T. [et al] // *Int. J. Endocrinol.* – 2014. – Vol. 2014. – Art. № 902186.
28. Irisin mediates effects on bone and fat via  $\alpha$ V integrin receptors / Kim H., Wrann C. D., Jedrychowski M. [et al] // *Cell.* – 2018. – Vol. 175. – pp. 1756-1768.
29. Irisin promotes osteoblast proliferation and differentiation via activating the MAP kinase signaling pathways / Qiao X., Nie Y., Ma Y. [et al] // *Sci. Rep.* – 2016. – Vol. 6. – pp. 1-12.
30. Irisin directly stimulates osteoclastogenesis and bone resorption in vitro and in vivo / Estell E. G., Le P. T., Vegting Y. [et al] // *eLife.* – 2020. – Vol. 9. – Art. № e58172.
31. The irisin hormone profile and expression in human bone tissue in the bone healing process in patients / S. Serbest, U. Tiftikçi, H. B. Tosun, U. Kışa // *Med. Sci. Monit.* – 2017. – Vol. 23. – Art. № 4278.
32. Irisin levels are lower in young amenorrheic athletes compared with eumenorrheic athletes and non-athletes and are associated with bone density and strength estimates / Singhal V., Lawson E. A., Ackerman K. E. [et al] // *PLoS ONE.* – 2014. – Vol. 9. – Art. № e100218.
33. Irisin deficiency disturbs bone metabolism / Zhu X., Li X., Wang X. [et al] // *J. Cell. Physiol.* – 2021. – Vol. 236. – pp. 664-676.
34. Maalouf, G.-E. Exercise-induced irisin, the fat browning myokine, as a potential anticancer agent / G.-E. Maalouf, D. El Khoury // *J. Obes.* – 2019. – Vol. 2019. – Art. № 6561726.
35. Hanahan, D. Hallmarks of cancer: The next generation / D. Hanahan, R. A. Weinberg // *Cell.* – 2011. – Vol. 144. – pp. 646-674.
36. Serum irisin levels are lower in patients with breast cancer: Association with disease diagnosis and tumor characteristics / Provatopoulou X., Georgiou G. P., Kalogera E. [et al] // *BMC Cancer.* – 2015. – Vol. 15. – Art. № 898.
37. Irisin inhibits pancreatic cancer cell growth via the AMPK-mTOR pathway / Liu J., Song N., Huang Y. [et al] // *Sci. Rep.* – 2018. – Vol. 8. – pp. 1-10.
38. Irisin suppresses the migration, proliferation, and invasion of lung cancer cells via inhibition of epithelial-to-mesenchymal transition / Shao L., Li H., Chen J. [et al] // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* – 2017. – Vol. 485. – pp. 598-605.
39. Irisin reverses the IL-6 induced epithelial-mesenchymal transition in osteosarcoma cell migration and invasion through the STAT3/Snail signaling pathway / Kong G., Jiang Y., Sun X. [et al] // *Oncol. Rep.* – 2017. – Vol. 38. – pp. 2647-2656.
40. The role of irisin in cancer disease / A. Pinkowska, M. Podhorska-Okolow, P. Dziegiel, K. Nowinska // *Cells.* – 2021. – Vol. 10. – Art. № 1479.
41. The diagnostic value of FNDC5/Irisin in renal cell cancer / Altay D. U., Keha E. E., Karaguzel E. [et al] // *Int. Braz. J. Urol.* – 2018. – Vol. 44. – pp. 734-739.
42. Irisin and autophagy: First update / Pesce M., Ballerini P., Paolucci T. [et al] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2020. – Vol. 21. – Art. № 7587.
43. Xin, T. Irisin activates Opa1-induced mitophagy to protect cardiomyocytes against apoptosis following myocardial infarction / T. Xin, C. Lu // *Aging.* – 2020. – Vol. 12. – Art. № 4474.
44. Intense exercise promotes adult hippocampal neurogenesis but not spatial discrimination / So J. H., Huang C., Ge M. [et al] // *Front. Cell. Neurosci.* – 2017. – Vol. 11. – Art. № 13.
45. Exercise induces hippocampal BDNF through a PGC-1 $\alpha$ /FNDC5 pathway / Wrann C. D., White J. P., Salogiannis J. [et al] // *Cell Metab.* – 2013. – Vol. 18. – № 5. – pp. 649-659.
46. Jodeiri Farshbaf, M. Multiple roles in neuroprotection for the exercise derived myokine Irisin /

- M. Jodeiri Farshbaf, K. Alvina // *Front. Aging Neurosci.* – 2021. – Vol. 13. – Art. № 167.
47. The identification of irisin in human cerebrospinal fluid: Influence of adiposity, metabolic markers, and gestational diabetes / Piya M. K., Harte A. L., Sivakumar K. [et al] // *J. Physiol. Endocrinol. Metab.* – 2014. – Vol. 306. – pp. E512-E518.
48. Irisin peptide protects brain against ischemic injury through reducing apoptosis and enhancing BDNF in a rodent model of stroke / Y. Asadi, F. Gorjipour, S. Behrouzifar, A. Vakili // *Neurochem. Res.* – 2018. – Vol. 43. – pp. 1549-1560.
49. Effects of irisin on the dysfunction of blood-brain barrier in rats after focal cerebral ischemia/reperfusion / Guo P., Jin Z., Wu H. [et al] // *Brain Behav.* – 2019. – Vol. 9. – Art. № e01425.
50. The novel exercise-induced hormone irisin protects against neuronal injury via activation of the Akt and ERK1/2 signaling pathways and contributes to the neuroprotection of physical exercise in cerebral ischemia / Li D.-J., Li Y.-H., Yuan H.-B. [et al] // *Metabolism.* – 2017. – Vol. 68. – pp. 31-42.
51. Kim, O. Y. The role of irisin in Alzheimer's disease / O. Y. Kim, J. Song // *J. Clin. Med.* – 2018. – Vol. 7. – Art. № 407.
52. MAP/microtubule affinity regulating kinase 4 inhibitory potential of irisin: a new therapeutic strategy to combat cancer and Alzheimer's disease / Waseem R., Anwar S., Khan S. [et al] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2021. – Vol. 22. – Art. № 10986.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Алексей Николаевич Инюшкин** – заведующий кафедрой физиологии человека и животных, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, e-mail: ainyushkin@mail.ru.

**Татьяна Сергеевна Исакова** – аспирант, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, e-mail: isakova12k@gmail.com.

**Андрей Алексеевич Инюшкин** – доцент, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, e-mail: inyushkin\_a@mail.ru.

**Ирина Геннадьевна Кретова** – профессор, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Самара, e-mail: igkretova@gmail.com.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Aleksej Nikolaevich Inyushkin** – Head of Department of Human and Animal Physiology, Samara National Research University, Samara, e-mail: ainyushkin@mail.ru.

**Tat'yana Sergeevna Isakova** – Post-Graduate Student, Samara National Research University, Samara, isakova12k@gmail.com.

**Andrej Alekseevich Inyushkin** – Associate Professor, Samara National Research University, Samara, e-mail: inyushkin\_a@mail.ru.

**Irina Gennad'evna Kretova** – Professor, Samara National Research University, Samara, e-mail: igkretova@gmail.com.

**Для цитирования:** Физиологическая и патофизиологическая роль миокина ирисина / А. Н. Инюшкин, Т. С. Исакова, А. А. Инюшкин, И. Г. Кретова // *Современные вопросы биомедицины.* – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_8

**For citation:** Inyushkin A.N., Isakova T.S., Inyushkin A.A., Kretova I.G. Physiological and pathophysiological role of myokine irisin. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_8

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_9  
УДК 612.13

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_9  
UDC 612.13

## АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Т.В. Ипполитова<sup>1</sup>, Е.Е. Степура<sup>2</sup>, С.В. Кузнецов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский городской педагогический университет, Россия, г. Москва, Россия

**Аннотация.** Исследования сердца важны в ветеринарной практике из-за недостаточного внимания к заболеваниям сердца у крупного рогатого скота на современном этапе развития ветеринарной медицины. Анализ вариабельности сердечного ритма является широко используемым методом в медицинской практике для оценки вегетативной регуляции и состояния сердца. Математический анализ сердечного ритма для определения состояния вегетативной нервной системы важен для патогенетического лечения многих заболеваний. На современном этапе развития общества важное место занимает вопрос удовлетворения потребностей населения в молочных продуктах. По этой причине животноводческая отрасль развивается быстрыми темпами. Однако при совершенствовании молочного скотоводства необходимо учитывать физиологические возможности и особенности животных на всех этапах их онтогенеза. Изучение сердечно-сосудистой системы имеет большое значение в ветеринарной лечебно-профилактической работе.

**Ключевые слова:** сердечно-сосудистая система, вегетативный статус, электрокардиограмма.

## ANALYSIS OF ELECTROPHYSIOLOGICAL INDICATORS OF HEART RATE VARIABILITY IN CATTLE

T.V. Ippolitova<sup>1</sup>, E.E. Stepura<sup>2</sup>, S.V. Kuznetsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Moscow City University, Moscow, Russia

**Annotation.** Heart research is important in veterinary practice due to insufficient attention to heart diseases in cattle at the present stage of development of veterinary medicine. Analysis of heart rate variability is a widely used method in medical practice to assess autonomic regulation and state of the heart. Mathematical analysis of heart rate rhythms to identify state of the autonomic nervous system is important for the pathogenetic treatment of many diseases. At the present stage of development of society, an important place is occupied by the issue of meeting the needs of the population in dairy products. For this reason, the livestock industry is developing rapidly. However, when improving dairy cattle breeding, it is necessary to take into account the physiological capabilities and features of animals at all stages of their ontogeny. The cardiovascular system study is of great importance in veterinary medical and preventive work.

**Keywords:** cardiovascular system, autonomic status, electrocardiogram.

**Введение.** Джерсейская порода – одна из старейших пород жирномолочного скота в мире. Разведение этого скота началось на острове Джерси, отсюда и название «джерсейская». Долгое время эта порода оставалась чистопородной, а начиная с XIX века она экспортировалась в США и

Великобританию, а затем распространилась по всему миру [1-3].

Данная порода может производить более 5000 литров молока в год и является самой высокожирной молочной породой, а при хорошем питании этот показатель может достигать 10 000 литров. Среднее

содержание жира в молоке составляет не менее 6%. Именно из-за такого содержания жира, белка и кальция фермеры покупают это животное [4-6].

В источниках отсутствуют электрофизиологические параметры variability сердечного ритма (BCP) электрокардиограммы коров джерсейской породы. Данные показатели могли бы учитывать тонкий механизм вегетативной регуляции сердца, что добавило бы данных в ветеринарную медицину, позволило ей расширить свою базу диагностики самых распространённых заболеваний сердца у данной породы, так как между молочной продуктивностью и сердечно-сосудистой системой существует взаимосвязь [7-13].

В связи с этим, целью данной научной работы является анализ изменений электрофизиологических показателей вариационной пульсометрии зубца P, T и интервала P-Q у коров джерсейской породы с разным индексом напряжения регуляторных систем и молочной продуктивностью.

Задачи данной исследовательской работы заключаются в следующем:

1) Провести электрокардиографическую регистрацию крупного рогатого скота (джерсейская порода);

2) Провести математический анализ BCP у крупного рогатого скота – коров джерсейской породы, используя новейшую комбинированную электрофизиологическую лабораторию “CONAN-4.5”;

3) Установить исходное вегетативное состояние путем расчета индекса напряжения (ИН) регуляторной системы животных;

4) Установить молочную продуктивность коров джерсейской породы в зависимости от исходного вегетативного тонуса (ИВТ);

5) Проанализировать молочную продуктивность коров джерсейской породы в зависимости от электрофизиологических параметров электрокардиограммы (ЭКГ).

**Методы и организация исследования.** Исследования крупного рогатого скота – джерсейской породы проводились в ООО

«Вакинское Агро», Рыбновский район, Рязанская область, село Вакино.

Методы клинического исследования включали осмотр области сердца, пальпацию, перкуссию и аускультацию в соответствии с методикой клинического обследования животных по Б.В. Уша.

Данные методы обследования проводились в присутствии ветеринарного врача, и весь крупный рогатый скот Джерси был клинически здоров. Показатели ЭКГ и variability сердечного ритма были изучены у 103 коров.

Для анализа и записи ЭКГ джерсейского скота использовали программу “CONAN-4.5” на фронтальной отводящей системе по методу М.П. Рощевского. ЭКГ записывали за два-три часа до еды. Статистическую обработку полученных данных проводили в программе Statistica 10.0 for Windows и рассчитывали следующие параметры: среднее арифметическое (M), ошибку среднего арифметического (m), t-критерий Стьюдента. Различия считались значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Полученные ЭКГ животных, проанализированные с помощью программы “CONAN-4.5” значения зубцов P, T, интервала P-Q и молочной продуктивности в зависимости от вегетативного гомеостаза представлены в таблице.

Проанализировав данные, мы предложили следующую оценку ИВТ по индексу напряжения для исследуемых животных. Среди всего массива животных наибольшее количество коров-«симпатикотоников», для которых характерно преобладание симпатического отдела вегетативного тонуса над парасимпатическим (что составило 50,5%) ИН данной группы – 151-250 усл.ед. Наименьшее количество – «ваготоники», у которых преобладает парасимпатический отдел вегетативной нервной системы (ВНС) над симпатическим. Количество таких коров составило 8,7%, а ИН данной группы – менее 50 усл.ед. «Нормотоники», характеризующиеся сбалансированным состоянием

регуляторных систем ВНС – 24,3%, ИН – 51-150 усл.ед. Соответственно количество «гиперсимпатикотоников» – 16,5% с ИН более 251 усл.ед.

Группы были сформированы по принципу вегетативной регуляции, которая рассчитывалась на основе показателей индекса напряжения.

Таблица

Электрофизиологические показатели электрокардиограммы коров джерсейской породы в зависимости от индекса напряжения регуляторных систем

ИН, усл.ед.	ИВТ по ИН	Зубец Р, с	Зубец Т, с	Интервал Р-Q, с	Молочная продуктивность, кг
≤50	ваготония	0,079±0,001	0,129±0,01	0,27±0,01	5448±162,1
51-150	нормотония	0,081±0,001	0,134±0,01	0,21±0,01	5697±131,2
151-250	симпатикотония	0,088±0,001	0,146±0,01	0,15±0,01	5903±196,5
≥251	гиперсимпатикотония	0,096±0,001	0,165±0,01	0,12±0,01	5668±189,7

Примечание: ИН – индекс напряжения регуляторных систем; ИВТ – исходный вегетативный тонус; достоверность различий зубца-Р, -Т, интервала Р-Q и молочная продуктивность оценивалась между группами с применением t-критерия Стьюдента,  $p < 0,05$

В группе с ИВТ «ваготоники» парасимпатические нервы преобладают над симпатическими, и зубец Р составляет  $0,079 \pm 0,001$  с ( $p < 0,05$ ). Это значение меньше, чем у «нормотоников», «симпатикотоников» и «гиперсимпатикотоников» –  $0,002$  с,  $0,009$  с и  $0,017$  с соответственно.

Значение зубца Р при «нормотонии» составляет  $0,081 \pm 0,001$  с ( $p < 0,05$ ), что указывает на вегетативное равновесие между парасимпатической и симпатической нервными системами и напряжение в парасимпатической ВНС. Это значение на  $0,002$  с больше при «ваготонии», на  $0,007$  с меньше при «симпатикотонии» и на  $0,015$  с меньше при «гиперсимпатикотонии».

В группе с преобладанием симпатической активности, характеризующейся симпатическим сдвигом вегетативного баланса, значение зубца Р составляет  $0,088 \pm 0,001$  с ( $p < 0,05$ ). Это значение на  $0,009$  с и  $0,007$  с больше, чем у животных с ИВТ «ваготония» и «нормотония» соответственно, и на  $0,008$  с меньше, чем у коров джерсейской породы с ИВТ «гиперсимпатикотония».

«Гиперсимпатикотоники» характеризуются интервалом между сердечными сокращениями  $0,096 \pm 0,001$  с ( $p < 0,05$ ), самым низким среди других групп. Эти значения на  $0,017$  с,  $0,015$  с и  $0,008$  с

больше, чем у «ваготоников», «нормотоников» и «симпатикотоников» соответственно.

Таким образом, самое высокое значение зубца Р, который характеризует возбудимость предсердий, наблюдается у гиперсимпатикотоников.

В формировании сердечного диполя участвует функциональная ткань миокарда, составляющая основной объем сердца. Увеличение одного из основных элементов зубца Р ЭКГ указывает на врожденный потенциал циркуляции большего объема крови из-за повышения центрального объема крови в результате большего количества внесосудистой жидкости, поступающей к кровотоку высокопродуктивных коров.

Конечная часть желудочкового комплекса представлена зубцом Т и сегментом S-T и рассматривается как электрофизиологический показатель функционального состояния миокарда на уровне метаболизма.

Как показали наши исследования, длительность зубца Т неодинакова среди животных с разными исходным вегетативным тонусом и реактивностью. Определена достоверность различий длительности зубца Т разных групп телочек. У животных с исходным вегетативным тонусом

«симпатикотония» и «гиперсимпатикотония» наблюдается увеличение длительности зубца Т, что составляет  $0,146 \pm 0,01$  с и  $0,165 \pm 0,01$  с ( $p < 0,05$ ) соответственно. Уменьшение длительности зубца Т обнаружено у животных с исходным вегетативным тонусом «ваготония» и «нормотония» и составило  $0,129 \pm 0,01$  с ( $p < 0,05$ ) и  $0,134 \pm 0,01$  с ( $p < 0,05$ ) соответственно.

Таким образом, более полный зубец Т говорит об улучшенном кровоснабжении сердечной мышцы, а также о полноценных метаболических процессах, что может служить признаком достаточного обеспечения сердечной деятельности соответствующими биохимическими процессами. Такое сердце позволяет циркулировать большему количеству крови, что говорит о большой потенциальной возможности развития лактации. При повышении значения зубца Т увеличивается симпатическая активность ВНС, а уменьшение наблюдается при раздражении парасимпатической ВНС.

Для ваготоников значение интервала P-Q –  $0,27 \pm 0,01$  с ( $p < 0,05$ ), у данной группы преобладает парасимпатический отдел вегетативной нервной системы.

Значение показателя интервала P-Q у нормотоников –  $0,21 \pm 0,01$  с ( $p < 0,05$ ), характеризовалось равновесным состоянием ВНС между парасимпатическим и симпатическим отделами.

У группы симпатикотоников значение интервала P-Q –  $0,15 \pm 0,01$  с ( $p < 0,05$ ), характеризовалось смещением вегетативного баланса в сторону симпатического отдела вегетативной нервной системы, а для гиперсимпатикотоников –  $0,12 \pm 0,01$  с ( $p < 0,05$ ).

Наибольшая молочная продуктивность за 305 дней наблюдалась у коров, с предполагаемым ИВТ «симпатикотония» и «нормотония» –  $5903,35 \pm 196,5$  кг ( $p < 0,05$ ) и  $5696,52 \pm 131,9$  кг ( $p < 0,05$ ) соответственно. Это свидетельствует о том, что организм здоровых коров с наивысшей молочной продуктивностью имеет достаточные функциональные резервы обмена веществ и

энергии, чтобы справиться с нагрузкой, вызванной процессом лактации, за счет поддержания вегетативного гомеостаза и рабочего напряжения так называемой регуляторной системы. В наших исследованиях в двух группах животных наблюдалось преобладание автономных регуляторных контуров: самый низкий показатель удоя составил  $5448,2 \pm 162,2$  кг ( $p < 0,05$ ) у коров с ИН ниже 50 усл.ед. и предполагаемым ИВТ «ваготония».

Исследуемый крупный рогатый скот с предполагаемым ИВТ «гиперсимпатикотония» имел более низкий показатель удоя по сравнению с «симпатикотониками» –  $5667,6 \pm 189,7$  кг ( $p < 0,05$ ). Эта группа коров характеризуется повышенным симпатическим тонусом в вегетативной нервной системе, что указывает на интенсивный контроль сердечного ритма. Постоянная активация центральных контуров управления приводит к постоянному напряжению в системе управления. Такая неадекватность адаптивных механизмов снижает надежность биологической системы, что характеризует переход от здоровья к болезни. Это свидетельствует о том, что функциональные резервы, затрачиваемые механизмами вегетативной регуляции на адаптацию к лактации, недостаточны, что приводит к изменению вегетативного гомеостаза.

В таблице показана взаимосвязь между удоем и полученными значениями зубцов и интервала P-Q. Результаты наших исследований показали, что значения зубцов Р и Т не были одинаковыми у коров джерсейской породы с разным удоем. Исследуемая группа животных с наименьшим удоем имела самые низкие значения зубцов Р и Т –  $0,079 \pm 0,001$  с ( $p < 0,05$ ) и  $0,129 \pm 0,01$  с ( $p < 0,05$ ) соответственно с предположительным ИВТ – «ваготония». При увеличении симпатической активности вегетативной нервной системы значения зубцов Р и Т увеличились до  $0,088 \pm 0,001$  с ( $p < 0,05$ ) и  $0,146 \pm 0,01$  с ( $p < 0,05$ ) соответственно, наблюдалось увеличение удоя.

Таким образом, наблюдаются изменения в продолжительности зубцов Р и Т в зависимости от типа вегетативного состояния. У животных с преобладанием симпатического вегетативного состояния длительность анализируемых зубцов увеличивается, и соответственно повышается молочная продуктивность.

Коровы с самой высокой молочной продуктивностью имеют низкий индекс интервала Р-Q –  $0,15 \pm 0,01$  с ( $p < 0,05$ ), а коровы с самой низкой молочной продуктивностью –  $0,27 \pm 0,01$  с ( $p < 0,05$ ). Таким образом, видно, что интервал Р-Q уменьшается с увеличением молочной продуктивности.

Следовательно, повышение значения зубца Р может быть связано с увеличением предсердий, так как кровотоков коров Джерси с более высокой молочной продуктивностью увеличивает объем внесосудистой жидкости в кровотоке, что приводит к увеличению объема циркулирующей крови, которая увеличивает венозный возврат и наполнение предсердий, что приводит к их

гипертрофии. Зубец Т считается показателем функционального состояния миокарда, а полный зубец Т указывает на то, что улучшено кровоснабжение миокарда и адекватный метаболизм.

**Заключение.** При анализе молочной продуктивности за 305 дней выяснилось, что при увеличении активности от «ваготонии» до «симпатикотонии» молочная продуктивность увеличивается. Скорее всего это связано с тем, что при активации симпатической вегетативной нервной системы усиливается активность гормона окситоцина, который влияет на интенсивность молокоотдачи. У «гиперсимпатикотоников» скорее всего наблюдаются гиперфункции сердечной деятельности, происходит уменьшение молочной продуктивности. В своих исследованиях мы установили взаимосвязь: при увеличении зубца Т и Р происходит повышение активности молочной продуктивности, а при уменьшении интервала Р-Q молочная продуктивность увеличивается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский, Р. М. Анализ variability сердечного ритма в космической медицине / Р. М. Баевский // Физиология человека. – 2002. – Т. 28. – № 2. – С. 70-82.
2. Баевский, Р. М. К проблеме прогнозирования функционального состояния человека в условиях длительного космического полета / Р. М. Баевский // Физиол. Журн. СССР. – 1972. – № 6. – С. 819-827.
3. Баевский, Р. М. Кибернетический анализ процессов управления сердечным ритмом. Актуальные проблемы физиологии и патологии кровообращения / Р. М. Баевский. – М.: Медицина, 1976. – С. 161-175.
4. Баевский, Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии / Р. М. Баевский. – М.: Медицина, 1979. – 205 с.
5. Ипполитова, Т. В. Математический анализ регуляции сердечного ритма у коров / Т. В. Ипполитова // Регуляция физиологических функций продуктивных животных. Межвуз. сб. науч. тр. – М., 1993. – С. 17-20.
6. Копылов, С. Н. Показатели ЭКГ и variability ритма сердца у коров при миокардиодистрофии / С. Н. Копылов // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2011. – № 2. – С. 45-48.
7. Петров, П. Е. Некоторые данные по методике электрокардиографии новорожденных телят / П. Е. Петров // Ветеринария. – 1965. – № 12. – С. 54-57.
8. Рощевский, М. П. Электрическая активность сердца и методы съемки электрокардиограмм у крупного рогатого скота / М. П. Рощевский. – Свердловск: Уральск. науч.-исслед. с.-х. ин-т и гос. ун-т, 1958. – 79 с.
9. Прошева В. И. Морфофизиологическая характеристика миокардиальных волокон в желудочках сердца северных оленей и коров / В. И. Прошева, И. В. Клюшина, М. П. Рощевский // Эколого-физиологические исследования в природе и эксперименте: Тез. докл. V Всесоюз. конф. по экологической физиологии и морфологии. Фрунзе, 1977. – С. 369-370.
10. Рощевская, И. М. Кардиоэлектрическое поле теплокровных животных и человека / И. М. Рощевская. – СПб.: Наука, 2008. – 250 с.
11. Рощевский, М. П. Эволюционная электрокардиология / М. П. Рощевский. – Л.: Наука, 1972. – 252 с.



12. Heart rate variability: a review / Acharya U. R., Joseph K. P., Kannathal N. [et al] // *Med Bio Eng Comput.* – 2006. – Vol. 44. – pp. 1031-1051.

13. Adam, D. R. Fluctuations in T-wave morphology and susceptibility to ventricular fibrillation / D. R. Adam, J. M. Smith, S. Akselrod // *J. Electrocardiol.* – 1984. – № 17(3). – pp. 209-218.

#### REFERENCES

1. Baevskij R.M. Analysis of heart rate variability in space medicine. *Human Physiology*, 2002, vol. 28, no. 2, pp. 70-82. (in Russ.)

2. Baevskij R.M. On the problem of predicting the functional state of a person under conditions of long-term space flight. *Russian Journal of Physiology*, 1972, no. 6, pp. 819-827. (in Russ.)

3. Baevskij R.M. Cybernetic analysis of heart rate control processes. Relevant problems of physiology and pathology of blood circulation. Moscow: Meditsina, 1976. pp. 161-175. (in Russ.)

4. Baevskij R.M. Predicting states on the verge of norm and pathology. Moscow: Meditsina, 1979. 205 p. (in Russ.)

5. Ippolitova T.V. Mathematical analysis of heart rate regulation in cows. Regulation of Physiological Functions in Productive Animals. Interuniversity collection of scientific works. Moscow, 1993. pp. 17-20. (in Russ.)

6. Kopylov S.N. ECG indices and heart rate variability in cows with myocardial dystrophy. *Legal*

*regulation in veterinary medicine*, 2011, no. 2, pp. 45-48. (in Russ.)

7. Petrov P.E. Some data on electrocardiography of newborn calves. *Veterinaria*, 1965, no. 12, pp. 54-57. (in Russ.)

8. Roschevskij M.P. Electric activity of the heart and methods of shooting electrocardiograms in cattle. Sverdlovsk: Ural Scientific Research Institute and State University, 1958. 79 p. (in Russ.)

9. Prosheva V.I., Klyushina I.V., Roschevskij M.P. Morphophysiological characteristics of myocardial fibers in the heart ventricles of reindeer and cows. Ecological and Physiological Research in Nature and Experiment: abstracts of the V All-Russian Conference on Ecological Physiology and Morphology. Frunze, 1977. pp. 369-370. (in Russ.)

10. Roshchevskaya I.M. Cardiac electric field of warm-blooded animals and humans. St. Petersburg: Nauka, 2008. 250 p. (in Russ.)

11. Roschevskij M.P. Evolutionary electrocardiology. St. Petersburg: Nauka, 1972. 252 p. (in Russ.)

12. Acharya U.R., Joseph K.P., Kannathal N., Lim C.M., Suri J.S. Heart rate variability: a review. *Med Bio Eng Comput*, 2006, vol. 44, pp. 1031-1051.

13. Adam D.R., Smith J.M., Akselrod S. Fluctuations in T-wave morphology and susceptibility to ventricular fibrillation. *J. Electrocardiol*, 1984, no. 17(3), pp. 209-218.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Татьяна Владимировна Ипполитова** – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии, фармакологии и токсикологии им. А.Н. Голикова и И.Е. Мозгова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, Москва.

**Евгений Евгеньевич Степура** – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и физиологии человека, Московский городской педагогический университет, Москва, e-mail: chimik89@mail.ru.

**Сергей Владимирович Кузнецов** – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры физиологии, фармакологии и токсикологии им. А.Н. Голикова и И.Е. Мозгова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, Москва.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Tat'yana Vladimirovna Ippolitova** – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Physiology, Pharmacology and Toxicology named after A.N. Golikov and I.E. Mozgova, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin, Moscow.

**Evgenij Evgenievich Stepura** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biology and Human Physiology, Moscow City University, Russia, Moscow, e-mail: chimik89@mail.ru.

**Sergej Vladimirovich Kuznetsov** – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology, Pharmacology and Toxicology named after A.N. Golikov and I.E. Mozgova, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin, Moscow.

**Для цитирования:** Ипполитова, Т. В. Анализ электрофизиологических показателей вариабельности сердечного ритма крупного рогатого скота / Т. В. Ипполитова, Е. Е. Степура, С. В. Кузнецов // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_9

**For citation:** Ippolitova T.V., Stepura E.E., Kuznetsov S.V. Analysis of electrophysiological indicators of heart rate variability in cattle. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_9

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_10  
УДК 611.2.013; 612; 796.966

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_10  
UDC 611.2.013; 612; 796.966

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ К ГИПОКСИИ ХОККЕИСТОВ В МНОГОЛЕТНЕМ ТРЕНИРОВОЧНОМ ПРОЦЕССЕ

И.Н. Калинина<sup>1</sup>, Т.А. Линдт<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», г. Краснодар, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет физической культуры и спорта», г. Омск, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты многолетних исследований функционального состояния системы дыхания хоккеистов различного возраста. Целью исследования явилось выяснение особенностей функции внешнего дыхания и переносимости гипоксии хоккеистов различного возраста в многолетнем тренировочном процессе. В исследовании принимали участие 172 хоккеиста в возрасте от 11 лет до 21 года (11-12 лет (n=36), 13-14 лет (n=34), 15-16 лет (n=34), 17-18 лет (n=37) и 19-21 год (n=31)). Группу сравнения (ГС) составили подростки и юноши, не занимающиеся спортом, в количестве 211 человек, также распределенные по возрастным группам. Исследование показателей функции внешнего дыхания и гипоксических проб у хоккеистов на разных этапах многолетней спортивной подготовки позволило выявить увеличение значений изучаемых показателей в возрастном аспекте и в процессе долговременной адаптации к избранному виду спорта. Адаптация к условиям гипоксии у хоккеистов обусловлена приспособлением к анаэробным условиям, возникающим во время игры, и увеличением доли анаэробных (скоростно-силовых) нагрузок в тренировочном процессе.

**Ключевые слова:** хоккеисты, многолетний тренировочный процесс, функции внешнего дыхания, гипоксические пробы.

## FEATURES OF THE EXTERNAL RESPIRATION FUNCTION AND RESISTANCE TO HYPOXIA OF HOCKEY PLAYERS IN THE LONG-TERM TRAINING PROCESS

I.N. Kalinina<sup>1</sup>, T.A. Lindt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kuban State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Krasnodar, Russia

<sup>2</sup>Siberian State University of Physical Culture and Sport, Omsk, Russia

**Annotation.** The article presents results of long-term studies of the respiration system in hockey players of different age. The purpose of the work was to identify features of the external respiration and resistance to hypoxia in hockey players in the long-term training process. The study included 172 players aged 11-21 (11-12 years (n=36), 13-14 years (n=34), 15-16 years (n=34), 17-18 years (n=37) and 19-21 years (n=31)). The comparison group (CG) included 211 teens and young men, who did not engage in sports, also distributed by age groups. The study of external respiration and hypoxic tests' indices in hockey players at different stages of the long-term sports training allows to identify an increase in values of the investigated indices in age aspect and during the process of long-term adjustment to the chosen sport. Adaptation to hypoxia in hockey players occurs due to an adjustment to anaerobic conditions that take place during the game and an increased anaerobic (speed-strength) loads in the training process.

**Keywords:** hockey players, long-term training process, external respiration function, hypoxic tests.

**Введение.** Занятия хоккеем, имеющим особое значение в регионах Сибири ввиду доступности и популярности, сопряжены с постоянно возрастающими из года в год и от этапа к этапу физическими нагрузками. Интенсивная мышечная деятельность не только вызывает морфофункциональные перестройки, специфические для данного

вида спорта, но и подразумевает приспособление к определенным факторам среды. В то же время аспекты, касающиеся изучения адаптационных перестроек системы внешнего дыхания в процессе многолетних тренировок у хоккеистов, представлены фрагментарно [1-2]. Недостаток проработанности проблемы в этой области, а также данных о влиянии многолетних мышечных нагрузок на растущий организм не позволяет спортивным физиологам, а также тренерам детских и юношеских хоккейных команд в полной мере оценить воздействие тренировок на функциональное созревание организма спортсмена в физиологическом плане, что и обуславливает актуальность предпринятого исследования.

**Методы и организация исследования.** Исследования проводились на базе кафедры естественно-научных дисциплин, НИИ деятельности в экстремальных условиях (НИИ ДЭУ) ФГБОУ ВО СибГУФК и кафедры анатомии и спортивной медицины ФГБОУ ВО КГУФКСТ. В исследовании принимали участие 172 хоккеиста в возрасте от 11 лет до 21 года (11-12 лет (n=36), 13-14 лет (n=34), 15-16 лет (n=34), 17-18 лет (n=37) и 19-21 год (n=31)). Группу сравнения (ГС) составили подростки и юноши, не занимающиеся спортом, в количестве 211 человек, также распределенных по возрастным группам. Для всех исследуемых соблюдался принцип единства требований при проведении обследований и Международные биоэтические нормы. Исследование функционального состояния дыхательной системы (ДС) проводилось по стандартной методике с использованием спирометра и спирографа «СпироС-100» (Россия). Для исследования функционального состояния ДС изучался ряд показателей, которые позволяют оценить вентиляцию легких. Жизненная емкость легких (ЖЕЛ, л), включающая в себя три объема: дыхательный объем (ДО, л), резервный объем вдоха (РОВд, л) и выдоха (РОВвд, л) [3-4], оценивалась трехкратно с учетом лучшего результата. Для определения функциональных возможностей дыхательной системы

рассчитывался жизненный индекс (ЖИ):  $ЖИ = ЖЕЛ / \text{Масса тела, мл/кг}$  [5]. Оценка бронхиальной проходимости и функционального состояния дыхательной мускулатуры проводилось путем изучения форсированной ЖЕЛ (ФЖЕЛ, л) и максимальной объемной скорости потока воздуха при форсированном вдохе и выдохе с использованием пневматометра ПТ-1. Метод регистрации дыхательных объемов включал следующие измерения: минутный объем дыхания (МОД, л/мин), дыхательный объем (ДО, л) и максимальную вентиляцию легких (МВЛ, л/мин). Функциональные возможности системы дыхания изучались с помощью гипоксических проб: оценивалась задержка дыхания на вдохе (проба Штанге) и задержка дыхания на выдохе (проба Генчи) [5-7].

**Результаты исследования и их обсуждение.** В цикле многолетней подготовки хоккеистов выделяют несколько этапов: спортивно-оздоровительный, начальной подготовки, спортивной специализации (тренировочный этап), совершенствования спортивного мастерства и высшего спортивного мастерства. На этапах начальной подготовки и спортивной специализации важными для спортивного отбора хоккеистов являются показатели физического развития, исследование ведущих функциональных систем организма, а также оценка общей и специальной физической работоспособности [8-9]. Начальный этап спортивного отбора подразумевает формирование выборки детей, желающих заниматься определенным видом спорта, не имеющих медицинских противопоказаний. Критериями перспективности на этом этапе являются: биологический возраст ребенка, достаточное соответствие морфотипа требованиям вида спорта, должный уровень специальных для вида спорта двигательных способностей и достаточная эффективность энергообеспечения.

Задачей промежуточного отбора является определение узкой специализации спортсмена. Критериями перспективности этого этапа, кроме вышеназванных,

являются: возможность перенесения высоких тренировочных и соревновательных нагрузок, наличие резервов к дальнейшему совершенствованию двигательных способностей и функциональных систем организма спортсмена [10]. Для хоккеистов, согласно нормативным документам, – это этап спортивной специализации (тренировочный). В нашем исследовании на данном этапе находились юные хоккеисты следующих возрастных групп: 11-12, 13-14 и 15-16 лет.

На этапе совершенствования спортивного мастерства (хоккеисты 17-18 лет), согласно «Федеральному стандарту спортивной подготовки по виду спорта хоккей», результатом реализации программы кроме прочих являются: сохранение здоровья хоккеиста и повышение функциональных возможностей организма, что определяет и критерии перспективности, а именно высокую эффективность соревновательной деятельности и уровня специальной подготовленности спортсмена. Задачи особой значимости биологической надежности при спортивном отборе на этом этапе определяются, по мнению Л.П. Сергиенко (2013), «...комплексной оценкой перспективности с ориентацией на модельные характеристики, но с учетом допустимых от них отклонений» [10].

Следующий этап – этап высшего спортивного мастерства, который в нашем исследовании представлен группой хоккеистов 19-21 года, предусматривает повышение стабильности демонстрации высоких спортивных результатов на официальных соревнованиях. При этом критериями перспективности спортсменов являются положительная динамика становления мастерства, обеспеченная ранее сформированным физиологическим резервом организма (долговременная адаптация к тренировочным нагрузкам) без форсирования уровня подготовленности.

Система внешнего дыхания, входящая в состав кислородтранспортной системы и способствующая поддержанию в артериальной крови достаточного уровня кислорода, является одной из важнейших физиологических систем организма [11-12]. Повышенная двигательная активность сопровождается увеличением уровня метаболизма и активацией систем, участвующих в обеспечении организма кислородом. В связи с этим в условиях тренировочной и спортивной деятельности к системе дыхания предъявляются высокие требования, формируется особая функциональная система, обеспечивающая приспособление к интенсивным мышечным нагрузкам.

В процессе исследования установлено превосходство хоккеистов по показателям функций внешнего дыхания и гипоксических проб по отношению к данным ГС, которое обусловлено долговременным приспособлением к анаэробным условиям, возникающим во время игры, и постепенным увеличением доли анаэробных (скоростно-силовых) нагрузок в тренировках.

Анализ показал, что у всех испытуемых с возрастом величина жизненной емкости легких физиологически закономерно увеличивается (табл. 1). При этом долговременная адаптация дыхательной системы к условиям интенсивной мышечной деятельности характеризуется определенными приспособительными чертами. ЖЕЛ хоккеистов достоверно выше, чем у лиц, не занимающихся спортом, во всех возрастных группах. Максимальные темпы прироста данного показателя у хоккеистов отмечаются с 11-12 до 13-14 лет и с 13-14 до 15-16 лет (25% и 21% соответственно), тогда как у подростков, не занимающихся спортом, в идентичных возрастных группах увеличение составляет 20% и 17% соответственно (рис.).

Таблица 1

Показатели системы дыхания хоккеистов и лиц, не занимающихся спортом, 11-21 года,  
M±m

Возраст, лет	Группа	n	Показатели			
			ЖЕЛ, л	ЖИ, мл/кг	Резервный объем вдоха, л	Резервный объем выдоха, л
11-12	1	36	2,7±0,07	62,7±1,41	1,6±0,04	0,7±0,05
	2	45	2,2±0,05*	59,1±1,25	1,3±0,06	0,5±0,03
13-14	1	34	3,5±0,12^	64,5±1,12	2,0±0,09^	0,9±0,05^
	2	42	2,7±0,08*^	58,0±1,02	1,6±0,08	0,7±0,05^
15-16	1	34	4,3±0,11^	64,0±1,30	2,7±0,08^	1,0±0,06
	2	42	3,3±0,11*	57,6±0,87	2,0±0,09*	0,9±0,05^
17-18	1	37	4,9±0,12^	60,7±1,44	2,7±0,09	1,6±0,05^
	2	41	3,8±0,09*^	56,9±1,12	2,1±0,08*	1,2±0,06*^
19-21	1	31	5,0±0,14	58,8±1,61	2,8±0,10	1,7±0,05
	2	39	4,1±0,11*	56,4±1,02	2,1±0,08*	1,4±0,03*

Примечания: 1 – хоккеисты; 2 – лица, не занимающиеся спортом; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ЖИ – жизненный индекс; достоверность при  $p < 0,05$ ; \* – достоверность различий между 1 и 2 группой; ^ – достоверность различий по отношению к предыдущей возрастной группе

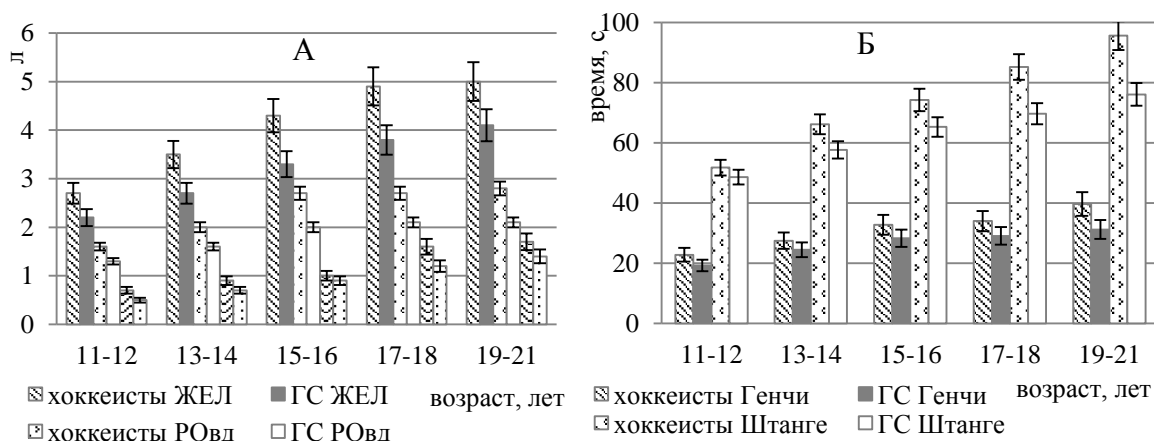


Рис. Показатели системы дыхания (А) и гипоксических проб (Б) хоккеистов и лиц, не занимающихся спортом, 11-21 лет

Примечание: ГС – группа сравнения; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; Ровд – резервный объем вдоха

Сравнительный анализ показателя ЖИ (мл/кг), отражающего степень соответствия кислородного запроса обеспечения мышц и объемных показателей системы внешнего дыхания у хоккеистов, позволил выявить, что его увеличение происходит до 13-14 лет и сохраняется на высоком уровне до 15-16 лет (табл. 1). В дальнейшем, а именно с 17-18-летнего возраста, у хоккеистов ЖИ начинает снижаться, что, вероятно,

связано со значительным увеличением массы тела и незначительным увеличением жизненной емкости легких. У лиц, не занимающихся спортом, максимальные значения ЖИ приходятся на возрастной период 11-12 лет, затем имеется тенденция к его снижению.

При оценке экономизации функции системы дыхания в условиях тренировочного процесса можно отнести уменьшение

частоты дыхания (ЧД) (табл. 2), что нами и отмечено в различных возрастных группах. При анализе типов дыхания выявлено, что в возрастной группе 11-12 лет преобладают дети с тахипноитическим типом дыхания, что соответствует физиологическим нормам. В возрастных группах 13-14 лет и 15-16 лет у хоккеистов и лиц, не занимающихся спортом, нормопноитический и тахипноитический типы дыхания встречаются практически в равных соотношениях с незначительным преобладанием первого типа. Начиная с возраста 17-18 лет, наблюдается нормопноитический тип дыхания, независимо от занятий спортом.

При сравнительном анализе показателей МОД (л/мин) хоккеистов и лиц, не занимающихся спортом, выявлено, что данный показатель выше у спортсменов во всех возрастных группах, однако достоверные различия наблюдаются только в возрастной группе 11-12 лет. Критерием долговременной адаптации к интенсивной мышечной деятельности является увеличение МОД на фоне снижения ЧД за счет увеличения дыхательного объема, что и наблюдается в нашем исследовании.

Таблица 2

Вентиляционные показатели системы дыхания хоккеистов и лиц, не занимающихся спортом, 11-21 лет, М±m

Возраст, лет	Группа	n	Показатели				
			Частота дыхания, кол-во раз	Дыхательный объем, л	МОД, л/мин	МВЛ, л/мин	Коэффициент резерва дыхания, %
11-12	1	36	23,4±0,60	0,40±0,01	9,4±0,48	62,0±3,17	83,0±1,05
	2	45	24,1±0,51	0,29±0,02	6,9±0,27*	45,8±1,85	84,1±0,68
13-14	1	34	20,4±0,86^	0,56±0,05^	10,8±0,70	81,4±3,73^	86,3±0,94^
	2	42	21,9±0,64	0,37±0,03	7,7±0,41	55,1±2,26*	85,9±0,64
15-16	1	34	19,4±0,68	0,58±0,04	10,9±0,72	101,3±3,81^	88,8±0,87
	2	42	20,2±0,61	0,40±0,05	8,1±0,42	61,2±2,53*	86,7±0,72
17-18	1	37	15,7±0,66^	0,79±0,05^	12,3±0,80	122,9±3,37^	90,2±0,67
	2	41	17,9±0,51	0,48±0,03*	8,5±0,46	75,9±2,81*	88,3±0,70
19-21	1	31	15,1±0,50	0,85±0,05	12,7±0,79	123,3±3,59	89,2±0,66
	2	39	17,1±0,41	0,56±0,03*	9,8±0,45	84,6±2,97*	88,4±0,68

Примечания: 1 – хоккеисты; 2 – лица, не занимающиеся спортом; МОД – минутный объем дыхания; МВЛ – максимальная вентиляция легких; достоверность при  $p < 0,05$ ; \* – достоверность различий между 1 и 2 группой; ^ – достоверность различий по отношению к предыдущей возрастной группе

Сравнительный анализ показал, что у хоккеистов всех возрастных групп отмечаются более высокие значения показателя ДО относительно возрастных нормативных значений (табл. 2), что закономерно сказывается и на величине МОД (л/мин). Выявлено, что в старших возрастных группах (17-18 лет и 19-21 год) показатели ДО (л) у лиц, не занимающихся спортом, достоверно ниже, чем у хоккеистов, в младших возрастных группах этот показатель также имеет более низкие значения.

Показатель МВЛ (л/мин) во всех возрастных группах находился в пределах возрастных норм для не занимающихся спортом людей и только у хоккеистов 17-18 лет и 19-21 года незначительно превышает нормативные данные (табл. 2). Обнаружено, что МВЛ у хоккеистов во всех возрастных группах, кроме 11-12 лет, достоверно выше, чем у подростков группы сравнения, при этом увеличение значений минутной вентиляции легких происходит параллельно с возрастом, и к 19-21 году они

увеличиваются в среднем в два раза по сравнению с показателями 11–12-летних подростков, независимо от занятий спортом.

При изучении темпов прироста основных показателей выявлено, что особенностями являются следующие: максимальные темпы прироста ЖЕЛ у хоккеистов отмечены с 11-12 до 13-14 лет и с 13-14 до 15-16 лет (25% и 21% соответственно); увеличение ЖИ происходит на этапе СС (период углубленной специализации) с 13-14 лет и сохраняется до 15-16 лет (рис.).

Максимальное увеличение РОвд отмечается в возрастные периоды с 11-12 до 13-14 лет и с 13-14 до 15-16 лет и составляет у хоккеистов 28% и 30% соответственно, достоверно превышая значения сверстников, не занимающихся спортом ( $p < 0,05$ ). Существенное увеличение РОвд у хоккеистов наблюдается в два этапа: с 11-12 до 13-14 лет (на 25%) и от 15-16 до 17-18 лет (на 46%). Частота дыхания испытуемых с

возрастом уменьшается, что рассматривается как проявление экономизации деятельности системы дыхания. У хоккеистов на всех этапах многолетней подготовки выявлены более высокие относительно возрастной нормы значения ДО и МОД. Значения МВЛ увеличиваются параллельно с возрастом и к 19-21 году возрастают примерно в два раза относительно значений 11-12-летних подростков, независимо от занятий спортом ( $p < 0,05$ ) (рис.).

Оценить адаптацию человека к гипоксии и гиперкапнии (накоплению углекислого газа), в том числе устойчивость дыхательного центра к недостатку кислорода, скорость протекания обменных процессов и выносливость сердца, позволяют гипоксические пробы. Результаты проведенных нами исследований показали, что среднегрупповые значения в пробах Штанге и Генчи у испытуемых 11-12 лет соответствуют физиологическим нормам данного возрастного диапазона (табл. 3).

Таблица 3

Показатели адаптации к гипоксии хоккеистов и лиц, не занимающихся спортом, 11-21 лет,  $M \pm m$

Возраст, лет	Группа	n	Показатели	
			Проба Генчи, с	Проба Штанге, с
11-12	1	36	22,8±1,4	51,8±2,5
	2	45	19,3±1,1	48,6±1,1
13-14	1	34	27,5±1,1 <sup>^</sup>	66,2±3,2 <sup>^</sup>
	2	42	24,5±0,9 <sup>^</sup>	57,7±1,8 <sup>^</sup>
15-16	1	34	32,8±1,8 <sup>^</sup>	74,3±2,8
	2	42	28,3±1,2 <sup>^</sup>	65,3±1,9
17-18	1	37	34,0±1,7	85,2±2,8 <sup>^</sup>
	2	41	29,1±1,2	69,7±1,5*
19-21	1	31	37,9±1,9	95,6±3,1
	2	39	31,2±1,5	76,1±1,9*

Примечания: 1 – хоккеисты; 2 – лица, не занимающиеся спортом; достоверность при  $p < 0,05$ ; \* – достоверность различий между 1 и 2 группой; <sup>^</sup> – достоверность различий по отношению к предыдущей возрастной группе

У хоккеистов старших возрастных групп (начиная с 13-14 лет) выявлены более высокие показатели гипоксических проб по сравнению с лицами, не занимающимися спортом. Достоверных различий при задержке дыхания на выдохе между

хоккеистами и группой сравнения не выявлено, а при задержке дыхания на вдохе различия между показателями достоверны в группах 17-18 лет и 19-21 год. Данный факт указывает на большую долю анаэробной работы в тренировочной и



соревновательной деятельности хоккеистов. Несмотря на вышесказанное, обнаружена неоднородность в исследуемой выборке индивидуальных результатов гипоксических проб: во всех возрастных группах встречаются хоккеисты и с высокими, и с низкими значениями изучаемых показателей (табл. 3).

Сравнительный анализ результатов исследования показал, что у хоккеистов в процессе долговременной адаптации к мышечным нагрузкам на более ранних сроках формируются механизмы, обеспечивающие приспособление к гипоксии. Так, уже на этапе спортивной специализации – с 11-12 до 13-14 и с 13-14 до 15-16 лет – наблюдаются максимальные увеличения значений задержки дыхания на выдохе, которые составляют 19% и 18% соответственно. В дальнейшем, а именно в более старших возрастных периодах, происходит некоторая стабилизация, и прирост не столь очевиден – от 4% до 11%. Максимальное увеличение времени задержки дыхания на выдохе у лиц, не занимающихся спортом, наблюдается в возрасте от 11-12 до 13-14 лет

и составляет 24%, в последующие возрастные промежутки способность к задержке дыхания на выдохе возрастает менее выражено (с 14 до 16 лет на 14%, с 16 до 18 лет на 3%, с 18-21 года на 7%).

**Заключение.** Таким образом, исследование показателей функции внешнего дыхания и гипоксических проб у хоккеистов на разных этапах многолетней спортивной подготовки позволило выявить положительную динамику значений изучаемых показателей в возрастном аспекте и в процессе долговременной адаптации к избранному виду спорта.

Проанализировав полученные данные, можно предположить, что адаптация к условиям гипоксии у хоккеистов происходит с возрастом и обусловлена приспособлением к анаэробным условиям, возникающим во время игры, и увеличением доли анаэробных (скоростно-силовых) нагрузок в тренировочном процессе. Вероятно, формируются характерные для долговременной адаптации межсистемные функциональные взаимосвязи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мониторинг функционального состояния и здоровья юных хоккеистов / И. В. Левшин, Л. В. Михно, А. В. Каган, И. В. Панов // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2013. – №12 (120). – С. 9-15.
2. Селиверстова, В. В. Резервные возможности сердечно-сосудистой и дыхательной системы спортсменов-хоккеистов 18-22 лет / В. В. Селиверстова, Д. С. Мельников // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2016. – № 1(131). – С. 205-208.
3. Чинкин, А. С. Физиология дыхания / А. С. Чинкин, Ю. П. Денисенко. – Набережные Челны: КамГИФК, 2000. – 80 с.
4. Миллер, Л. Л. Спортивная медицина / Л. Л. Миллер. – Москва: Человек, 2015. – 184 с.
5. Ланда, Б. Х. Методика комплексной оценки физического развития и физической подготовленности / Б. Х. Ланда. – 5-е изд. испр. и доп. – М.: Советский спорт, 2011. – 348 с.
6. Сердце в условиях спортивной деятельности: физиологические и врачебно-педагогические аспекты: пособие для физиологов и врачей, работающих в области физической культуры и спорта / Якобашвили В. Я., Макарова Г. А., Игельник М. Л. [и др.]. – М.: Советский спорт. – 2006. – 234 с.
7. Макарова Г. А. Справочник детского спортивного врача: клинические аспекты / Г. А. Макарова. – М.: Советский спорт, 2008. – 440 с.
8. Федеральный стандарт спортивной подготовки по виду спорта хоккей: приказ Министерства спорта Российской Федерации от 15 мая 2019 г. № 373. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 30 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/87584.html> (дата обращения: 28.03.2021).
9. Национальная программа спортивной подготовки по виду спорта «хоккей» / Третьяк В. А., Ротенберг Р. Б., Буре П. В. [и др.]. – М., 2020. – 316 с.
10. Сергиенко, Л. П. Спортивный отбор: теория и практика: монография / Л. П. Сергиенко. – М.: Советский спорт, 2013. – 1048 с.
11. The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry / Miura A., Sato H., Sato H. [et al] // Ergonomics. – 2000. – Vol. 43. – pp. 133-141.
12. Effects of prior very-heavy intensity exercise on indices of aerobic function and high-intensity

exercity tolerance / Ferguson C., Whipp B. J., Cathcart A. J. [et al] // *J. Appl. Physiol.* – 2007. – Vol. 103. – pp. 812-822.

#### REFERENCES

1. Levshin I.V., Mikhno L.V., Kagan A.V., Panov I.V. Monitoring of functional status and health condition in young hockey athletes. *Лечебная физкультура и спортивная медицина*, 2013, no. 12 (120), pp. 9-15. (in Russ.)
2. Seliverstova V.V., Melnikov D.S. Reserve possibilities of cardiovascular and respiratory system of hockey players aged 18-22 years. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2016, no. 1(131), pp. 205-208. (in Russ.)
3. Chinkin A.S. Denisenko Yu.P. Physiology of breathing. Naberezhnye Chelny: KamGIFK, 2000. 80 p. (in Russ.)
4. Miller L.L. Sports medicine. Moscow: Chelovek, 2015. 184 p. (in Russ.)
5. Landa B.Kh. Comprehensive estimation method of physical development and fitness. 5<sup>th</sup> edition. Moscow: Sovetskij sport, 2011. 348 p. (in Russ.)
6. Yakobashvili V.Ya., Makarova G.A., Igel'nik M.L et al. The heart in sport: physiological and medico-pedagogical aspects: a guide for physiologists and physicians working in physical culture and sports. Moscow: Sovetskij sport, 2006, 234 p. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Ирина Николаевна Калинина** – доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Краснодар, e-mail: kalininirina@yandex.ru.

**Татьяна Александровна Линдт** – старший преподаватель ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет физической культуры и спорта», Омск, e-mail: lta@bk.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Irina Nikolaevna Kalinina** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Kuban State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Krasnodar, e-mail: kalininirina@yandex.ru.

**Tat'yana Aleksandrovna Lindt** – Senior Lecturer, Siberian State University of Physical Culture and Sport, Omsk, e-mail: lta@bk.ru.

**Для цитирования:** Калинина, И. Н. Особенности функции внешнего дыхания и устойчивости к гипоксии хоккеистов в многолетнем тренировочном процессе / И. Н. Калинина, Т. А. Линдт // *Современные вопросы биомедицины.* – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_10

**For citation:** Kalinina I.N., Lindt T.A. Features of the external respiration function and resistance to hypoxia of hockey players in the long-term training process. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_10

7. Makarova G.A. Handbook for paediatric sports physicians: clinical aspects. Moscow: Sovetskij sport, 2008. 440 p. (in Russ.)

8. Federal standard for sports training in ice hockey: Order of the Ministry of Sport of the Russian Federation from May 15, 2019. No. 373. Saratov: Vuzovskoe obrazovanie, 2019, 30 p. Available at: <http://www.iprbookshop.ru/87584.html> (accessed 28.03.2021). (in Russ.)

9. Tretyak V.A., Rotenberg R.B., Bure P.V., Bratash O.V., Shalaev V.T., Sheruimov P.V., Sukhachev E.A., Uryupin N.N., Cherkas S.M., Bochner D. National sports training program in hockey. Moscow, 2020. 316 p. (in Russ.)

10. Sergienko L.P. Sports selection: theory and practice: a monograph. Moscow: Sovetskij sport, 2013. 1048 p. (in Russ.)

11. Miura A., Sato H., Sato H., Whipp B.J., Fukuba Y. The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. *Ergonomics*, 2000, vol. 43, pp. 133-141.

12. Ferguson C., Whipp B.J., Cathcart A.J., Rossiter H.B., Turner A.P., Ward S.A. Effects of prior very-heavy intensity exercise on indices of aerobic function and high-intensity exercity tolerance. *J. Appl. Physiol*, 2007, vol. 103, pp. 812-822.

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_11  
УДК 616.839

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_11  
UDC 616.839

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ВЕГЕТАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТУДЕНТОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СПОРТОМ

**И.С. Кальбердин, А.Н. Инюшкин**

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия

**Аннотация.** Данная статья посвящена изучению сезонной динамики вегетативных характеристик студентов, интерес к которым часто приобретает прикладное значение. Цель – выявление сезонной ритмичности некоторых вегетативных характеристик студентов-спортсменов, занимающихся спортом. Наблюдение провели на студентах Самарского университета, были собраны и обработаны базовые и расчетные показатели, характеризующие состояние сердечно-сосудистой системы, а также адаптационный потенциал и некоторые обменные процессы. Основываясь на результате двухгодичного наблюдения за группой спортсменов, были получены результаты, которые показали сезонную ритмическую обусловленность вегетативных характеристик.

**Ключевые слова:** артериальное давление, проба Руфье, индекс Кердо, адаптационный потенциал, основной обмен.

## SEASONAL DYNAMICS OF THE AUTONOMIC CHARACTERISTICS OF STUDENTS WHO PLAY SPORTS

**I.S. Kal'berdin, A.N. Inyushkin**

Samara University, Samara, Russia

**Annotation.** This article is devoted to the study of seasonal dynamics of the autonomic characteristics of students, the interest in which is often of applied significance. The goal is to reveal the seasonal rhythm of some autonomic characteristics of students who play sports. The observation was carried out on students of the Samara University. Basic and calculated indices describing the state of the cardiovascular system, as well as adaptive potential and some metabolic processes, were collected and processed. Considering the results of a two-year observation of a group of athletes as a basis, the authors have obtained results that demonstrated the seasonal rhythmic dependence of autonomic characteristics.

**Keywords:** blood pressure, Ruffier test, Kerdo index, adaptive potential, basal metabolism.

**Введение.** Актуальным является изучение фактов, направленных на исследование влияния сезонных ритмов на здоровье и производительность труда у современного мобильного человека, который может преодолевать за считанные часы тысячи километров, попадая из одного времени года в другой. Результаты исследований по сезонным ритмам имеют не только теоретическое, но и прикладное значение. Несомненно, мы замечаем на себе сезонные колебания жизненных проявлений, отражающиеся на физической и умственной работоспособности. Как правило, при подготовке и проведении соревнований в

большом спорте высококвалифицированный контингент готовят к значительным соревновательным нагрузкам на учебно-тренировочных сборах, где специалисты изучают динамику спортивного результата атлетов в различных климатически-географических условиях, часовых поясах. Их цель – снижение воздействия на организм спортсмена климатического, временного стресса [1-3].

Объектом нашего исследования стали занимающиеся спортом студенты Самарского университета, которые также сталкиваются с похожими ситуациями, связанными с необходимостью адаптации к

новым климатическим и временным условиям.

**Методы и организация исследования.**

Двухгодичный мониторинг состояния некоторых систем организма тренирующихся студентов позволил собрать экспериментальный материал и лег в основу данной статьи. Выборка составила 44 человека: студенты мужского пола Самарского университета в возрасте от 18 до 22 лет. Контрольными были результаты, полученные в первый год тестирования (2020-2021 гг.), экспериментальными – результаты повторных тестирований (2021-2022 гг.)

Регистрировались базовые показатели, характеризующие состояние сердечно-сосудистой системы (ССС): артериальное давление (АД), систолическое давление (САД), диастолическое давление (ДАД) в мм рт. ст. а также интегральные (расчетные) показатели:

1) Оценка восстановительных свойств сердечно-сосудистой системы (ССС) методом функциональной пробы Руфье. Этот индекс рассчитывали по формуле:

$$ПР = \frac{4 \times (P1 + P2 + P3) - 200}{10}$$

где: P1 – частота сердечных сокращений (ЧСС) в покое за 15 с; P2 – ЧСС за 15 с после физической нагрузки (30 приседаний за 1 минуту); P3 – ЧСС за последние 15 с первой минуты восстановления.

Оценка восстановительных свойств сердца: ПР < 0 – показатель великолепной работы сердца; от 0 до 5,0 – сердце работает отлично; 5,1-10,0 – хорошо; 10,1-15,0 – удовлетворительно; >15 – неудовлетворительно.

2) Оценка вегетативного тонуса организма осуществлялась расчетом вегетативного индекса Кердо (ВИК) по формуле:

$$ВИК = \left(1 - \frac{ДАД}{ЧСС}\right) \times 100$$

где: ДАД – диастолическое давление, мм рт. ст., ЧСС – частота сердечных сокращений, уд/мин.

Оценка: ВИК > 0 – преобладает симпатическое влияние; ВИК < 0 – парасимпатическое влияние.

3) Интегральный показатель адаптационного потенциала (АП) рассчитывали в соответствии с формулой Баевского:

$$АП = 0,011 \times ЧСС + 0,012 \times САД + 0,008 \times ДАД + 0,014 \times В - 0,009 \times m_{\text{тела}} - 0,009 \times H_{\text{тела}} - 0,27$$

где: АП – адаптационный потенциал, ЧСС – частота сердечных сокращений, уд/мин, САД – систолическое давление в мм рт. ст., ДАД – диастолическое давление в мм рт. ст.,  $m_{\text{тела}}$  – масса тела в кг,  $H_{\text{тела}}$  – длина тела в см, В – возраст в годах.

Результаты интерпретируются следующим образом: значения АП меньше 2 с высокой валидностью соответствуют удовлетворительному уровню адаптации; в диапазоне от 2,1 до 3,0 – напряжению адаптации; от 3,1 до 4,0 – неудовлетворительному уровню адаптации; от 4,1 и выше – срыву процесса адаптации [4].

4) расчеты основного обмена (ОО) веществ в ккал/сут или из таблицы Гarrisона-Бенедикта:

$$ОО (\text{мужчины}) = 66,47 + 13,75 \times m_{\text{тела}} + 5,02 \times H_{\text{тела}} - 6,76 \times В$$

5) и отклонения от ОО в % по формуле Рида:

$$ПО = 0,75 \times [(ЧСС + (ПД \times 0,74))] - 72,$$

где ПО – процентное отклонение ОО от нормы, ПД – пульсовое давление по формуле:

$$ПД = САД - ДАД,$$

отклонения в пределах  $\pm 10\%$  считаются нормой.

Результаты подвергались статистической обработке с помощью вариационно-статистического метода: среднеарифметические показатели пробы Руфье, ВИК, АП, ОО представлены как  $M \pm \delta$  (стандартные ошибки средней величины). С помощью пакета программ SigmaPlot 12.5 оценивали распределение показателей с помощью критерия Шапиро-Уилка (Normality Test: Shapiro-Wilk) и ANOVA Post-hoc test (Bonferroni t-test); уровень значимости различий – с помощью парного t-теста Стьюдента (Paired t-test) в зимний (1), весенний (2) летний (3) сезоны в первый год обучения, и осенний (4) – во второй год

обучения. Критическими считали различия при  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Регистрация показателей производилась в межсессионный период: в дневное время (10.00-14.00 часов) в указанные временные интервалы; зимний (январь-

февраль); весенний (апрель-май), летние сезоны – после летней сессии (с середины июня и по июль), осенний (октябрь-ноябрь) [5].

Полученные данные представлены в таблице.

Таблица

Динамика сезонные фоновые (в состоянии покоя) физиологические показатели

Параметры		Сезоны		Зимний		Весенний		Летний		Осенний	
		М	δ	М	δ	М	δ	М	δ		
САД, мм рт. ст.	Контр.	132,89	8,25	129,72	8,84	127,06	9,60	123,79	5,92		
	Экспер.	129,5	5,34	126,7	7,21	126,0	6,61	123,8	3,2		
ДАД, мм рт. ст.	Контр.	80,56	7,01	76,30	4,41	72,10	7,59	75,26	4,96		
	Экспер.	78,16	6,91	74,45	4,33	71,08	5,52	74,26	4,22		
ПСД	Контр.	13,93	3,78	12,25	3,69	11,65	4,06	9,62	4,03		
	Экспер.	12,22	3,88	11,06	3,23	10,85	3,86	8,52	3,83		
ВИК, %	Контр.	8,65	11,05	7,95	10,77	9,86	10,51	-1,26	8,96		
	Экспер.	7,22	9,05	6,99	8,98	7,54	9,71	-1,54	3,25		
АП, баллы	Контр.	0,93	0,22	0,62	0,38	0,69	0,25	0,64	0,13		
	Экспер.	1,47	0,30	0,55	0,19	0,50	0,17	0,44	1,00		
ОО, ккал	Контр.	2825,1	178,2	2929,7	177,5	3025,1	174,3	2825,1	178,2		
	Экспер.	2874,7	147,1	2947,8	159,9	3022,2	166,6	2848,1	167,6		
% откл.	Контр.	24,1	11,9	20,1	10,5	18,4	9,7	11,7	6,8		
	Экспер.	24,0	11,9	19,8	10,6	18,1	9,5	11,6	6,6		

Примечание: САД – систолическое артериальное давление, ДАД – диастолическое артериальное давление; ПСД – показатель сердечной деятельности; ВИК – вегетативный индекс Кердо; АП – адаптационный потенциал; ОО – основной обмен

Из таблицы видно, что средние показатели САД в контрольной группе показывали следующее: зимой –  $132,9 \pm 8,3$ ; весной –  $129,7 \pm 8,8$ ; летом –  $127,0 \pm 9,6$ ; осенью –  $123,8 \pm 5,9$ ; в экспериментальной –  $129,5 \pm 5,3$ ,  $126,7 \pm 7,2$ ,  $126,0 \pm 6,6$  и  $123,8 \pm 3,2$  соответственно. Средние показатели ДАД: зимой –  $80,6 \pm 7,0$  в контрольной группе и  $80,4 \pm 6,2$  в экспериментальной, весной –  $76,3 \pm 4,4$  ( $75,3 \pm 4,6$ ); летом –  $72,1 \pm 7,6$  ( $71,8 \pm 7,5$ ); осенью –  $75,3 \pm 5,0$  ( $75,2 \pm 5,1$ ). Результаты

графической статистической обработки представлены на рисунке 1.

Студенты, занимающиеся спортом, имели повышенные значения артериального давления в рамках возрастной нормы. Преобладала гипертензия по систолическому и диастолическому типу. Это связано, по всей вероятности, с тем, что они еще испытывали на себе последствия юношеской гипертонии. Во время первой сессии 2 курса почти все студенты имели показатели АД в рамках нормы.

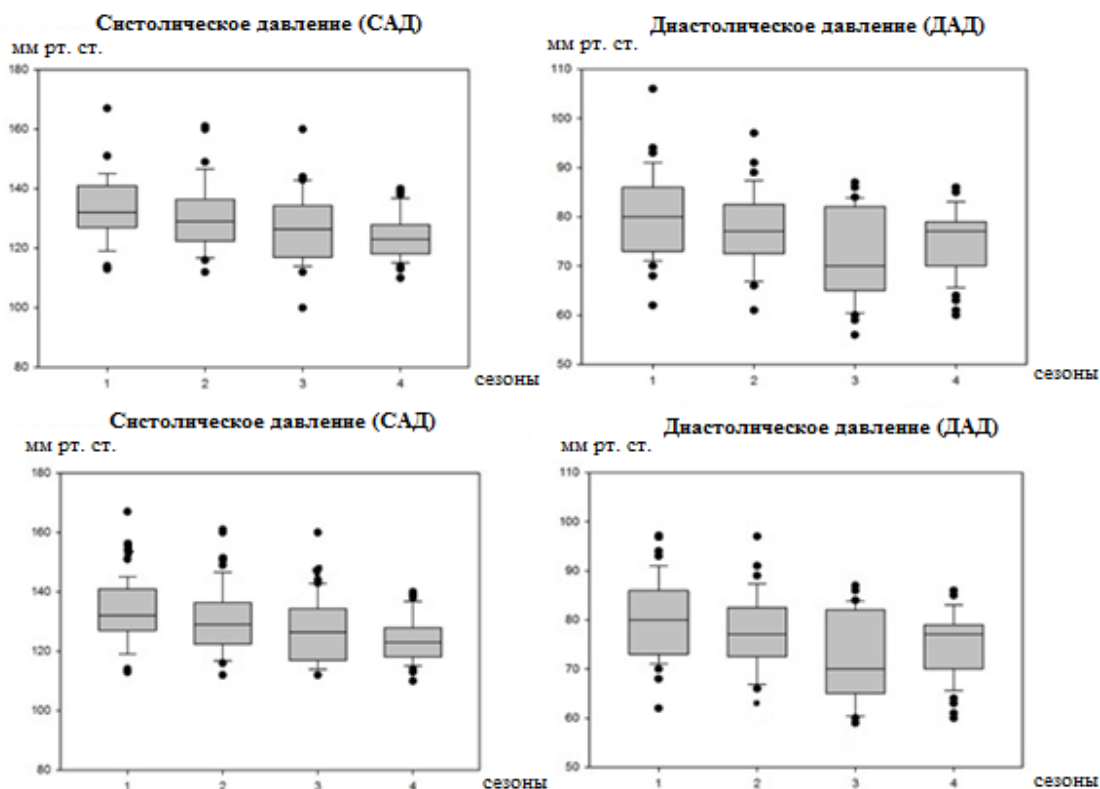


Рис. 1. Динамика артериального давления у студентов,  $M \pm \delta$   
Примечание: измерения контрольной группы указаны сверху, экспериментальной – снизу

Индекс Кердо традиционно используется в качестве валидного показателя соотношения тонуса симпатической и парасимпатической нервной системы. Отрицательные значения индекса свидетельствуют о преобладании парасимпатического влияния на систему кровообращения, а положительные – симпатического [6]. Средние показатели вегетативного баланса составили: зимой –  $8,7 \pm 11,0$ , весной –  $8,0 \pm 10,7$ , летом –  $9,9 \pm 10,5$ , осенью –  $-1,26 \pm 8,9$ . В зимне-весенний, весенне-осенний периоды ВИК сдвигался в сторону преобладания симпатической активности (увеличивался показатель ВИК), а летом и осенью – в сторону преобладания парасимпатической ( $p < 0,01$ ) (рис. 2).

На рисунке 2 видно определенное функциональное напряжение ССС по результатам пробы Руфье в контрольной группе, которое отразилось и

на других показателях, в частности на адаптационных возможностях студентов. Интегративный критерий АП позволяет на системном подходе учитывать возрастные, морфофункциональные особенности студентов и отражает приспособительные возможности организма студентов к меняющимся условиям. Возвращаясь к таблице, можно отметить следующую динамику средних значений АП организма студентов по сезонам в контрольной группе: зимой –  $0,93 \pm 0,22$ ; весной –  $0,62 \pm 0,38$ ; летом –  $0,69 \pm 0,25$ ; осенью –  $0,64 \pm 0,13$ . При повторном (экспериментальном) тестировании АП:  $1,47 \pm 0,30$ ,  $0,55 \pm 0,19$ ,  $0,50 \pm 0,17$  и  $0,44 \pm 1,00$  соответственно при  $p < 0,05$ . Таким образом, на состояние организма студентов меньше оказывали влияние социальные факторы, а сезонные ритмы выражены четче.

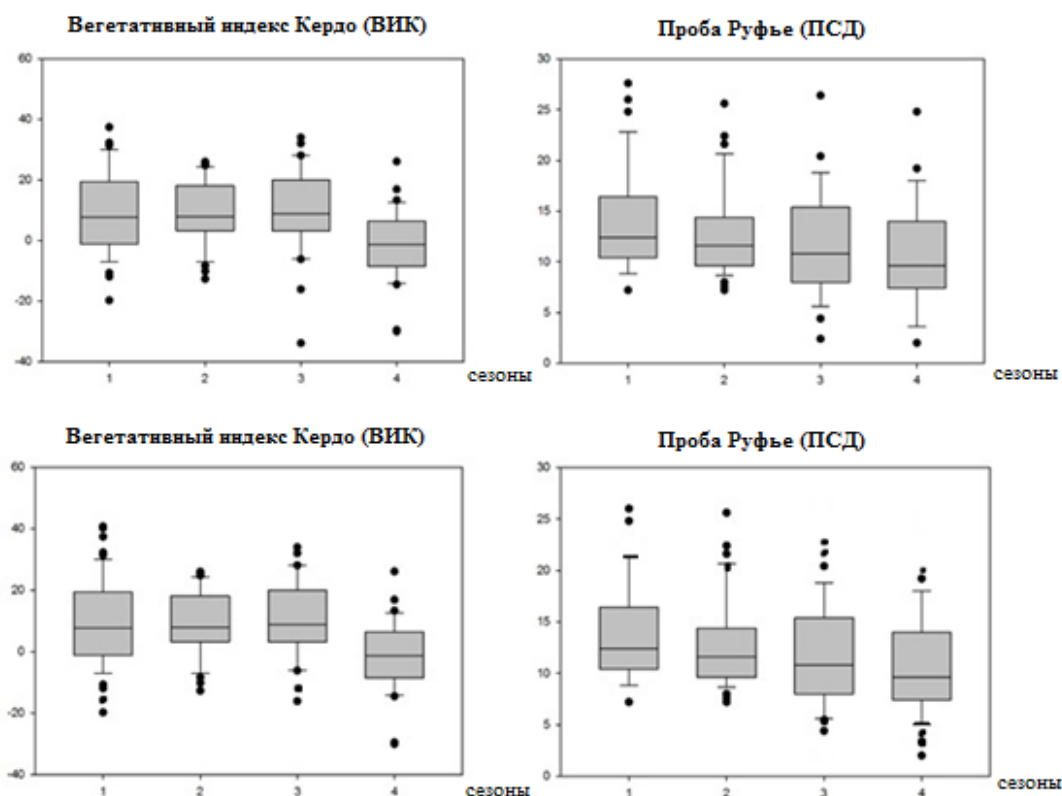


Рис. 2. Динамика вегетативного индекса Кердо и показателя сердечной деятельности у студентов в разные сезоны,  $M \pm \delta$

Примечание: измерения контрольной группы указаны сверху, экспериментальной – снизу

Следующим этапом нашего исследования было изучение биоритмологических особенностей обмена веществ [7]. По общепринятой методике с использованием двух таблиц Гаррисона-Бенедикта мы рассчитывали показатели основного обмена веществ студентов, а для расчёта реального обмена – энергозатраты в день тренировок и день отсутствия тренировок занимающихся спортом студентов. Обработке подвергались показатели реального обмена студентов в день тренировки (рис. 3).

Занимающиеся спортом студенты тратят много энергии на тренировки по сезонам. Как в контрольных, так и экспериментальных измерениях, в самые длинные

дни весной и летом обмен веществ наиболее интенсивен: весной в контрольной группе значения реального энергетического обмена составили  $2929,7 \pm 177,5$  ккал, в экспериментальной –  $2947,8 \pm 159,9$  ккал; летом –  $3025,1 \pm 174,3$  ккал и  $3022,2 \pm 166,6$  ккал соответственно. Меньшие значения реального обмена отмечаются зимой в контрольной группе –  $2825,1 \pm 178,2$  ккал, в экспериментальной –  $2874,2 \pm 147,1$  ккал; осенью в контрольной группе –  $2825,1 \pm 178,2$  ккал, в экспериментальной –  $2848,1 \pm 167,6$  ккал. Ритмичность колебаний реального обмена веществ проявлялась существенно при  $p < 0,01$ , за исключением осенне-зимнего периода в первый год эксперимента.

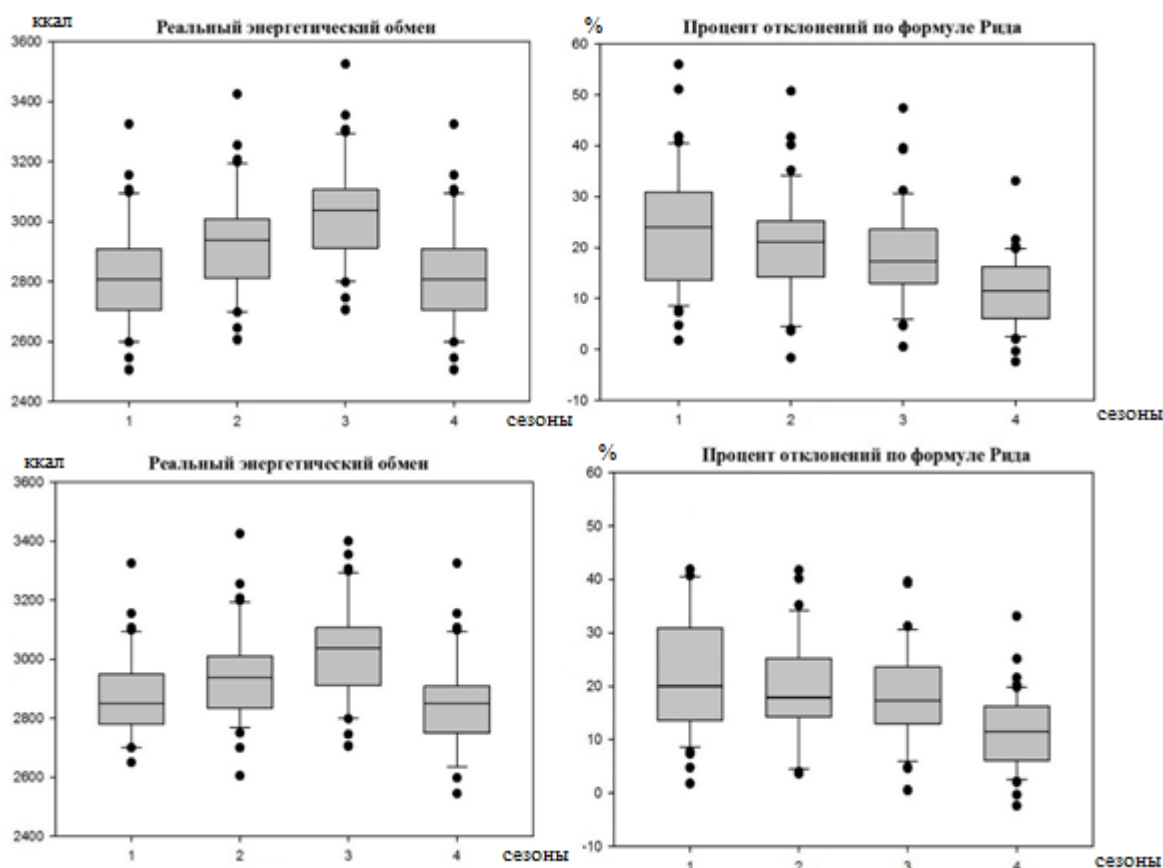


Рис. 3. Динамика основного обмена и процентного отклонения по формуле Рида у студентов в разные сезоны,  $M \pm \delta$

Примечание: измерения контрольной группы указаны сверху, экспериментальной – снизу

Тренировочная деятельность студентов, занимающихся спортом, требует значительных энергетических затрат в сравнении с обычными студентами. Как и ожидалось, расчёты отклонения от основного обмена по методу Рида имели значимость (повышение от нормы) и в первый, и во второй год наблюдения.

**Заключение.** Таким образом, проведённые исследования показывают, что

сезонная ритмическая обусловленность вегетативных характеристик студентов-спортсменов проявляется значимо по всем интегральным показателям, характеризующим состояние сердечно-сосудистой системы (ПР, ВИК, АП) и обмена веществ, в меньшей степени сезонной динамике подвержены базовые показатели (ЧСС, АД, ОО).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ingemann-Hansen, T. Seasonal variation of maximal oxygen consumption rate in humans / T. Ingemann-Hansen, J. Halkjaer-Kristensen // *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* – 1982. – № 49(2). – P. 151.
2. Sport-seasonal changes in body composition, strength and power of college wrestlers / Utter A., Stone M., O'Bryant H. [et al] // *J Strength Cond Res.* – 1998. – № 12(4). – pp. 266-271.
3. Koutedakis Y. Seasonal variation in fitness parameters in competitive athletes / Y. Koutedakis // *Sports Med.* – 1995. – № 19(6). – pp. 373-392.
4. Баевский, Р. М. Оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М.: Медицина, 1997. – 236 с.
5. Кальбердин, И. С. Особенности сезонных биоритмов функций сердечно-сосудистой



системы у студентов-первокурсников / И. С. Кальбердин, А. Н. Инюшкин // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2023. – Т. 2. – № 1. DOI: 10.51871/2782-6570\_2023\_02\_01\_1

6. Особенности вегетативного статуса у студентов с разными хронотипами в осенне-зимний и весенне-летний периоды года / С. Павленко, О. Ведясова, И. Крестов, И. Романов // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 2. DOI: 10.51871/2588-0500\_2022\_06\_02\_11

7. Seasonal variation in household, occupational, and leisure time physical activity: longitudinal analyses from the seasonal variation of blood cholesterol study / Matthews C. E., Freedson P. S., Hebert J. R. [et al] // *Am J Epidemiol.* – 2001. – № 153(2). – pp. 72-83.

#### REFERENCES

1. Ingemann-Hansen T, Halkjaer-Kristensen J. Seasonal variation of maximal oxygen consumption rate in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1982, no. 49(2), p. 151.

2. Utter A., Stone M., O'Bryant H., Summinski R., Ward B. Sport-seasonal changes in body composition, strength and power of college wrestlers. *J Strength Cond Res*, 1998, no. 12(4), pp. 266-271.

3. Koutedakis Y. Seasonal variation in fitness parameters in competitive athletes. *Sports Med*, 1995, no. 19(6), pp. 373-392.

4. Baevskij R.M., Berseneva A.P. Evaluation of the adaptive capacity of the body and the risk of developing diseases. Moscow: Meditsina, 1997. 236 p. (in Russ.)

5. Kal'berdin I.S., Inyushkin A.N. Features of seasonal biorhythms associated with the cardiovascular system function in first-year students. *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*, 2023, vol. 2, no. 1. DOI: 10.51871/2782-6570\_2023\_02\_01\_1.

6. Pavlenko S.I., Vedyasova O.A., Kretova I.G., Romanova I.D. Features of the autonomic status in students with different chronotypes in the autumn-winter and the spring-summer periods of the year. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 2. DOI: 10.51871/2588-0500\_2022\_06\_02\_11. (in Russ.)

7. Matthews C.E., Freedson P.S., Hebert J.R., Stanek 3rd E.J., Merriam P.A., Rosal M.C., Ebeling C.B., Ockene I.S. Seasonal variation in household, occupational, and leisure time physical activity: longitudinal analyses from the seasonal variation of blood cholesterol study. *Am J Epidemiol*, 2001, no. 153(2), pp. 72-83.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Игорь Сергеевич Кальбердин** – аспирант, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, e-mail: kalberdinis@gmail.com.

**Алексей Николаевич Инюшкин** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедры физиологии человека и животных, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, e-mail: ainyushkin@mail.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Igor' Sergeevich Kal'berdin** – Post-Graduate Student, Samara University, Samara, e-mail: kalberdinis@gmail.com

**Aleksej Nikolaevich Inyushkin** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Human and Animal Physiology, Samara University, Samara, e-mail: ainyushkin@mail.ru.

**Для цитирования:** Кальбердин, И. С. Сезонная динамика вегетативных характеристик студентов, занимающихся спортом / И. С. Кальбердин, А. Н. Инюшкин // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_11

**For citation:** Kal'berdin I.S., Inyushkin A.N. Seasonal dynamics of the autonomic characteristics of students who play sports. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_11

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_12  
УДК 796.015.527

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_12  
UDC 796.015.527

## ТРЕНИРОВКИ С ОГРАНИЧЕНИЕМ КРОВОТОКА ДЛЯ СПОРТСМЕНОВ: ЗОНТИЧНЫЙ ОБЗОР СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОБЗОРОВ

**Ф.А. Колосков, А.В. Мештель, А.Б. Мирошников**

Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Россия

**Аннотация.** В последние годы значительно возрос интерес у спортсменов к тренировкам с ограничением кровотока. Цель исследования: провести систематический поиск и обобщение систематических обзоров и/или мета-анализов по влиянию тренировок с ограничением кровотока на физические показатели спортсменов. Поиск литературы производился в базах данных PubMed, Cochrane Library и Epistemonikos. Временные рамки поиска не ставились, но сам поиск закончился 15.04.2023 года. Оценка методологического качества включенных статей проводилась с использованием инструмента оценки методологического качества систематических обзоров (AMSTAR-2). Было включено и проанализировано 3 систематических обзора. Общее методологическое качество 3 включенных обзоров, оцененных с помощью AMSTAR-2, выявило очень низкий рейтинг достоверности (чрезвычайно низкая достоверность, n=2, низкая достоверность, n=1). В целом анализ и обобщение всех результатов включенных систематических обзоров по влиянию тренировок с ограничением кровотока на функциональные параметры спортсменов показал неоднозначные результаты. Авторы 3 систематических обзоров, вошедших в данный зонтичный обзор, не пришли к единому мнению о положительном влиянии тренировок с ограничением кровотока на физиологические показатели спортсменов.

**Ключевые слова:** окклюзионная тренировка, тренировка с ограничением кровотока, спортсмены, упражнение, работоспособность.

## BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING FOR ATHLETES: AN UMBRELLA REVIEW OF SYSTEMATIC REVIEWS

**F.A. Koloskov, A.V. Meshtel, A.B. Miroshnikov**

Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism, Moscow, Russia

**Annotation.** In recent years, there has been a significant increase in the interest of athletes in training with blood flow restriction. Objective of the study: conduct a systematic search and synthesis of systematic reviews and/or meta-analyses on the effect of blood flow restriction training on the physical performance of athletes. Literature searches were performed in the PubMed, Cochrane Library and Epistemonikos databases. The period for the search was not set, but the search itself ended on 15.04.2023. The methodological quality of the included articles was assessed with A Methodological Quality Assessment Tool for Systematic Reviews (AMSTAR-2). Three systematic reviews were included and analyzed. The overall methodological quality of the 3 included reviews assessed by AMSTAR-2 demonstrated a very low confidence rating (critically low, n=2, low, n=1). In general, the analysis and synthesis of all the results of the included systematic reviews on the effect of training with blood flow restriction on the functional parameters of athletes revealed mixed results. The authors of the 3 systematic reviews included in this umbrella review did not reach a consensus on the positive effect of blood flow restriction training on the physiological performance of athletes.

**Keywords:** occlusion training, blood flow restriction training, athletes, exercise, performance.

**Введение.** В последние годы значительно возрос интерес к окклюзионному тренингу (тренировкам с ограничением кровотока – blood flow restriction (BFR)) [1].

Тренировка BFR включает использование системы манжеты или жгута, расположенной по окружности вокруг проксимального конца конечности и накачанной до

заданного давления (диапазон от 110 до 240 мм рт. ст.) в попытке поддерживать артериальный кровоток при ограничении венозного возврата. Считается, что эта техника зародилась в 1970-х годах благодаря тренировкам с отягощениями “Kaatsu” доктора Йошиаки Сото (Yoshiaki Soto), но только в 1998 году было опубликовано первое исследование, посвященное этому виду тренинга [2]. Позже BFR стал одним из новых видов тренинга, который тренеры стали добавлять в программы спортсменов для улучшения спортивных результатов [3]. Хотя BFR традиционно включается в контекст спортивной реабилитации [4], благоприятные результаты, полученные в отношении характеристик мышц и силы в сочетании с тренировками с отягощениями, повысили интерес спортивных тренеров к этому виду тренинга [5]. Таким образом, BFR стал сочетаться не только с тренировками с отягощениями, но и с бегом или другими видами спорта [6-7] для повышения аэробной работоспособности и спортивных результатов [8]. В настоящее время было проведено и опубликовано множество рандомизированных контролируемых исследований (РКИ) по данной теме. Однако зонтичных обзоров систематических обзоров и/или мета-анализов, которые могли бы объединить данные о влиянии BFR на спортивные результаты, опубликовано не было. На основании анализа проблемной ситуации, данных современной научной литературы и запросов спортивных биологов, тренеров и спортсменов была сформулирована цель исследования.

Цель исследования: провести систематический поиск и обобщение систематических обзоров и/или мета-анализов по влиянию тренировок с ограничением кровотока на физические показатели спортсменов.

**Методы и организация исследования.** Исследование проходило на кафедре спортивной медицины Российского университета спорта «ГЦОЛИФК», город Москва. Это исследование было проведено в соответствии с заявлением о предпочтительных

отчетных показателей для систематических обзоров и мета-анализов (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)) [9] и Кокрановским руководством по систематическим обзорам вмешательств (Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions). Протокол исследования был составлен до начала поиска и не менялся ни во время, ни после его окончания. До начала поиска было определено, что в обзор войдут только систематические обзоры и/или мета-анализы РКИ и не-РКИ, так как этот вид исследований является «золотым стандартом» доказательной медицины.

Поиск литературы производился в базах данных PubMed, Cochrane Library и Epistemonikos по следующим ключевым словам: “Blood flow restriction OR Blood flow occlusion OR Kaatsu” AND “athlete OR elite athlete”. Временные рамки поиска не ставились. Чтобы еще больше улучшить наш поиск, мы провели поиск «серой» литературы в Интернете, в базах Google Scholar и Elibrary. Затем списки ссылок в найденных исследованиях были подвергнуты ручному поиску, чтобы выявить потенциально подходящие исследования, не охваченные электронным поиском. Чтобы исследование вошло в обзор, оно должно было соответствовать следующим критериям включения, основанным на системе PICOS (Population – участники, Intervention – вмешательство, Comparison – сравнение, Outcomes – результаты и Study – исследование) [10]. P – спортсмены, элитные спортсмены (мужчины и женщины) старше 18 лет; I – тренировки с ограничением кровотока (аэробные, анаэробные, силовые, тренировки с отягощением); C – сравнение с контрольной группой или с началом вмешательства; O – в исследованиях оценивались работоспособность, выносливость, состав тела, силовые показатели; S – систематические обзоры и/или мета-анализы с широким спектром дизайнов исследований, включая РКИ как с неактивными контрольными группами, так и с контрольными группами с

фиктивным окклюзионным тренингом, а также с экспериментальными вмешательствами с физическими упражнениями без назначенных контрольных групп.

Первоначально два автора обзора (Колосков Ф.А., Мештель А.В.), параллельно, независимо друг от друга, проверяли заголовки статей, абстракты и, при необходимости, полные тексты из записей базы данных в соответствии с критериями приемлемости. Дубликаты и статьи, не соответствующие критериям, удалялись. Любые несоответствия разрешались путем консенсусного обсуждения, а любые разногласия разрешались другим рецензентом (Мирошников А.Б.). Мы не ставили в исследовании языковой барьер.

Методологическое качество включенных статей оценивалось с помощью инструмента «Оценка методологического качества систематических обзоров» (A MeaSurement Tool to Assess systematic Reviews (AMSTAR-2)) [11], состоящего из 16 пунктов. Качество каждой подходящей статьи было независимо проанализировано двумя исследователями (Колосков Ф.А., Мештель А.В.). Всякий раз, когда возникали разногласия между оценками двух исследователей, консенсус достигался либо путем обсуждения, либо с помощью третьего рецензента (Мирошников А.Б.). Интеррейтерское (каппа) согласие варьировалось от 0,55 (слабое) до 1,00 (почти идеальное), как рекомендует McHugh [12]. В этом обзоре были особенно рассмотрены исходные области, которые могут критически повлиять на достоверность обзора и его выводов, как это было предложено Shea и соавторами [11]. Поскольку в этом исследовании данные были представлены описательно, статистический анализ не проводился.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Всего в базах данных было выявлено 55 упоминаний. Затем эти данные были экспортированы, и любые дубликаты или статьи, несоответствующие критериям включения, были удалены вручную. На рисунке изображена блок-схема процесса отбора исследований PRISMA для

обзора. Мы исключили следующие систематические обзоры: Chua и соавт. [13], Bennett и Slattery [14], Slysz и соавт. [15], Formiga и соавт. [16], Gear и соавт. [17], Silva и соавт. [18] и Flossco и соавт. [19] за несоответствие контингента испытуемых. Критериям включения соответствовали только 3 систематических обзора [20-22], причем один мета-анализ [22] был найден в результате ручного поиска. Хронологический анализ статей, рассмотренных в этом обзоре, свидетельствует о последних достижениях в этой области исследований, подчеркивая, что включенные систематические обзоры были опубликованы за последние два года (2021-2022 год).

Общее методологическое качество 2 включенных обзоров резюмировано в таблице 1. На основании оценки общей достоверности, полученной с помощью AMSTAR-2 [11], общая достоверность результатов 2 обзоров была оценена как «Чрезвычайно низкая достоверность» [20-21] и одного мета-анализа – как «Низкая достоверность» [22]. Эти результаты аналогичны полученным в других областях исследований [23-24]. По этой причине, а также потому, что систематические обзоры и мета-анализы являются недавним методом исследований в области спортивной медицины, мы не исключали ни одно из исследований из дальнейшего анализа на основе оценки качества.

В мета-анализ Castilla-López и соавт. [20] вошло 10 исследований, в которых было включено 207 спортсменов (пол: 77,8% мужчины; возраст: 22,2±2,2 года). Среди участников 23,2% были легкоатлетами (n=48), 9,7% – бегунами на средние и длинные дистанции (n=20), 11,6% – мини-футболистами (n=24), 22,7% – футболистами (n=47), 5,8% – баскетболистами (n=12), 15,0% – гребцами (n=23) и 12,1% – спринтерами (n=25). В 3 исследованиях BFR применялось при высокоинтенсивных тренировках, в 4 исследованиях – при низкоинтенсивных, в 3 исследованиях интенсивность комбинировалась.



Рис. Блок-схема PRISMA

Таблица 1

Общее методологическое качество обзоров, оцененное с помощью AMSTAR-2

AMSTAR 2 (пункты)	Систематические обзоры и/или мета-анализы		
	Castilla-López et al., 2022 [20]	Wortman et al., 2021 [21]	Flocco et al., 2021 [22]
1	Да	Да	Да
2	Да	Да	Да
3	Нет	Нет	Нет
4	Частично да	Частично да	Частично да
5	Нет	Да	Да
6	Нет	Нет	Да
7	Нет	Нет	Нет
8	Да	Да	Да
9	Да	Нет	Да
10	Нет	Нет	Нет
11	Да	Нет мета-анализа	Да
12	Да	Нет мета-анализа	Да
13	Да	Нет	Да
14	Да	Нет	Да
15	Да	Нет мета-анализа	Да
16	Да	Нет	Да
Оценка	Чрезвычайно низкая достоверность	Чрезвычайно низкая достоверность	Низкая достоверность

В систематический обзор Wortman и соавт. [21] вошло 10 исследований, в которых участвовали 250 спортсменов (220 мужчин, 30 женщин) из различных видов спорта, включая легкую атлетику, регби, американский футбол, тяжелую атлетику, нетбол, джиу-джитсу и футбол. Возраст испытуемых – от 19,8 до 25,9 лет. В данном исследовании были рассмотрены три категории, измеряющие результаты спортивной работоспособности: улучшение силы, специфические для вида спорта маркеры работоспособности и изменения в размере мышц. Эти результаты варьировались в зависимости от вида спорта и целевой группы мышц или конечностей.

В мета-анализ Флоссо и соавт. [22] вошло 7 исследований. Размер выборки в исследованиях варьировался от 12 до 62 участников. Большинство участников были мужчинами со средним возрастом от 19,2±1,8 до 27±3,4 года. Испытуемыми были спортсмены различных спортивных дисциплин: футбол, легкая атлетика, регби, нетбол, баскетбол, академическая гребля, мини-футбол. Оклюзионное давление в исследованиях колебалось от 160 до 230 мм рт. ст. Продолжительность тренировочного вмешательства BFR варьировала от 3 до 8 недель с частотой от 2 до 6 тренировок в неделю.

Один систематический обзор не обнаружил преимущества тренировок BFR для спортсменов [20], два обзора показали [21-22], что BFR-тренинг может максимизировать спортивные результаты без каких-либо побочных эффектов (табл. 2).

Многие исследования подтверждают благотворное влияние тренировки BFR на гипертрофию, силу и выносливость в различных видах спорта, особенно таких, как бег, езда на велосипеде или гребля [25]. В соответствии с этими выводами, BFR-

тренинг успешно применяется как при аэробных тренировках, так и при тренировках с отягощениями и может привести к заметному улучшению силы и выносливости [25-27].

Что касается максимального повышения кислорода (МПК), несколько систематических обзоров [3, 14] и мета-анализов [15, 16, 19] выявили убедительные доказательства улучшения МПК с помощью тренировок BFR по сравнению с аналогичными тренировками без применения BFR. Недавнее РКИ Held и соавт. показало, что 15 тренировок низкоинтенсивного плавания (60 минут в неделю) с применением BFR дополнительно влияют на повышение МПК по сравнению с плаванием без BFR [6]. Однако систематический обзор с мета-анализом Castilla-López и его коллег [20] выявил, что тренировки с BFR не добавили преимуществ в аэробных параметрах по сравнению с тренировками без BFR у тренированных спортсменов. Эти результаты контрастируют с предыдущими систематическими обзорами [3, 14, 15, 16, 19], в которых сообщалось о значительных различиях в аэробных возможностях после низкоинтенсивных тренировок BFR, и предполагалась потенциальная польза для специалистов, работающих в практическом поле. Объяснить это можно тем, что в большинстве исследований, включенных в эти обзоры, принимали участие физически активные люди или нетренированные спортсмены (табл. 2).

Необходимо подчеркнуть физиологические различия спортсменов (особенно высокого уровня) и активных людей или спортсменов, которые прекратили тренироваться. В будущих РКИ необходимо включать спортсменов только с равными показателями, например уровень мастерства, МПК, силы или тренировочного стажа.

Таблица 2

Включенные систематические обзоры, оценивающие влияние окклюзионного тренинга на физические показатели спортсменов

Авторы обзоров/год	Включенные исследования	Основные выводы обзоров
Castilla-López et al., 2022 [20]	10	Хотя добавление BFR к тренировочным занятиям всегда дает преимущества по сравнению с базовым уровнем аэробной способности и спортивных результатов тренированных спортсменов, эти результаты не лучше, чем результаты, наблюдаемые после тех же тренировок без BFR.
Wortman et al., 2021 [21]	10	BFR может привести к улучшению силы, размера мышц и маркеров работоспособности у здоровых спортсменов. Сочетание традиционных тренировок с отягощениями и BFR может позволить спортсменам максимизировать спортивные результаты и сохранить хорошее здоровье.
Flocco et al., 2021 [22]	7	Применение BFR положительно влияет на мышечные адаптации по сравнению с тренировками в условиях нормального кровотока в плане увеличения МПК, силы и мышечных адаптаций.

Примечание: BFR (blood flow restriction) – тренировки с ограничением кровотока; МПК – максимальное потребление кислорода

**Заключение.** Данный зонтичный обзор систематических обзоров и мета-анализов по влиянию BFR на функциональные способности спортсменов был проведен для выявления текущих пробелов в литературе и внесения предложений для будущих исследований.

Исследования по влиянию BFR на функциональные способности спортсменов вызывают растущий интерес в течение последних 20 лет. Однако значительное количество (100% в данном зонтичном обзоре) систематических обзоров и мета-анализов было опубликовано в последние два года (т.е. в 2021 и 2022 годах). В дополнение к потенциальным недостаткам (например, малый размер выборки, отсутствие правил рандомизации и проч.), выявленным в оригинальных

исследованиях, наш обзор систематических обзоров и мета-анализов показал общее критически низкое методологическое качество включенных обзоров, что свидетельствует о необходимости значительного улучшения методологических процедур в таких исследованиях.

Авторы 3 систематических обзоров, вошедших в данный зонтичный обзор, не пришли к единому мнению об эффективности использования BFR для повышения работоспособности спортсменов. Некоторые опасения остаются в области безопасности применения BFR. Необходимы дальнейшие РКИ в этих областях, чтобы рассеять опасения и полностью внедрить BFR в спортивную практику элитных спортсменов.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Участие авторов.** Концепция, дизайн исследования и написание текста – Ф.А. Колосков; сбор материала – Ф.А. Колосков, А.В Мештель; редактирование – А.Б. Мирошников.

**Conflict of interest.** The authors declare no clear or potential conflicts of interest associated with the publication.

**Authors' contribution.** Concept, design of the study, writing – F.A. Koloskov; data gathering – F.A. Koloskov, A.B. Meshtel; editing – A.B. Miroshnikov.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Current Trends in Blood Flow Restriction / Cuffe M., Novak J., Saithna A., [et al] // *Front Physiol.* – 2022 Jul 6. – № 13. – Art. № 882472. DOI: 10.3389/fphys.2022.882472.
2. Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance / M. Shinohara, M. Kouzaki, T. Yoshihisa, T. Fukunaga // *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* – 1998. – № 77(1-2) – pp. 189-191. DOI: 10.1007/s004210050319.
3. Pignanelli, C. Blood flow restriction training and the high-performance athlete: science to application / C. Pignanelli, D. Christiansen, J. F. Burr // *J Appl Physiol.* – 1985. – Apr 1, 2021. – № 130(4). – pp. 1163-1170. DOI: 10.1152/jappphysiol.00982.2020.
4. Ischemic Therapy in Musculoskeletal Medicine / A. J. Ramme, B. J. Rourke, C. M. Larson, A. Bedi // *Am J Sports Med.* – Oct 2020. – № 48(12). – pp. 3112-3120. DOI: 10.1177/0363546520901539.
5. Technical and Training Related Aspects of Resistance Training Using Blood Flow Restriction in Competitive Sport – A Review / Wilk M., Krzysztolik M., Gepfert M. [et al] // *J Hum Kinet.* – Dec 31, 2018. – № 65. – pp. 249-260. DOI: 10.2478/hukin-2018-0101.
6. Low-intensity swimming with blood flow restriction over 5 weeks increases VO<sub>2</sub>peak: A randomized controlled trial using Bayesian informative prior distribution / Held S., Rappelt L., Deutsch J. P. [et al] // *Eur J Sport Sci.* – Mar 6 2023. – pp. 1-7. DOI: 10.1080/17461391.2023.2180671.
7. Aerobic Training With Blood Flow Restriction for Endurance Athletes: Potential Benefits and Considerations of Implementation / N. Smith, B. Scott, O. Girard, J. Peiffer // *J Strength Cond Res.* – Dec 1, 2022. – № 36(12). – pp. 3541-3550. DOI: 10.1519/JSC.0000000000004079.
8. Blood flow restriction training in athletes / M. R. Kelly, K. J. Cipriano, E. M. Bane, B. T. Murtaugh // *Curr Phys Med Rehabil Reports.* – 2020. – № 8(4). – pp. 329-341. DOI: 10.1007/s40141-020-00291-3.
9. Dickson, K. PRISMA 2020 updated guideline / K. Dickson, C. A. Yeung // *Br Dent J.* – 2022. – № 232(11). – pp. 760-761. DOI: 10.1038/s41415-022-4359-7.
10. Samson, D. Chapter 2: medical tests guidance (2) developing the topic and structuring systematic reviews of medical tests: utility of PICOTS, analytic frameworks, decision trees, and other frameworks / D. Samson, K. M. Schoelles // *J Gen Intern Med.* – 2012. – № 27, Suppl 1(Suppl 1). – pp 11-19. DOI: 10.1007/s11606-012-2007-7.
11. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both / Shea B. J., Reeves B. C., Wells G. [et al] // *BMJ.* – 2017. – № 358. – Art. № j4008. DOI: 10.1136/bmj.j4008.
12. McHugh, M. L. Interrater reliability: the kappa statistic / M. L. McHugh // *Biochem Med (Zagreb).* – 2012. – № 22(3). – pp. 276-282. DOI: 10.11613/BM.2012.031.
13. Chua, M. T. Acute and Chronic Effects of Blood Flow Restricted High-Intensity Interval Training: A Systematic Review / M. T. Chua, A. Sim, S. F. Burns // *Sports Med Open.* – Sep 30, 2022. – № 8(1). – Art. № 122. DOI: 10.1186/s40798-022-00506-y.
14. Bennett, H. Effects of Blood Flow Restriction Training on Aerobic Capacity and Performance: A Systematic Review / H. Bennett, F. Slattery // *J Strength Cond Res.* – Feb 2019. – № 33(2). – pp. 572-583. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002963.
15. Slys, J. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis / J. Slys, J. Stultz, J. F. Burr // *J Sci Med Sport.* – 2016 Aug. – № 19(8). – pp. 669-675. DOI: 10.1016/j.jsams.2015.09.005.
16. Effect of aerobic exercise training with and without blood flow restriction on aerobic capacity in healthy young adults: a systematic review with meta-analysis / Formiga M. F., Fay R., Hutchinson S. [et al] // *Int J Sports Phys Ther.* – Apr 2020. – № 15(2). – pp. 175-187. PMID: 32269850.
17. Gear, K. M. Effects of Training with Blood Flow Restriction on Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis / K. M. Gear, K. Kim, S. Lee // *Int J Exerc Sci.* – Dec 1, 2022. – № 15(3). – pp. 1563-1577. PMID: 36583141.
18. Acute and Chronic Responses of Aerobic Exercise With Blood Flow Restriction: A Systematic Review / Silva J. C. G, Pereira Neto E. A., Pfeiffer P. A. S. [et al] // *Front Physiol.* – Oct 4, 2019. – № 10. – Art. № 1239. DOI: 10.3389/fphys.2019.01239.



19. Flocco, P. Effects of blood flow restriction training on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis / P. Flocco, L. Bernabei // *Sport Sciences for Health*. – 2022. – pp. 1-15. DOI: 10.1007/s11332-022-00944-x.
20. Castilla-López, C. Blood flow restriction during training for improving the aerobic capacity and sport performance of trained athletes: A systematic review and meta-analysis / C. Castilla-López, J. Molina-Mula, N. Romero-Franco // *J Exerc Sci Fit*. – Apr 2022. – № 20(2). – pp. 190-197. DOI: 10.1016/j.jesf.2022.03.004.
21. Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review / Wortman R. J., Brown S. M., Savage-Elliott I. [et al] // *Am J Sports Med*. – 2021 Jun. – № 49(7). – pp. 1938-1944. DOI: 10.1177/0363546520964454.
22. Flocco, P. Effect of Blood Flow Restriction Training on Physiological Outcomes in Healthy Athletes: a Systematic Review and Meta-Analysis / P. Flocco, G. Galeoto // *Muscles, Ligaments & Tendons Journal (MLTJ)*. – 2021. – Т. 11. – № 1. DOI: 10.32098/mltj.01.2021.12.
23. Overall confidence in the results of systematic reviews on exercise therapy for chronic low back pain: a cross-sectional analysis using the Assessing the Methodological Quality of Systematic Reviews (AMSTAR) 2 tool / Almeida M. O., Yamato T. P., Parreira P. D. C. S. [et al] // *Braz J Phys Ther*. – 2020. – № 24(2). – pp. 103-117. DOI: 10.1016/j.bjpt.2019.04.004.
24. Match Analysis in Team Ball Sports: An Umbrella Review of Systematic Reviews and Meta-Analyses / Sarmiento H., Clemente F. M., Afonso J. [et al] // *Sports Med Open*. – 2022. – № 8(1). – Art. № 66. DOI: 10.1186/s40798-022-00454-7.
25. Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence / B. R. Scott, J. P. Loenneke, K. M. Slattery, B. J. Dascombe // *J Sci Med Sport*. – May 2016. – № 19(5). – pp. 360-367. DOI: 10.1016/j.jsams.2015.04.014.
26. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis / Loenneke J. P., Wilson J. M., Marin P. J. [et al] // *Eur J Appl Physiol*. – May 2012. – № 112(5). – pp. 1849-1859. DOI: 10.1007/s00421-011-2167-x.
27. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety / Patterson S. D., Hughes L., Warmington S. [et al] // *Front Physiol*. – May 15, 2019. – № 10. – Art. № 533. DOI: 10.3389/fphys.2019.00533.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Филипп Александрович Колосков** – аспирант кафедры спортивной медицины, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: 79057830665@ya.ru.

**Александр Виталиевич Мештель** – магистрант кафедры спортивной медицины, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: meshtel.author@yandex.ru.

**Александр Борисович Мирошников** – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры спортивной медицины, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: benedikt116@mail.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Filipp Aleksandrovich Koloskov** – Post-Graduate Student of the Sports Medicine Department, Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism, Moscow, e-mail: 79057830665@ya.ru.

**Aleksandr Vitalievich Meshtel** – Master's Student of the Sports Medicine Department, Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism, Moscow, e-mail: meshtel.author@yandex.ru.

**Aleksandr Borisovich Miroshnikov** – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Sports Medicine Department, Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism, Moscow, e-mail: benedikt116@mail.ru.

**Для цитирования:** Колосков, Ф. А. Тренировки с ограничением кровотока для спортсменов: зонтичный обзор систематических обзоров / Ф. А. Колосков, А. В. Мештель, А. Б. Мирошников // *Современные вопросы биомедицины*. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_12

**For citation:** Koloskov F.A., Meshtel A.V., Miroshnikov A.B. Blood flow restriction training for athletes: an umbrella review of systematic reviews. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_12

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_13  
УДК 612.46; 615.917

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_13  
UDC 612.46; 615.917

## **ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВОДНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПШЕНА (*PANICUM MILIACEUM*) У КРЫС В НОРМЕ И ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОЧЕЧНОЙ ПАТОЛОГИИ ЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ**

**Н.А. Ломтева, Е.И. Кондратенко, Л.А. Яковенкова, Д.В. Воробьев**

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева», г. Астрахань, Россия

**Аннотация.** Работа посвящена изучению физиологических эффектов водного извлечения пшена у крыс в норме и при моделировании почечной патологии этиленгликолем. Исследование проводили на 63 самцах белых беспородных крыс, разделенных на 7 групп. В ходе эксперимента показано, что этиленгликоль приводил к функциональному нарушению почек, причем наиболее значимые патологические изменения проявлялись при введении животным 0,6% этиленгликоля в течение 21 дня. При этом происходило некоторое увеличение числа эритроцитов в моче, достоверно значимое возрастание количества лейкоцитов, уровня белка в моче, уровня креатинина в плазме крови в сравнении с аналогичными показателями у контрольных самцов крыс. У животных, получавших 1% этиленгликоль в течение 10 дней, также несколько возросло количество эритроцитов и уровень креатинина, тогда как число лейкоцитов увеличивалось достоверно значимо относительно показателей у интактных самцов крыс. Водное извлечение пшена обладало протекторным действием, уменьшая влияние этиленгликоля на функциональные показатели почек.

**Ключевые слова:** водное извлечение пшена, этиленгликоль, лейкоцитурия, уровень креатинина, уровень мочевой кислоты, протекторное действие.

## **PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF MILLET (*PANICUM MILIACEUM*) AQUEOUS EXTRACT IN NORMAL RATS AND IN MODELING KIDNEY PATHOLOGY WITH ETHYLENE GLYCOL**

**N.A. Lomteva, E.I. Kondratenko, L.A. Yakovenkova, D.V. Vorob'yov**

Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia

**Annotation.** The work is devoted to the study of the physiological effects of millet aqueous extract in normal rats and in the modeling of renal pathology with ethylene glycol. The study was carried out on 63 male outbred rats, divided into 7 groups. During the experiment, it was shown that ethylene glycol led to a functional impairment of the kidneys, and the most significant pathological changes were manifested when 0.6% ethylene glycol was administered to animals for 21 days. At the same time, there was a slight increase in the number of erythrocytes in 1  $\mu$ l of urine, a significantly significant increase in the number of leukocytes, the level of protein in the urine, the level of creatinine in the blood plasma in comparison with similar indicators in control male rats. In animals treated with 1% ethylene glycol for 10 days, the number of erythrocytes and the level of creatinine also slightly increased, while the number of leukocytes increased significantly compared to intact male rats. The millet aqueous extract had a protective effect, reducing the effect of ethylene glycol on the functional parameters of the kidneys.

**Keywords:** aqueous extract of millet, ethylene glycol, leukocyturia, creatinine level, uric acid level, protective effect.

**Введение.** Почки представляют собой наиболее важные органы выделения конечных продуктов азотистого обмена и сохранения постоянства осмотического

давления и кислотно-щелочного равновесия в организме. Нарушение функциональной активности почек у человека при патологических состояниях может привести к

смертельному исходу от уремии [1]. По данным медицинской статистики патологии мочевыделительной системы, в настоящее время находятся на третьем месте после болезней сердечно-сосудистой системы и органов дыхания [2]. У 3,5% россиян отмечаются заболевания почек, при этом у женщин они проявляются чаще, чем у мужчин, тогда как у мужчин патологии почек сложнее в лечении и более запущенные [3].

Основными причинами, приводящими к нарушению работы почек, считают инфекции, нефротоксические яды (сулема,  $CCl_4$ , этиленгликоль), массивные ожоги [4-5].

Этиленгликоль в настоящее время широко используется в текстильной, кожевенной, фармацевтической и др. промышленности и может поступать в организм через кожу и пищеварительный тракт. При этом отравление этиленгликолем и содержащими его жидкостями является достаточно распространённым, так как его часто используют вместо спиртных напитков. Этиленгликоль считается протоплазматическим и сосудистым ядом, который приводит к поражению центральной нервной системы (ЦНС), паренхиматозных органов (особенно печени и почек) и желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) [6-7].

Этиленгликоль метаболизируется главным образом в печени и почках, а его токсичность обусловлена прежде всего накоплением токсических промежуточных метаболитов – гликолевого альдегида, гликолата и глиоксилата. Эти соединения содержат карбонильные группы, ингибирующие окислительное фосфорилирование, синтез белка и активность ферментов с сульфгидрильной группой. Отличительным признаком отравления этиленгликолем служит наличие тяжелого метаболического ацидоза, обусловленного накоплением альдегида, гликолата и лактата [6-9].

Помимо лечения почечных заболеваний с помощью лекарственных препаратов важными являются лечение и профилактика нарушений растительными препаратами, имеющими богатый состав биологически

активных веществ (листья брусники и толокнянки, листья ортосифона тычиночного, трава горца птичьего, трава хвоща и др.) и специальное питание [10]. От правильного питания зависит эффективность лечения почек и рецидивы заболевания. В народной медицине в качестве средства при лечении мочевыделительной системы применяют отвар пшена.

Пшено или просо посевное (*panicum miliaceum*) относится к семейству Злаковые (*Gramineae*). Пшено в виде отваров и каш используют при диетическом и лечебном питании, поскольку оно богато полезными веществами, имеет самый высокий процент содержания железа среди всех злаковых, не содержит глютен и, кроме того, считается одной из наименее аллергенных культур. Пшено легко усваивается, а значит подходит для людей с нарушением пищеварения [11-12].

В народной медицине настои из пшена используются при лечении мочекаменной болезни, при этом достаточно эффективно очищая почки, выводя песок и мелкие конкременты, помогает при цистите и различных женских заболеваниях. Кроме того, просо поддерживает образование крови в организме человека [13].

Однако влияние пшена на функциональные системы организма и работу почек при хроническом токсическом отравлении этиленгликолем практически не изучено.

Цель исследования: изучить влияние водного извлечения пшена при токсическом повреждении почек этиленгликолем.

**Методы и организация исследования.** Исследования проводились на самцах белых беспородных половозрелых крыс в количестве 63 особей (средней массой  $227,3 \pm 7,25$  г) из вивария при лаборатории экспериментальной физиологии Астраханского государственного университета им. В.Н. Татищева, при этом животные содержались в стандартных условиях. Для проведения исследования были сформированы 7 экспериментальных групп: первая – контрольная группа (интактные животные), вторая – животные, получавшие 1% раствор

этиленгликоля в течение 10 дней, третья группа – животные, получавшие одновременно 1% раствор этиленгликоля и водное извлечение пшена в течение 10 дней; четвертая группа – животные, получавшие водное извлечение пшена в течение 10 дней, затем в течение 21 дня 0,6% раствор этиленгликоля; пятая группа – животные, получавшие водное извлечение пшена в течение 10 дней; шестая группа – животные, получавшие 0,6% раствор этиленгликоля в течение 21 дня; седьмая группа – животные, получавшие одновременно 0,6% раствор этиленгликоля и водное извлечение пшена в течение 21 дня. В каждой группе животных было 9 самцов крыс.

Эксперименты с животными были проведены в соответствии с Национальным стандартом РФ ГОСТ Р-53434-2009 «Принципы надлежащей лабораторной практики», Приказом Минздрава России от 1 апреля 2016 г. № 199н «Об утверждении Правила надлежащей лабораторной практики» и Директивы Европейской конвенции 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 г. Содержание лабораторных животных и выполнение всех манипуляций соответствовало требованиям нормативной документации и протокола Комитета по этике Астраханского государственного университета им. В.Н. Татищева № 9 от 17 марта 2023 г.

Все опыты проводились в апреле-мае. Животных выводили из эксперимента быстрой декапитацией под нембуталовым наркозом (40 мг/кг массы тела), который вводили животным внутривенно.

Для получения водного извлечения пшена 100 грамм непромытого пшена заливали 0,38 л горячей воды, настаивали в течение 12 часов. Перед процеживанием раствор интенсивно встряхивали. После процеживания водное извлечение пшена давали животным, заменяя питьевую воду. Водное извлечение пшена животные получали в течение 10 дней.

Для хронической интоксикации животным вводили 1% (вторая и третья группа) или 0,6% (четвертая, шестая и седьмая группы) этиленгликоль внутривенно с

помощью зонда. 1% этиленгликоль вводили животным в течение 10 дней, тогда как 0,6% этиленгликоля вводили 21 день.

В последний день приема животными водного извлечения пшена и этиленгликоля у самцов крыс каждой из семи групп собирали мочу. Мочу собирали утром в течение 2 часов после 5% водной нагрузки [14]. Изучали физико-химические свойства мочи (цвет, прозрачность, запах, плотность) и определяли такие компоненты, как лейкоциты, эритроциты, концентрацию креатинина и мочевой кислоты [15].

Оценку цвета и прозрачности мочи проводили визуально. Плотность, количество эритроцитов и лейкоцитов в моче определяли с помощью качественных диагностических полосок Dirui (производство Dirui Industrial Co., Ltd.).

Для определения концентрации креатинина в плазме крови использовали набор «креатинин-д-ольвекс», предназначенный для количественного определения содержания креатинина в сыворотке крови. Для определения концентрации мочевой кислоты использовали набор, предназначенный для количественного определения содержания мочевой кислоты в сыворотке крови ферментативным методом в клинико-диагностических и биохимических лабораториях и научно-исследовательской практике.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием пакета Statistica 10. В работе данные представляли в виде доверительного интервала среднего ( $M \pm m$ ), где  $M$  – среднее арифметическое значение, а  $m$  – ошибка среднего арифметического значения. Полученные данные проверяли на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка. Так как распределение соответствовало нормальному, применяли параметрический критерий –  $t$ -критерия Стьюдента. Различия между показателями групп признавались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Моча у животных контрольной группы была прозрачная и слабо-желтого

цвета, резкий запах отсутствовал, что является нормой для интактных самцов крыс [16]. У животных экспериментальных групп наблюдали следующие изменения мочи. Так, у животных, получавших 0,6% этиленгликоль в течение 21 дня, была мутная моча желтой окраски. У остальных изучаемых групп животных цвет мочи, ее прозрачность и запах не отличались от аналогичных показателей в контроле.

Изучение химического состава мочи при помощи тест-полосок показало, что плотность мочи во всех исследуемых группах была в пределах нормы (рис. 1), которой считаются показатели мочи в пределах 1,012-1,022 г/л. Так, плотность мочи незначительно снижалась у групп крыс, получавших этиленгликоль, а также этиленгликоль и водное извлечение пшеницы (2, 3, 4 и 6 группы), тогда как у животных, которым давали только водное извлечение

пшеницы и водное извлечение пшеницы одновременно с этиленгликолем (5 и 7 группы), плотность мочи несколько возрастала в сравнении с аналогичными показателями у контрольных самцов крыс.

Количество эритроцитов в моче контрольных крыс составляло  $4,8 \pm 0,87$  в 1 мкл, что соответствует нормальным значениям здоровых животных (рис. 2). Так, наблюдалось увеличение количества клеток в группах животных, получавших 1% этиленгликоль до  $11,6 \pm 0,90$ , а 0,6% этиленгликоль в течение 21 дня до  $11,4 \pm 1,23$  эритроцитов в 1 мкл мочи, тогда как животные, получавшие водное извлечение пшеницы, имели практически такое же количество эритроцитов, как в контроле –  $5,2 \pm 1,0$  клеток в 1 мкл мочи.

В моче животных экспериментальных групп происходило небольшое повышение числа эритроцитов.

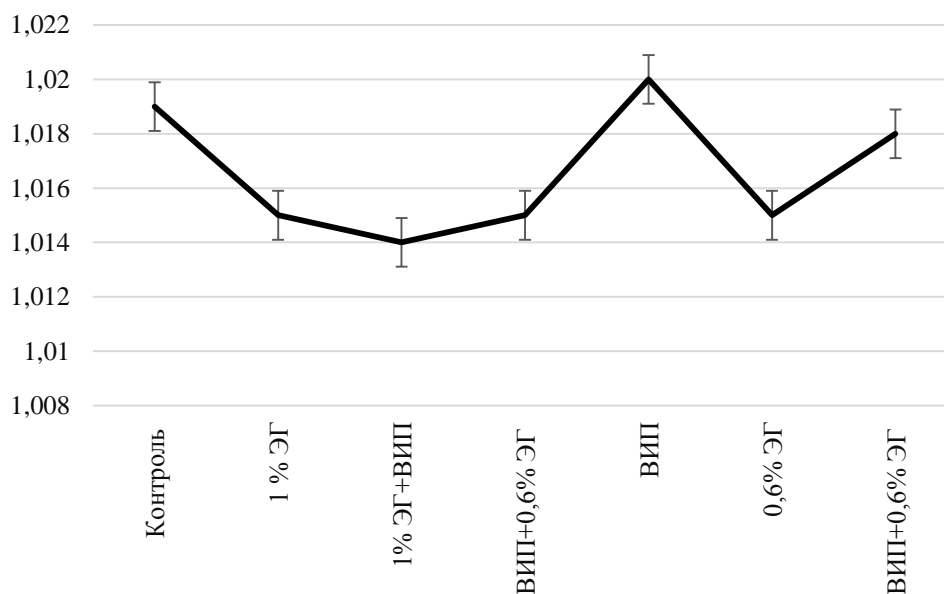


Рис. 1. Изменение плотности мочи крыс, г/л

Примечание (к этому и последующим рисункам): 1 – интактный контроль; 2 – животные, получавшие 1% раствор этиленгликоля 10 дней (1% ЭГ); 3 – животные, получавшие одновременно 1% раствор этиленгликоля и водный раствор пшеницы в течение 10 дней (1% ЭГ+ВИП); 4 – животные, получавшие водный раствор пшеницы в течение 10 дней, затем в течение 21 дня 0,6% раствор этиленгликоля (ВИП+0,6% ЭГ); 5 – животные, получавшие водный раствор пшеницы в течение 10 дней (ВИП); 6 – животные, получавшие 0,6% раствор этиленгликоля в течение 21 дня (0,6% ЭГ); 7 – животные, получавшие одновременно 0,6% раствор этиленгликоля и водный раствор пшеницы в течение 21 дня (ВИП+0,6% ЭГ), \* – достоверность различий в сравнении с контролем

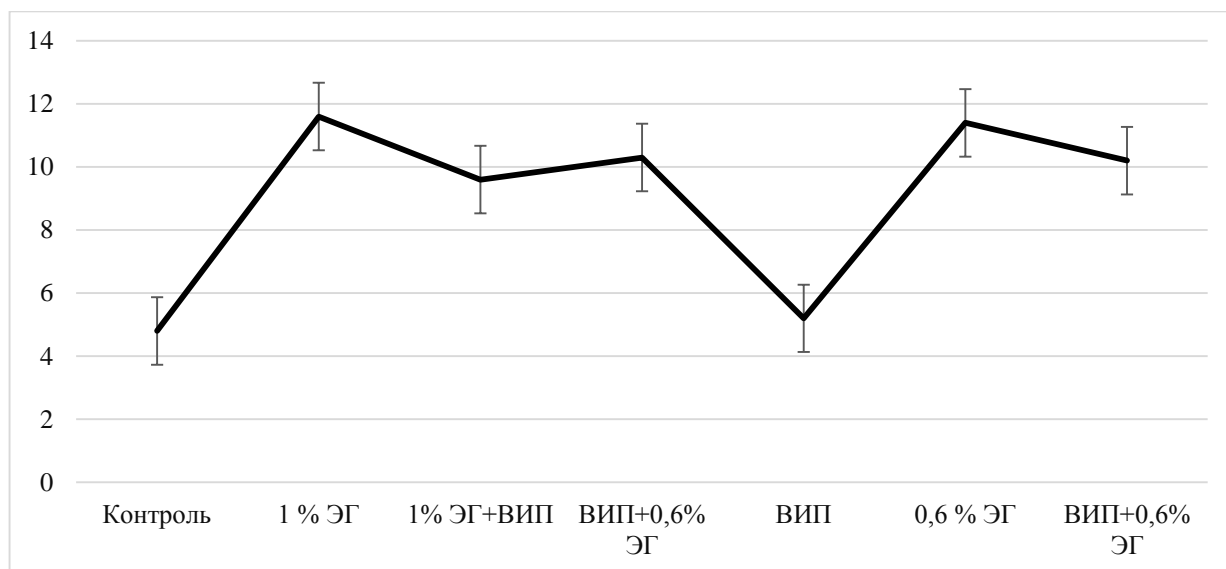


Рис. 2. Количество эритроцитов в моче крыс, кол-во на 1 мкл

Количество лейкоцитов в моче интактных животных было в пределах нормы до  $10,0 \pm 0,23$  клеток в 1 мкл мочи (рис. 3). У животных, получавших этиленгликоль (как 0,6, так и 1%), происходило достоверно

значимое повышение количества лейкоцитов в моче до  $31,0 \pm 0,64$  и  $38,0 \pm 37$  соответственно в сравнении с аналогичными показателями в контроле, то есть отмечалось развитие лейкоцитурии.

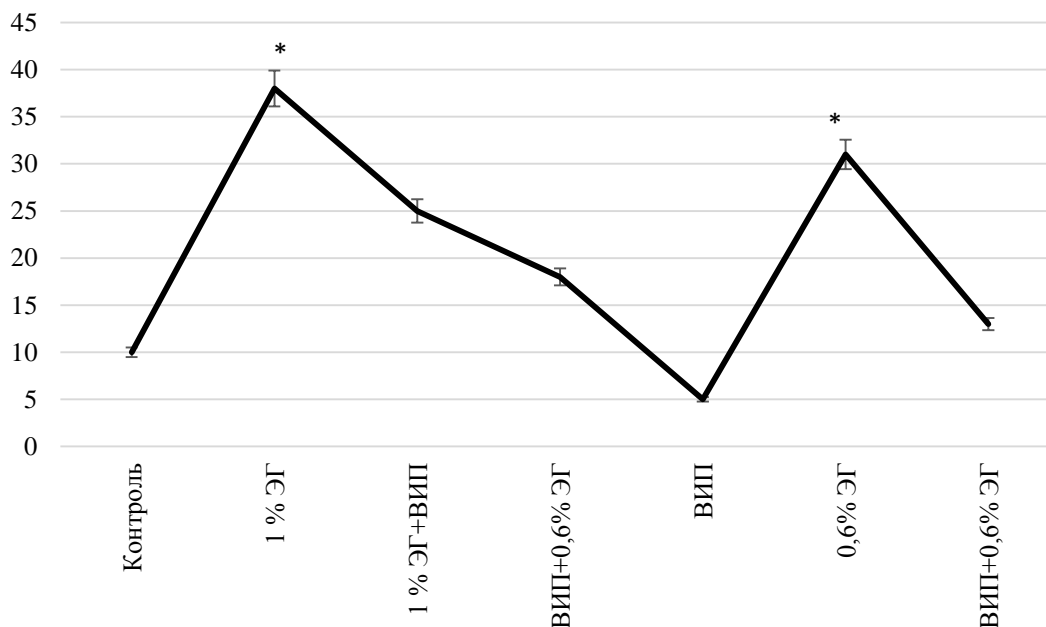


Рис. 3. Количество лейкоцитов в моче, кол-во на 1 мкл

У самцов крыс, которым вводили водное извлечение пшена, количество лейкоцитов в моче было  $5,0 \pm 0,18$  относительно показателя у интактных крыс. При получении животными этиленгликоля

одновременно с водным извлечением пшена количество лейкоцитов было значительно меньше в сравнении с крысами, которым вводили только этиленгликоль.

Уровень белка в моче достоверно значимо возрастал в группе животных, получавших 0,6% этиленгликоль в течение 21 дня в сравнении с интактными крысами (рис. 4). Для самцов крыс остальных групп уровень белка практически не отличался от

значения в контроле. При этом у крыс, получавших водное извлечение пшена одновременно с этиленгликолем, уровень белка в моче был достоверно значимо снижен и соответствовал уровню, характерному для здоровых животных.

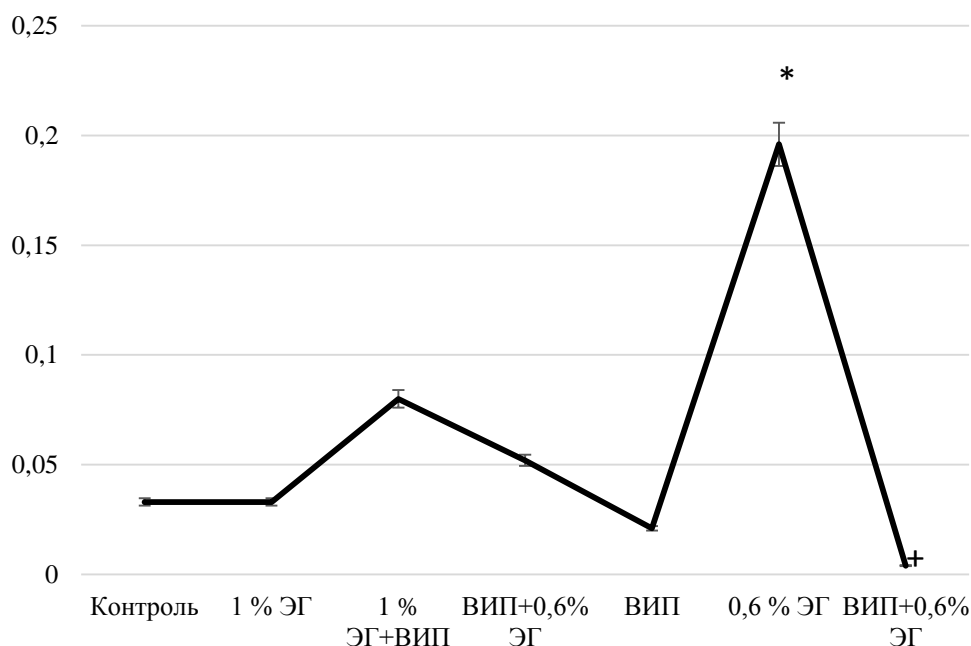


Рис. 4. Уровень белка в моче, г/л

Примечание: + – достоверность различий в сравнении с группой животных, получавших этиленгликоль

Результаты определения уровня креатинина в плазме крови при различных воздействиях изображены на рис. 5. Уровень креатинина возрастал во всех экспериментальных группах при сравнении с показателем у контрольных животных. При этом максимальное достоверно значимое повышение уровня креатинина было характерно для группы животных, получавших 0,6% этиленгликоля в течение 21 дня в сравнении с аналогичными показателями интактных самцов крыс. У животных, которым вводили 0,6% этиленгликоль и водное извлечение пшена, уровень креатинина снижался в 1,16 раз,

однако не достиг значения интактных животных.

На рисунке 6 изображены результаты определения уровня мочевой кислоты в плазме крови крыс. Во всех изучаемых экспериментальных группах животных уровень мочевой кислоты практически не отличался от показателя у контрольных крыс.

Так, согласно полученным нами данным, этиленгликоль приводил к функциональному нарушению почек, причем наиболее значимые патологические изменения проявлялись при введении животным 0,6% этиленгликоля в течение 21 дня.

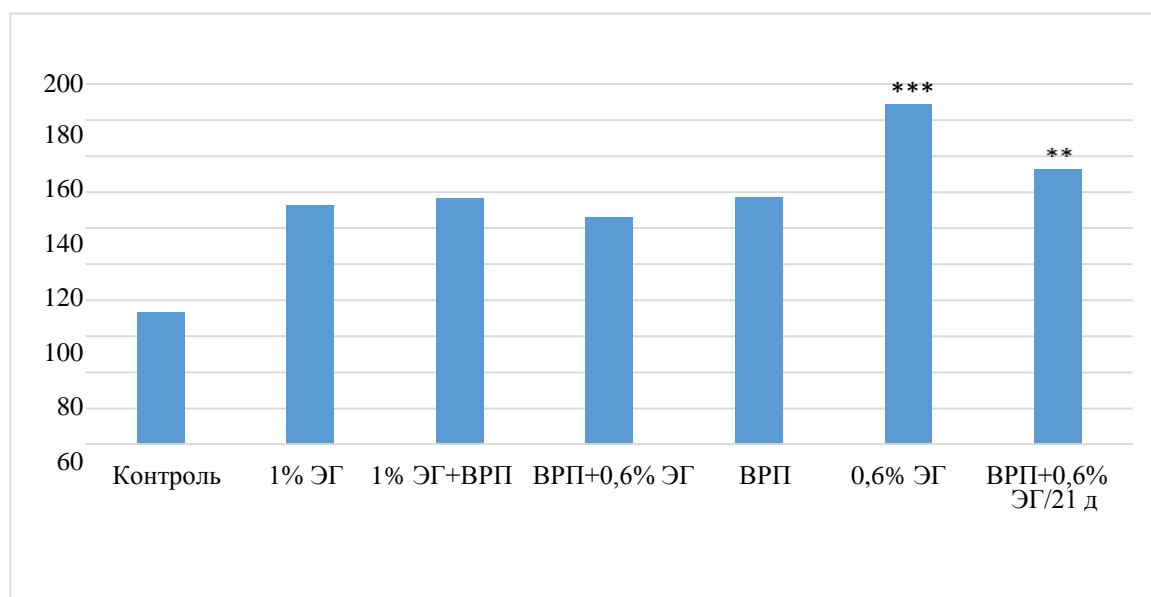


Рис. 5. Уровень креатинина в плазме крови, мкмоль/л

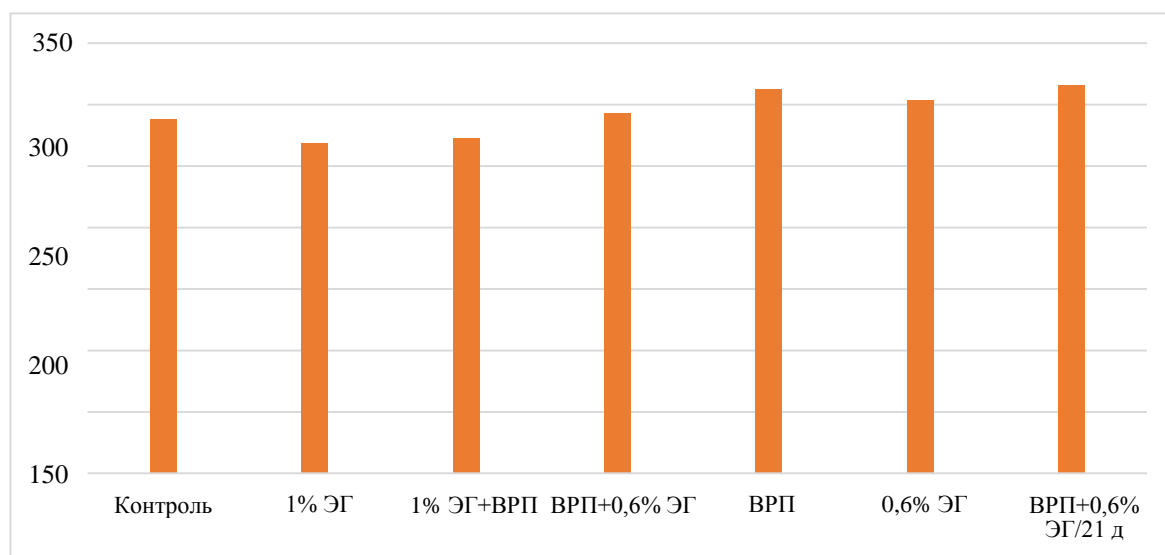


Рис. 6. Уровень мочевой кислоты в плазме крови, ммоль/л

При этом происходило некоторое увеличение числа эритроцитов в моче, достоверно значимое возрастание количества лейкоцитов, уровня белка в моче, уровня креатинина в плазме крови в сравнении с аналогичными показателями у контрольных самцов крыс. У животных, получавших 1% этиленгликоль в течение 10 дней, также несколько возросло количество эритроцитов и уровень креатинина, тогда как число лейкоцитов увеличивалось достоверно значимо относительно показателей у интактных самцов крыс. Водное извлечение пшена обладало протекторным

действием, уменьшая влияние этиленгликоля на функциональные показатели почек.

**Заключение.** Лейкоцитурия, возникающая на фоне введения этиленгликоля, свидетельствует о нарушении работы почек [16]. Нефротоксическое действие этиленгликоля в большей степени выражено при более длительном введении этиленгликоля меньшей концентрации (0,6% этиленгликоль животные получали в течение 21 дня). Токсическое действие этиленгликоля проявляется в канальцевом некрозе, развитии метаболического ацидоза, разрушении почечной паренхимы [17].



Это подтверждается также повышением уровня белка в моче и уровня креатинина в плазме крови. Водное извлечение пшена в норме не изменяло функцию почек,

а при токсическом поражении точек проявляло протекторное действие, уменьшая патологические изменения почек.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раздолькина, Т. И. Особенности хронической почечной недостаточности у детей / Т. И. Раздолькина // Трудный пациент. – 2013. – Т. 11. – № 2-3. – С. 16-21.
2. Хощенко, Ю. Л. Особенности вегетативного статуса у пациентов с мочекаменной болезнью / Ю. Л. Хощенко, В. В. Фентисов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2013. – Т. 22. – № 11. – С. 47-49.
3. К вопросу о клинических особенностях течения мочекаменной болезни у больных пожилого и старческого возраста / С. А. Бутылев, А. Н. Селиванов, С. Г. Горелик, Э. В. Мудраковская // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1236.
4. Скворцов, В. В. Проблемы хронической мочевой инфекции / В. В. Скворцов, А. В. Тумаренко, Е. М. Скворцова // Медицинский алфавит. – 2009. – Т. 1. – № 3. – С. 40-44.
5. Ливанов, Г. А. Острая почечная недостаточность при критических состояниях / Г. А. Ливанов, М. А. Михальчук, М. Л. Калмансон; под ред. С. Ф. Багненко. – СПб.: Издательский дом СПбМАГЮ, 2005. – 204 с.
6. Сивак, К. В. Коррекция нарушений кислотно-основного состояния у крыс при остром отравлении этиленгликолем / К. В. Сивак, М. М. Любишин, Е. Ю. Калинина // Медицинский академический журнал. – 2019. – Т. 19. – № 4. – С. 75-86.
7. Сивак, К. В. Механизмы нефропатологии токсического генеза / К. В. Сивак // Патогенез. – 2019. – Т. 17. – № 2. – С. 16-29.
8. A toxicological review of the ethylene glycol series: Commonalities and differences in toxicity and modes of action. / J. Fowles, M. Banton, J. Klapacz, H. Shen // Toxicol Lett. – 2017. – Vol. 278. – pp. 66-83.
9. D'Arcy, M. S. Cell death: a review of the major forms of apoptosis, necrosis and autophagy / M. S. D'Arcy // Cell Biol Int. – 2019. – Vol. 43(6). – pp. 582-592.
10. Макарова, М. Н. Биодоступность и метаболизм флавоноидов / М. Н. Макарова // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 2011. – Т. 74. – № 6. – С. 33-40.

11. Большая энциклопедия лекарственных растений. – М.: Издательский дом «АНС», 2006. – 960 с.
12. Лекарственные свойства сельскохозяйственных растений / Под ред. к.ф.н. М.И. Борисова. – Мн.: Ураджай, 1974. – 336 с
13. Лечебные свойства круп / Киселева Т. Л., Карпеев А. А., Смирнова Ю. А. [и др.] // Традиционная медицина. – 2009. – № 4 (19). – С. 24-30.
14. Сернов, Л. Н. Элементы экспериментальной фармакологии / Л. Н. Сернов, В. В. Гацура. – М.: Наука, 2000. – 352 с.
15. Камышников, В. С. Методы клинических лабораторных исследований / В. С. Камышников. – МЕДпресс-Информ, 2013. – 736 с.
16. Василенко, Ю. К. Клинико-биохимические основы патологии и биохимической лабораторной диагностики / Ю. К. Василенко. – Пятигорск: Ротапринт Пятигорская ГФА, 2005. – 112 с.
17. Влияние препарата «Ванкомицин» на некоторые физико-химические свойства образцов мочи экспериментальных крыс / Сергеева Е. О., Терехов А. Ю., Сидорская С. Ю. [и др.] // Научный альманах. – 2021. – 1-2. – С. 75-78.

#### REFERENCES

1. Razdol'kina T.I. Features of chronic renal failure in children. *Difficult patient*, 2013, vol. 11, no. 2-3, pp. 16-21. (in Russ.)
2. Khoshchenko Yu.L., Fentisov V.V. Particularities of the vegetative status in patients with urinary stone disease. *Challenges in modern medicine*, 2013, vol. 22, no. 11, pp. 47-49. (in Russ.)
3. Butylev S.A., Selivanov A.N., Gorelik S.G., Mudrakovskaya E.V. To the question of clinical features of the course of the urolithic illness in elderly and older persons. *Modern problems of science and education*, 2014, no. 6, p. 1236. (in Russ.)
4. Skvortsov V.V., Tumarenko A.V., Skvortsova E.M. Problems of chronic urinary infection. *Medical alphabet*, 2009, vol. 1, no. 3, pp. 40-44. (in Russ.)

5. Livanov G.A. Mikhal'chuk M.A., Kalmanson M.L. Acute renal failure in critical conditions. St. Petersburg: Publishing House of the SPbMAGYu, 2005. 204 p. (in Russ.)
6. Sivak K.V., Lyubishin M.M., Kalinina E.Yu. Correction of acid base disorders in rats with acute ethylene glycol poisoning. *Medical academic journal*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 75-86. (in Russ.)
7. Sivak K.V. Mechanisms of toxic nephropathology. *Pathogenesis*, 2019, vol. 17, no. 2, pp. 16-29. (in Russ.)
8. Fowles J., Banton M., Klapacz J., Shen H. A toxicological review of the ethylene glycol series: Commonalities and differences in toxicity and modes of action. *Toxicol Lett*, 2017, vol. 278, pp. 66-83.
9. D'Arcy M.S. Cell death: a review of the major forms of apoptosis, necrosis and autophagy. *Cell Biol Int*, 2019, vol. 43(6), pp. 582-592.
10. Makarova M.N. Bioavailability and metabolism of flavonoids. *Problems of nutrition*, 2011, vol. 74, no. 6, pp. 33-40. (in Russ.)
11. Big encyclopedia of medicinal plants. Moscow: Publishing house "ANS", 2006. 960 p. (in Russ.)
12. Medicinal properties of agricultural plants. Ed. by M.I. Borisov. Minsk: Uradzhaj, 1974. 336 p. (in Russ.)
13. Kiseleva T.L., Karpeev A.A., Smirnova Yu.A., Safonov V.P., Tsvetaeva E.V., Kogan L.I., Blinkov I.L., Dronova M.A. Medicinal properties of cereals. *Traditional medicine*, 2009, no. 4 (19), pp. 24-30.
14. Sernov L.N., Gatsura V.V. Elements of experimental pharmacology. Moscow: Nauka, 2000. 352 p. (in Russ.)
15. Kamyshnikov V.S. Methods of clinical laboratory research. MEDpress-Inform, 2013. 736 p. (in Russ.)
16. Vasilenko Yu.K. Clinical and biochemical foundations of pathology and biochemical laboratory diagnosis. Pyatigorsk: Rotaprint Pyatigorskaya GFA, 2005. 112 p.
17. Sergeeva E.O., Terekhov A.Yu., Sidorskaya S.Yu., Skulte I.V., Vasilenko E.A., Sergeeva E.B. Effect of the drug "Vancomycin" on some physical and chemical properties of urine samples of experimental rats. *Science almanac*, 2021, vol. 1-2, pp. 75-78. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Наталья Аркадьевна Ломтева** – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры физиологии, морфологии, генетики и биомедицины, и.о. заведующего кафедрой физиологии, морфологии, генетики и биомедицины, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева», Астрахань, e-mail: molecula01@yandex.ru.

**Елена Игоревна Кондратенко** – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физиологии, морфологии, генетики и биомедицины, декан биологического факультета ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева», Астрахань, e-mail: condr70@mail.ru.

**Людмила Александровна Яковенкова** – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии, морфологии, генетики и биомедицины ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева», Астрахань, e-mail: lykovenkova79@mail.ru.

**Дмитрий Владимирович Воробьев** – доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы продуктов животноводства и растениеводства ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева», Астрахань, e-mail: veterinaria-2011@mail.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Natal'ya Arkad'evna Lomteva** – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Physiology, Morphology, Genetics and Biomedicine, Acting as the Head of the Department of Physiology, Morphology, Genetics and Biomedicine, Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, e-mail: molecula01@yandex.ru.

**Elena Igorevna Kondratenko** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Physiology, Morphology, Genetics and Biomedicine, Dean of the Faculty of Biology, Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, e-mail: condr70@mail.ru.

**Lyudmila Aleksandrovna Yakovenkova** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology, Morphology, Genetics and Biomedicine, Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, e-mail: lykovenkova79@mail.ru.

**Dmitrij Vladimirovich Vorob'yov** – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise of Livestock and Crop Products, Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, e-mail: veterinaria-2011@mail.ru.

**Для цитирования:** Физиологические эффекты водного извлечения пшена (*panicum miliaceum*) у крыс в норме и при моделировании почечной патологии этиленгликолем / Н. А. Ломтева, Е. И. Кондратенко, Л. А. Яковенкова, Д. В. Воробьев // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_13

**For citation:** Lomteva N.A., Kondratenko E.I., Yakovenkova L.A., Vorob'yov D.V. Physiological effects of millet (*panicum miliaceum*) aqueous extract in normal rats and in modeling kidney pathology with ethylene glycol. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_13

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_14  
УДК 612.1

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_14  
UDC 612.1

## **АДАПТИВНО-ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ КРОВИ ПРИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕРЕМЕННОСТИ С УЧЕТОМ ПОЛОВОГО ДИМОРФИЗМА ПЛОДА**

**А.Е. Мальцева, Л.Е. Обухова, М.Н. Носова, Н.И. Барсукова**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, г. Барнаул, Россия

**Аннотация.** Гематологическая система претерпевает ряд адаптивных изменений в процессе подготовки к кроветворению плода и его благополучию, а также служит защитой от ожидаемой кровопотери при родах. Адаптивно-приспособительные изменения в системе крови матери, как правило, начинаются уже на 6-й неделе беременности, проходят к 6-й неделе после родов и детерминированы полом плода. Цель работы: обобщить имеющиеся литературные данные об адаптивно-приспособительных изменениях в системе крови при физиологической беременности с учетом полового диморфизма плода с результатами собственного исследования, полученного на региональном уровне. В статье приведены данные, полученные путем статистической обработки 3017 медицинских карт рожениц, включающие основные показатели системы крови и их динамику по триместрам беременности. В результате обобщения собственных данных с имеющимися литературными источниками становится очевидным, что пол плода влияет практически на все показатели системы крови матери. Так, установлено, что при беременности мальчиком наблюдается повышение показателя концентрации гемоглобина и эритроцитов, а для девочек отмечены относительно более высокие значения лейкоцитов и базофилов. В системе тромбоцитарного звена гемостаза также наблюдаются адаптивно-приспособительные изменения при беременности мужским плодом.

**Ключевые слова:** физиологическая беременность, гомеостаз, гемостаз, система крови, адаптация, половой диморфизм.

## **ADAPTIVE CHANGES IN THE BLOOD SYSTEM DURING PHYSIOLOGICAL PREGNANCY, TAKING INTO ACCOUNT FETAL SEXUAL DIMORPHISM**

**A.E. Mal'tseva, L.E. Obukhova, M.N. Nosova, N.I. Barsukova**

Altai State Medical University, Barnaul, Russia

**Annotation.** The hematological system undergoes a number of adaptive changes in preparation for the hematopoiesis of the fetus and its well-being, and also serves as protection from the expected blood loss during childbirth. As a rule, adaptive changes in the mother's blood system begin already at the 6<sup>th</sup> week of pregnancy, pass by the 6<sup>th</sup> week after delivery and are determined by the fetus's sex. The aim of the work is to summarize the available literature data on adaptive changes in the blood system during physiological pregnancy, taking into account fetal sexual dimorphism, with the results of our own research obtained at the regional level. The article presents data obtained by statistical processing of 3017 medical records of women in labor, including the main indicators of the blood system and their dynamics by trimester of pregnancy. As a result of generalizing our own data with the available literature sources, it becomes obvious that the sex of the fetus affects almost all indicators of the mother's blood system. Thus, it was found that during pregnancy with a boy, there is an increase in the concentration of hemoglobin and erythrocytes, and for girls, relatively higher values of leukocytes and basophils were noted. The adaptive changes are also observed in the platelet hemostasis system during pregnancy with a male fetus.

**Keywords:** physiological pregnancy, homeostasis, hemostasis, blood system, adaptation, sexual dimorphism.

**Введение.** Большинство исследований, затрагивающих тем или иным образом особенности формирования функциональной системы «мать-плацента-плод» при физиологической беременности, направлены на улучшение показателей здоровья матери и плода и снижение акушерских рисков во время родовой деятельности. Половой диморфизм плода как генетически детерминированный фактор в достаточной степени обуславливает адаптивно-приспособительные изменения всех звеньев этой системы и посредством формирования функционального следа оказывает влияние на дальнейшее течение жизни женщины [1].

При этом физиологические изменения матери включают изменения тонуса сосудов, сердечного выброса и объема плазмы, обеспечивающие лучшую плацентарную перфузию [2], в то время как система крови, являясь одной из самых динамичных систем в организме, также проявляет вариабельность своих показателей.

Для пролонгирования беременности кровь имеет не последнее значение, так как посредством ее транспортной функции обеспечивается передача химических сигналов (гормонов) от матери плоду и наоборот [3]. В связи с этим, интересующим нас направлением в работе стал учет пола плода при беременности, так как гормональный фон при различных вариантах пола плода будет меняться, а значит возможны и изменения в самой системе крови, обусловленные фактором полового диморфизма.

Цель работы: обобщить имеющиеся литературные данные об адаптивно-приспособительных изменениях в системе крови при физиологической беременности с учетом полового диморфизма плода с результатами собственного исследования, полученного на региональном уровне.

**Методы и организация исследования.** В ретроспективное исследование были включены данные 3017 медицинских карт рожениц города Барнаула (архивные данные), беременность которых завершилась нормальными родами (не кесарево

сечение) и без осложнений. Нами зарегистрировались основные антропометрические показатели матери на момент постановки на учет по беременности, антропометрические параметры и пол новорожденного, а также основные показатели системы крови по данным планового скрининга и кровопотери в родах. Испытуемые были разделены на две группы по объему кровопотери в родах. Первую группу составили женщины, кровопотеря которых считалась нормальной и не превышала 500 мл ( $n = 2561$  (1080 (ж) + 1481 (м)), во вторую группу вошли женщины с патологической кровопотерей (500-1000 мл),  $n = 457$  (197 (ж) + 260 (м)). В обеих группах согласно цели исследования оценивались адаптивно-приспособительные особенности системы крови по данным медицинских карт с учетом пола новорожденного. Полученные данные подвергали статистическому анализу при помощи программного обеспечения OpenOffice Calc и Microsoft Excel. Проверка гипотезы о принадлежности анализируемых выборок нормальному закону распределения определяли по критерию Колмогорова-Смирнова. Статистическую значимость рассчитывали исходя из доверительной вероятности 95% и точности расчета статистических данных 0,05; сравнение «средних» по Стьюденту представлены в виде среднего и его ошибки  $M \pm m$ . Значимыми считались различия средних при  $p \leq 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Гематологическая система сформирована форменными элементами крови: эритроцитами, лейкоцитами и тромбоцитами, обеспечивающими все адаптивно-приспособительные изменения, возникающие в этой системе. Так, основным направлением деятельности элементов системы является поддержание уровня трансфузионного обмена в связи с возросшими потребностями организма и предотвращение патологической кровопотери в родах путем активации системных компонентов гемостаза [4].

По данным литературных источников, причиной патологических родовых кровотечений чаще всего являются нарушения в системе гемостаза [5], а также нарушения сократительной способности миометрия.

Так, из таблицы 1 следует, что патологическая кровопотеря чаще наблюдается у женщин при беременности мужским полом, где также отмечается более частая встречаемость снижения количества тромбоцитов во время беременности в I и II триместрах.

Таблица 1

Показатели системы крови в различных группах при физиологической беременности

Исследуемый показатель	Нормальная кровопотеря, до 500 мл		Патологическая кровопотеря, 500-1000 мл	
	мальчик	девочка	мальчик	девочка
Количество рожениц с учетом пола новорожденного	мальчик	1481	мальчик	260 (14,9%)
	девочка	1080	девочка	197 (15,4%)
Количество тромбоцитов на 12 неделе, ед/мкл (I триместр)	мальчик	6,1%	мальчик	4,3%
		93,9%		95,7%
		-		-
	девочка	6,1%	девочка	4,0%
		93,9%		96,0%
		-		-
Количество тромбоцитов на 28 неделе, ед/мкл (II триместр)	мальчик	5,4%	мальчик	6,6%
		94,3%		93,4%
		0,3%		-
	девочка	4,6%	девочка	5,5%
		95,4%		94,5%
		-		-
Показатель гемоглобина на 12 неделе, г/л	мальчик	42,0%	мальчик	39,5%
		52,7%		56,6%
		5,3%		3,9%
	девочка	42,3%	девочка	36,4%
		53,1%		58,5%
		4,6%		5,1%
Показатель гемоглобина на 28 неделе, г/л	мальчик	56,5%	мальчик	63,6%
		37,5%		32,6%
		6,0%		3,8%
	девочка	58,2%	девочка	63,6%
		36,2%		32,9%
		5,6%		3,5%

Примечание: ниже нормы, норма, выше нормы

Системные компоненты гемостаза и возникающие в их звеньях адаптивные процессы обеспечивают нормальное функционирование всего маточно-плацентарного комплекса (формирование маточно-плацентарного кровотока) [3, 6], участвуют в nidации плодного яйца на

ранних сроках беременности [7]. Негемостатические функции включают стимуляцию инвазии трофобласта путем активации хемокинового рецептора CCR1 в ответ на хранящиеся в гранулах лиганды CCR1, такие как CCL5 (также называемый RANTES) и MIP-1 $\alpha$  (макрофагальный

воспалительный белок-1 $\alpha$  или CCL3). Кроме того, инвазия трофобласта усиливается другими факторами тромбоцитарного происхождения, такими как эпидермальный фактор роста (EGF), фактор роста эндотелия сосудов (VEGF) и фактор роста тромбоцитов (PDGF) [8].

Уже на ранних сроках беременности происходит повышение активности факторов свертывания (I, II, VII, VIII, IX и XII), снижение уровня протеина S и ингибирование фибринолиза, незначительное повышение адгезивно-агрегационных свойств тромбоцитов [4, 9]. По мере развития беременности также происходит значительное снижение активности активированного протеина C, важного антикоагулянта. Хотя эти физиологические изменения могут быть важны для минимизации интранатальной кровопотери, они влекут за собой повышенный риск тромбозов во время беременности и в послеродовом периоде, а также развитие синдрома диссеминированного внутрисосудистого свертывания (ДВС-синдрома) [10].

Тромбоцитопения является наиболее частым нарушением в системе гемостаза, наблюдаемым во время беременности. Снижение среднего количества

тромбоцитов происходит постепенно от первого ко второму триместрам. Отчасти это происходит из-за увеличения ОЦК (объема циркулирующей крови) и секвестрации (нахождения тромбоцитов в маточно-плацентарном кровотоке). В состав грануломера тромбоцита входят тромбопластические и антигепариновые факторы, фибриназа, фибринолитические агенты, сократительные белки, необходимые для адгезии, агрегации и реакции высвобождения тромбоцитов [5-6], что делает их роль в сохранении беременности незаменимой. Wallaschofski H. и соавт. объясняют снижение числа тромбоцитов при физиологической беременности под влиянием прогестерона и пролактина, способных вызывать их агрегацию [5], а также наблюдаемым снижением продолжительности жизненного цикла кровяных пластинок.

К концу беременности тромбогенный потенциал крови увеличивается в связи с необходимостью контроля кровотечения во время родов [11].

Адаптивно-приспособительные изменения в системе крови при физиологической беременности с учетом полового диморфизма плода подробно рассматриваются в работах Боташевой Т.Л. (табл. 2) [1].

Таблица 2

Показатели свертывающей системы крови при физиологической беременности в зависимости от пола плода

Беременность	Мальчик	Девочка
Тромбоциты, $\times 10^9/\text{л}$ I триместр	240,4 $\pm$ 5,2	248 $\pm$ 5,7
Тромбоциты, $\times 10^9/\text{л}$ II триместр	231,3 $\pm$ 4,47	231,3 $\pm$ 5,0
Тромбоциты, $\times 10^9/\text{л}$ III триместр	235,23 $\pm$ 4,0*	225,57 $\pm$ 4,0**

Примечание: \* – достоверное отличие средних в разных по полу группах в одном триместре беременности; \*\* – достоверное отличие средних в одинаковых по полу группах в III триместре относительно I триместра беременности

Из таблицы 2 следует, что достоверные отличия показателей тромбоцитов в зависимости от пола плода отмечались только в III триместре у беременных с плодами мужского пола: их значения были

достоверно выше по сравнению с женщинами, вынашивающими плоды женского пола. В нашем исследовании данные по III триместру отсутствуют.

В случае беременности мужским полом ввиду большего риска послеродового кровотечения система гемостаза активирует адаптационные механизмы путем повышения числа тромбоцитов в конце беременности [6]. Данный феномен объясняется меньшей адаптивностью плодов мужского пола во внутриутробном периоде онтогенеза [10] в рамках функциональной системы «мать-плацента-плод» и большей вероятностью развития плацентарной дисфункции у их матерей [4, 12].

Адаптивно-приспособительные изменения в системе красной крови оцениваются в работе Боташевой Т.Л. и Радзинского В.Е. [13].

Так, ими выявлено, что в III триместре наблюдается преобладание значений Hb у беременных с мальчиками (табл. 3). В I и II триместрах значимых различий выявлено не было, что согласуется с данными нашего исследования (табл. 1) [1].

Таблица 3

Особенности системы красной крови у беременных в зависимости от пола плода,  $M \pm m$

Показатели крови	I триместр		II триместр		III триместр	
	Мальчик	Девочка	Мальчик	Девочка	Мальчик	Девочка
Абсолютное количество эритроцитов, $10^{12}/л$	4,13±0,02	4,17±0,02	3,82±0,02	3,77±0,02	3,86±0,02	3,91±0,02
Гемоглобин, г/л	123,81±0,82	125,31±0,86	119,31±0,75	119,45±0,86	117,47±0,92*	121,53±0,91*

Примечание: \* – статистически значимые отличия показателей крови у беременных с различным полом плода в пределах одного триместра

Концентрация тестостерона возрастает при беременности мужским плодом, что приводит к повышенному синтезу гемоглобина и эритроцитов. Биологическая значимость этих процессов у мальчиков заключается в их повышенной готовности и приспособляемости к будущим физическим нагрузкам [6].

Для системы белой крови в исследовании Боташевой Т.Л. и Радзинского В.Е. в третьем триместре также были отмечены относительно более высокие значения лейкоцитов и базофилов при беременности женским полом. В нашем исследовании по показателям лейкоцитов значимых отличий выявлено не было.

По данным иностранных источников, лейкоцитоз, возникающий во время беременности, обусловлен физиологическим стрессом, вызванным состоянием беременности. Нейтрофилы являются основным типом лейкоцитов при дифференциальном подсчете. Вероятно, это связано с нарушением нейтрофильного апоптоза во время

беременности. В цитоплазме нейтрофилов обнаруживаются токсичные грануляции. Хемотаксис нейтрофилов и фагоцитарная активность подавлены, особенно из-за ингибирующих факторов, присутствующих в сыворотке крови беременной женщины. Также имеются данные об усилении окислительного метаболизма в нейтрофилах во время беременности. Незрелые формы, такие как миелоциты и метамиелоциты, могут быть обнаружены в пленке периферической крови здоровых женщин во время беременности и не имеют никакого патологического значения. Они просто указывают на адекватную реакцию костного мозга на повышенную потребность в эритропоэзе, возникающую во время беременности. Количество лимфоцитов уменьшается во время беременности в течение первого и второго триместров и увеличивается в течение третьего триместра. Во время беременности наблюдается абсолютный моноцитоз, особенно в первом триместре, но по мере продвижения беременности он



уменьшается. Моноциты помогают предотвратить отторжение аллотрансплантата плода путем инфильтрации децидуальной ткани (7–20-я неделя беременности). Соотношение моноцитов к лимфоцитам заметно увеличивается во время беременности, однако количество эозинофилов и базофилов существенно не меняется [14].

**Заключение.** Гематологическая система претерпевает ряд адаптивных изменений в процессе подготовки к кроветворению плода и его благополучию, а

также служит защитой от ожидаемой кровопотери при родах. Наибольшая динамика при этом наблюдается в системе гемостаза, а именно в ее тромбоцитарном звене. Роль тромбоцитов в данном случае сводится не только к свертыванию крови, но и формированию нормального фето-плацентарного комплекса, в связи с чем, количество тромбоцитов снижается.

Также изменения фиксируются в системе красной крови ввиду больших потребностей мужского плода в кислороде.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние пола плода на функциональное состояние крови женщин при физиологической беременности / Капустин Е. А., Боташева Т. Л., Линде В. А. [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 297.
2. Fetal sex and maternal pregnancy outcomes: a systematic review and meta-analysis / Broere-Brown Z. A., Adank, M. C., Benschop, L. [et al] // *Biol Sex Differ.* – May 11th, 2020. – Art. № 26. DOI: 10.1186/s13293-020-00299-3.
3. Астахова, Т. Ю. Состояние непрерывно протекающего свертывания крови и фибринолиза при физиологической беременности в условиях Западной Сибири / Т. Ю. Астахова, В. Г. Соловьев, О. А. Рокина // Журнал медико-биологических исследований. – 2022. – Т. 10. – № 2. – С. 151-160. DOI 10.37482/2687-1491-Z101.
4. Влияние полового диморфизма на показатели свертывающей системы крови женщин в динамике физиологической беременности / Капустин Е. А., Боташева Т. Л., Каушанская Л. В. [и др.] // Таврический медико-биологический вестник. – 2013. – Т. 16. – № 2-1. – С. 77-79.
5. Бапаева, Г. Б. Состояние коагуляционного звена гемостаза у женщин группы риска при послеродовых кровотечениях в зависимости от паритета родов / Г. Б. Бапаева, С. Н. Кулбаева // Наука и здравоохранение. – 2015. – № 1. – С. 60-69.
6. Системные аспекты адаптивно-приспособительных изменений в крови беременных в зависимости от пола плода / Боташева Т. Л., Радзинский В. Е., Хлопонина А. В. [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 1(236). – С. 25-31.
7. Особенности системы сосудистоэндотелиальных факторов роста при физиологической беременности в зависимости от пола плода / Боташева Т. Л., Линде В. А., Ермолова Н. В. [и др.] // Медицинский вестник Юга России. – 2013. – № 4. – С. 38-42.
8. Forstner, D. Changes in Maternal Platelet Physiology during Gestation and Their Interaction with Trophoblasts (*International Journal of Molecular Sciences*) / D. Forstner, J. Guettler, M. Gauster // *Int. J. Mol. Sci.* – 2021. – № 22(19). – Art. № 10732. DOI: 10.3390/ijms221910732.
9. Половой диморфизм плода и его влияние на функциональные особенности системы крови женщин при физиологической беременности / Боташева Т. Л., Ерофеев Н. П., Линде В. А. [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1055.
10. Особенности системы гемостаза беременных женщин в зависимости от пола плода / Боташева Т. Л., Линде В. А., Капустин Е. А. [и др.] // *Акушерство и гинекология.* – 2014. – № 11. – С. 34-40.
11. Роль фибринолитической активности крови в предупреждении тромбозов при физиологической беременности / Момот А. П., Кудинова И. Ю., Елыкомов В. А. [и др.] // *Доктор.Ру.* – 2016. – № 5(122). – С. 21-28. – DOI: 10.18411/d-2016-059.
12. Показатели свертывающей системы крови женщин при физиологической беременности в зависимости от пола плода / Боташева Т. Л., Линде В. А., Капустин Е. А. [и др.] // *Медицинский вестник Юга России.* – 2013. – № 4. – С. 42-45.
13. Взаимосвязь гемодинамических процессов в маточно-плацентарном комплексе и кровотока в

венозной системе нижних конечностей при беременности / Боташева Т. Л., Рудова О. И., Васильева В. В. [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 4(251). – С. 56-62.

14. Physiological changes in hematological parameters during pregnancy / Chandra S., Tripathi A. K., Mishra S. [et al] // Indian J Hematol Blood Transfus. – 2012. – № 28(3). – pp. 144-146. DOI: 10.1007/s12288-012-0175-6.

## REFERENCES

1. Kapustin E.A., Botasheva T.L., Linde V.A., Avrutskaya V.V., Kaushanskaya L.V. Effect of fetal sex on the functional state of the blood of women with normal pregnancy. *Modern problems of science and education*, 2014, no. 2, p. 297. (in Russ.)
2. Broere-Brown Z.A., Adank M.C., Benschop L. Tielemans M., Muka T., Gonçalves R., Bramer W.M., Schoufour J.D., Voortman T., Steegers E.A.P., Franco O.H., Schalekamp-Timmermans S. Fetal sex and maternal pregnancy outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Biol Sex Differ*, May 11<sup>th</sup>, 2020, art no.26. DOI: 10.1186/s13293-020-00299-3.
3. Astakhova T.Yu., Solov'yov V.G., Rokina O.A. Continuous coagulation and fibrinolysis during normal pregnancy in Western Siberia. *Journal of Medical and Biological Research*, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 151-160. DOI: 10.37482/2687-1491-Z101. (in Russ.)
4. Kapustin E.A., Botasheva T.L., Kaushanskaya L.V., Barinova V.V., Aleksandrova E.M. Influence of sexual dimorphism on women's blood coagulative system in physiological pregnancy. *Tavrisheskiy Mediko-Biologicheskii Vestnik*, 2013, vol. 16, no. 2-1, pp. 77-79. (in Russ.)
5. Bapaeva G.B., Kulbaeva S.N. Condition of coagulation hemostasis among women, who are in the risk group by postpartum hemorrhage depending on childbirths parity. *Science and Healthcare*, 2015, no. 1, pp. 60-69. (in Russ.)
6. Botasheva T.L., Radzinskij V.E., Khloponina A.V., Vasil'eva V.V., Zavodnov O.P., Zheleznyakova E.V., Kapustin E.A. Systematic aspects of adaptive changes in pregnant women blood depending on fetal sex. *The Bulletin of the Adyghe State University, the series "Natural-Mathematical and Technical Sciences"*, 2019, no. 1(236), pp. 25-31. (in Russ.)
7. Botasheva T.L., Linde V.A., Ermolova N.V., Sargsyan O.D., Rogova N.A. Peculiarities of vasculo-endothelial growth factors' system in physiological pregnancy in dependence on fetal sex. *Medical Herald of the South of Russia*, 2013, no. 4, pp. 38-42. (in Russ.)
8. Forstner D., Guettler J., Gauster M. Changes in Maternal Platelet Physiology during Gestation and Their Interaction with Trophoblasts (International Journal of Molecular Sciences). *Int. J. Mol. Sci*, 2021, no. 22(19), art no. 10732; DOI: 10.3390/ijms221910732.
9. Botasheva T.L., Erofeev N.P., Linde V.A., Kapustin E.A., Palieva N.V., Kaushanskaya L.V. Fetal gender impact at maternal blood system parameters at physiological course of pregnancy. *Modern problems of science and education*, 2014, no. 6, p. 1055. (in Russ.)
10. Botasheva T.L., Linde V.A., Kapustin E.A., Kaushanskaya L.V., Gimbut V.S. The hemostatic system in pregnant women in relation to fetal sex. *Obstetrics and gynecology*, 2014, no. 11, pp. 34-40. (in Russ.)
11. Momot A.P., Kudinova I.Yu., Elykomov V.A., Semenova N.A., Momot D.A., Belozerov D.E. Role of Blood Fibrinolytic Activity in Preventing Thrombosis in Normal Pregnancy. *Doctor.Ru*, 2016, no. 5(122), pp. 21-28. DOI: 10.18411/d-2016-059. (in Russ.)
12. Botasheva T.L., Linde V.A., Kapustin E.A., Barinova V.V., Kaushanskaya L.V. Women blood coagulative system indices in physiological pregnancy in dependence on fetus' sex. *Medical Herald of the South of Russia*, 2013, no. 4, pp. 42-45. (in Russ.)
13. Botasheva T.L., Rudova O.I., Vasil'eva V.V., Zheleznyakova E.V., Zavodnov O.P., Elzhorukaeva Zh.A., Babayan K.T. The relationship of hemodynamic processes in the uteroplacental complex and blood flow in the venous system of the lower extremities during pregnancy. *The Bulletin of the Adyghe State University, the series "Natural-Mathematical and Technical Sciences"*, 2019, no. 4(251), pp. 56-62. (in Russ.)
14. Chandra S., Tripathi A.K., Mishra S., Amzarul M., Vaish A.K. Physiological changes in hematological parameters during pregnancy. *Indian J Hematol Blood Transfus*, 2012, no. 28(3), pp.144-146. DOI: 10.1007/s12288-012-0175-6.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Анастасия Евгеньевна Мальцева** – старший преподаватель кафедры Биологии, гистологии, эмбриологии и цитологии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, Барнаул, e-mail: mungus10@mail.ru.

**Лариса Евстигнеевна Обухова** – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры Биологии, гистологии, эмбриологии и цитологии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, Барнаул, e-mail: lirissee@yandex.ru.

**Марина Николаевна Носова** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры Нормальной физиологии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, Барнаул, e-mail: mn.nosova@gmail.com.

**Наталья Ивановна Барсукова** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры Дерматовенерологии, косметологии и иммунологии, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, Барнаул, e-mail: nata-barsukova@yandex.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Anastasia Evgen'evna Mal'tseva** – Senior Lecturer of the Department of Biology, Histology, Embryology and Cytology, Altai State Medical University, Barnaul, e-mail: mungus10@mail.ru.

**Larisa Evstigneevna Obukhova** – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Biology, Histology, Embryology and Cytology, Altai State Medical University, Barnaul, e-mail: lirissee@yandex.ru.

**Marina Nikolaevna Nosova** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology, Altai State Medical University, Barnaul, e-mail: mn.nosova@gmail.com.

**Natalia Ivanovna Barsukova** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Dermatovenerology, Cosmetology and Immunology, Altai State Medical University, Barnaul, e-mail: nata-barsukova@yandex.ru.

**Для цитирования:** Адаптивно-приспособительные изменения в системе крови при физиологической беременности с учетом полового диморфизма плода / А. Е. Мальцева, Л. Е. Обухова, М. Н. Носова, Н. И. Барсукова // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_14

**For citation:** Mal'tseva A.E., Obukhova L.E., Nosova M.N., Barsukova N.I. Adaptive changes in the blood system during physiological pregnancy, taking into account fetal sexual dimorphism. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_14

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_15  
УДК 612.64

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_15  
UDC 612.64

## **ХРОНОФИЗИОЛОГИЯ СУТОЧНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ РОДОВ С УЧЕТОМ ПОЛОВОГО ДИМОРФИЗМА ПЛОДА**

**А.Е. Мальцева, М.В. Горячева, Ю.А. Бондарчук, О.М. Улитина**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, г. Барнаул, Россия

**Аннотация.** Хронофизиологическая организация функциональной системы «мать – плацента – плод» лежит в основе реализации гестационных задач, минимизируя риски возникновения различных отклонений. Однако, помимо основных звеньев системы – матери и плаценты, целесообразно учитывать и пол плода, который вносит существенные адаптационные сдвиги в физиологию материнского организма как во время беременности, так и в последующие периоды ее онтогенеза. Цель исследования – объединить имеющиеся литературные данные и результаты собственного исследования о хронофизиологических механизмах функционирования системы «мать – плацента – плод» с учетом полового диморфизма плода и определить возможные влияния пола плода на суточную периодичность родов. Проанализирована 2041 история родов. В работе использованы методы анализа информации, описательной статистики, статистическую значимость рассчитывали, исходя из доверительной вероятности 95% и точности расчета статистических данных 0,05. Большая часть детей рождается в светлое время суток и не имеет значимых различий во времени окончания родов в зависимости от пола новорожденных. Данный феномен связан с медико-социальными особенностями процесса родоразрешения, снижением концентрации мелатонина, определяющего циркадные биоритмы и играющего одну из ключевых ролей в запуске родов. Для темного времени суток в большинстве случаев закономерностей выявлено не было, но в летние месяцы года девочки рождались значимо чаще в 24.00-6.00, что можно объяснить более низкими концентрациями мелатонина ввиду более длинного светового дня. Суточные ритмы матери (в т.ч. и плацентарного комплекса) и их роль в зачатии и сроках родов – это область, необходимая для дальнейшего изучения и обладающая огромным потенциалом для внедрения в клиническую практику при нормальном течении беременности.

**Ключевые слова:** хронофизиология, суточные биоритмы, половой диморфизм, беременность, роды, мелатониновый обмен.

## **CHRONOPHYSIOLOGY OF THE CHILDBIRTH'S DAILY PERIODICITY, TAKING INTO ACCOUNT FETAL SEXUAL DIMORPHISM**

**A.E. Mal'tseva, M.V. Goryacheva, Yu.A. Bondarchuk, O.M. Ulitina**

Altai State Medical University, Barnaul, Russia

**Annotation.** Chronophysiological arrangement of the “mother-placenta-fetus” system is fundamental in solving gestational tasks minimizing the risk of various disorders. However, aside from the main parts of the system (mother and placenta), it is important to consider sex of the fetus, which causes significant adaptation shifts in the physiology of the mother's body both during pregnancy and the following periods of its ontogeny. The aim of the study is to combine the available data and the results of our own research on the chronophysiological mechanisms of the “mother-placenta-fetus” system, taking into account fetal sexual dimorphism, and to determine the possible effects of fetal sex on the daily periodicity of childbirth. We have used methods of information analysis, descriptive statistics, statistical significance was calculated considering a confidence probability of 95% and computational accuracy of 0.05. It was revealed that most of the children are born in the daytime and have no significant differences in the time of the labor's end, depending on the sex of the newborns. Apparently, this phenomenon is associated with the medical and social features of the delivery, as well as a decrease in the melatonin concentration,

which determines the circadian biorhythms of many body systems and plays one of the key roles in starting the labor process. For nighttime, there were no patterns in most cases. However, in the summer season of the year girls were born significantly more often at 24.00-6.00, which can be explained by lower concentrations of melatonin due to longer daylight hours. Circadian rhythms in the mother (including the placenta complex) and their role in conception and birth's terms is a field requiring further study, which has great potential for implementation in clinical practice during normal pregnancy.

**Keywords:** chronophysiology, circadian biorhythms, sexual dimorphism, pregnancy, childbirth, melatonin metabolism.

**Введение.** Исследования, объединяющие результаты по влиянию пола плода на материнский организм и исходы беременности, достаточно популярны среди ученых всего мира [1-2]. Основой для всей репродуктивной физиологии служат положения концепции Н.Л. Гармашевой и Н.И. Константиновой (1971-1978) о формировании функциональной системы «мать – плацента – плод» (ФСМПП), которая, в свою очередь, не учитывает пол плода, имеющий важное значение в определении исходов беременности [3]. Без хронофизиологической подстройки функциональных процессов в организме плода к биоритмам аналогичных процессов в материнском организме вынашивание беременности было бы невозможно.

На сегодняшний день биоритмологические механизмы влияния половой дифференциации плода на функциональные процессы в ФСМПП являются не до конца изученными, что и послужило основанием для выбора цели нашего исследования.

Цель работы: объединить имеющиеся литературные данные и результаты собственного исследования о хронофизиологических механизмах функционирования системы «мать – плацента – плод» (ФСМПП) с учетом полового диморфизма плода и определить возможные влияния пола плода на суточную периодичность родов. Для реализации цели исследования необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить особенности хронофизиологии функциональной системы «мать – плацента – плод» в т.ч. во время родовой деятельности;

2. Определить закономерности суточной периодичности родов в зависимости от пола плода, в т.ч. и в разные сезоны года.

**Методы и организация исследования.** Для изучения хронофизиологических механизмов функционирования системы «мать – плацента – плод» и циркадных биоритмов времени родов в зависимости от половой принадлежности плода были проанализированы 2041 история родов.

Исследования проводились на базе ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. Протокол исследования одобрен, получено заключение локального этического комитета (ЛЭК) при ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» (протокол № 4, от 27.11.2019 г.). Все женщины, показатели которых учитывались в исследовании, проживали во время беременности в городе Барнауле, Алтайский край, имели физиологическое течение гестации и родов. Все участники исследования были родоразрешены в срок через естественные родовые пути. Случаи кесарева сечения и многоплодная беременность были исключены из выборки.

Статистическая обработка данных предусматривала использование методов описательной статистики с применением программного обеспечения OpenOffice Calc и Microsoft Excel. Проверку гипотезы о принадлежности анализируемых выборок нормальному закону распределения проводили по критерию Колмогорова-Смирнова. Статистическую значимость рассчитывали, исходя из доверительной вероятности 95% и

точности расчета статистических данных 0,05. Сравнение «средних» по Стьюденту представлено в виде среднего и его ошибки  $M \pm m$ . Значимыми считались различия средних при  $p \leq 0,05$ . Суточная периодичность времени окончания родов проводилась при помощи временных рядов Фурье [4].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Исходя из имеющихся литературных источников, одним из значимых факторов, определяющих модель взаимоотношений всех единиц в ФСМПП, является половая принадлежность плода [4]. Посредством биохимических и гормональных сигналов, контролируемых нервной и гуморальной регуляторными системами и транспортируемых через фето-плацентарный барьер, происходит формирование различных функциональных систем в зависимости от пола вынашиваемого плода, а именно функциональной системы «мать – плацента – плод женского пола» (ФСМПЖП) и функциональной системы «мать – плацента – плод мужского пола» (ФСМПМП), с характерными для каждой из них вариантами поддержания гомеостатического равновесия и адаптационной динамики [4].

Становится очевидным, что беременность требует серьезной адаптационной нагрузки на все звенья материнской физиологии, многие из которых определены циркадными закономерностями с целью поддержания метаболических потребностей плода, в то время как материнские циркадные ритмы не только обеспечивают нормальное развитие плода в соответствии с его генетической программой, но и способствуют формированию его собственных биоритмов, необходимых для его дальнейшего развития в постнатальном онтогенезе. Нарушения хронофизиологических закономерностей во время беременности (например, работа во время ночной смены и пр.) может привести к осложнениям, включая повышенный риск выкидыша, преждевременных родов и низкой массы тела при рождении [5].

Связующим звеном между матерью и плодом выступает плацента, а именно оптимальное функционирование ее сосудов. Немаловажным в этой системе являются сосудисто-эндотелиальные факторы роста и интерлейкины, продукция которых отличается в зависимости от пола вынашиваемого плода и может привести к неблагоприятным последствиям [3].

В исследовании было выделено две группы: 799 новорожденных женского пола и 1242 мужского пола. Характеристики исследуемых показателей продемонстрированы в таблицах 1 и 2. За исключением размеров выборок, которые значительно отличались между мужской и женской группами, другие переменные были сопоставимы.

Как показано в таблице 1, анализ возрастного распределения беременных обследуемых выборок не имеет значимых различий, в обеих группах средний возраст женщин находится в пределах 25-28 лет. Средний возраст менархе в обеих выборках одинаковый, процент нерожавших женщин и женщин, имеющих аборт в анамнезе, также сопоставимы в группах с женским и мужским плодом. В обеих группах с одинаковой периодичностью встречается беременность крупным плодом (более 4000 г), средняя продолжительность длительности родов составляет 6,4 часа.

В отличие от ряда работ по схожей тематике [6-7], в процессе анализа суточной периодичности времени окончания родовой деятельности статистически значимой связи с полом плода выявлено не было, в то время как в исследовании Боташевой Т.Л. время окончания родов было значимо связано с фактором «половая принадлежность плода». Так, в суммарной выборке Боташевой Т.Л. мальчики рождались чаще, чем девочки ( $p=0,041$ ) на фоне уменьшения суточной освещенности (во временной период с 18 до 24 часов), а девочки рождались преимущественно при снижении освещенности (во временной период с 24 до 6 утра) ( $p=0,026$ ).

Таблица 1

Характеристики исследуемых показателей в группах плода разного пола

Показатели	Женский (n=695)	Мужской (n=1102)	
Возраст матери, лет	28	25	
Индекс массы тела матери, кг/м <sup>2</sup>	22,9±3,8	23,2±3,8	
Средний возраст менархе, лет	13	13	
Нерожавшие, число, %	305 (43,8%)	465 (42,1%)	
История предыдущих аборт, число, %	270 (38,8%)	403 (36,5%)	
Масса плода при рождении, г	3425,3±466,7	3467,4±457,9	
Масса плода при рождении, >4000 г	83 (11,9%)	135 (12,2%)	
Продолжительность родов, ч	6,45±1,9	6,4±1,8	
Время родов, в сутках	6.00-18.00	393 (56,5%)	630 (57,0%)
	18.00-24.00	164 (23,5%)	227 (20,9%)
	24.00-6.00	138 (19,8%)	245 (22,1%)

Примечание: \* – различия достоверны (p≤0,05)

Период биоритма в случае обоих вариантов полового диморфизма составлял 6 часов.

Более низкие значения мелатонина у матерей мальчиков обусловлены функционированием защитного механизма, сохраняющего мужские гонады, так как высокие уровни мелатонина способны оказывать агрессивное влияние на текущие яички, вплоть до возникновения мужского бесплодия на последующих этапах внеутробной жизни [7].

Ввиду возникших противоречивых результатов было принято решение посмотреть на этот параметр в динамике по месяцам года (табл. 2). Данная необходимость обусловлена наличием функциональной взаимосвязи между регуляторными структурами, отвечающими за инициацию продолжительности родов в материнском организме, вынашивающим плод, и хронорегуляторными структурами, в частности мелатонин [6], в то время как концентрация последнего в организме напрямую связана с фотопериодом [8], длительность которого в

разные сезоны года варьирует и носит региональный характер [9-10]. Известно также, что интенсивность и длина волны дневного света влияют на ночную выработку мелатонина [11].

Мелатонин представляет собой многогранную молекулу, способствующую удалению свободных радикалов и обладающую косвенной антиоксидантной активностью. Мелатонин, помимо эпифиза, вырабатывается в яичниках и в плаценте, где защищает стенку органа от клеточной дисфункции, возникающей в результате окислительного стресса. Плацента, в частности, часто является местом избыточного образования свободных радикалов из-за неоптимальной адгезии к стенке матки, что приводит либо к стойкой гипоксии, либо к прерывистой гипоксии и реоксигенации, процессам, вызывающим массовое образование свободных радикалов и органную дисфункцию [12]. Таким образом, наличие мелатонина – это защитный механизм, необходимый для нормального течения беременности и родов.

Таблица 2

Характеристика суточного времени родов в группах плода разного пола в разные месяцы года

Показатели		Женский (n=799)	Мужской (n=1242)
Время родов, в сутках Январь (n=116/121)	6.00-18.00	69 (59,4%)	71 (58,6%)
	18.00-24.00	31 (26,7%)	32 (26,4%)
	24.00-6.00	16 (13,9%)	18 (15,0%)
Время родов, в сутках Февраль (n=77/96)	6.00-18.00	45 (58,4%)	52 (54,1%)
	18.00-24.00	15 (19,4%)	23 (23,9%)
	24.00-6.00	17 (22,2%)	21 (22,0%)
Время родов, в сутках Март (n=63/103)	6.00-18.00	35 (55,5%)	56 (54,3%)
	18.00-24.00	12 (19,0%)	21 (20,5%)
	24.00-6.00	15 (25,5%)	26 (25,2%)
Время родов, в сутках Апрель (n=63/99)	6.00-18.00	39 (61,9%)	66 (66,6%)
	18.00-24.00	13 (20,6%)	15 (15,3%)
	24.00-6.00	11 (17,5%)	18 (18,1%)
Время родов, в сутках Май (n=68/109)	6.00-18.00	41 (60,2%)	71 (65,1%)
	18.00-24.00	11 (16,3%)	13 (12,0%)
	24.00-6.00	16 (23,5%)	25 (22,9%)
Время родов, в сутках Июнь (n=69/113)	6.00-18.00	38 (55,0%)	61 (53,9%)
	18.00-24.00	14 (20,4%)	27 (23,8%)
	24.00-6.00	17 (24,6%)	25 (22,3%)
Время родов, в сутках Июль (n=69/126)	6.00-18.00	47 (68,1%)	76 (60,3%)
	18.00-24.00	11 (15,95%)	24 (19,1%)
	24.00-6.00	11 (15,95%)	26 (20,6%)
Время родов, в сутках Август (n=69/114)	6.00-18.00	39 (56,5%)	76 (66,6%)
	18.00-24.00	11 (16,0%)	18 (15,9%)
	24.00-6.00	<b>19 (27,5%)*</b>	20 (17,5%)
Время родов, в сутках Сентябрь (n=27/48)	6.00-18.00	17 (63,0%)*	22 (47,8%)
	18.00-24.00	5 (18,5%)	13 (26,1%)
	24.00-6.00	5 (18,5%)	13 (26,1%)
Время родов, в сутках Октябрь (n=44/81)	6.00-18.00	23 (52,2%)	40 (49,3%)
	18.00-24.00	13 (29,5%)	17 (21,1%)
	24.00-6.00	8 (18,3%)	24 (29,6%)
Время родов, в сутках Ноябрь (n=65/111)	6.00-18.00	31 (47,6%)	61 (54,9%)
	18.00-24.00	19 (29,2%)	21 (19,0%)
	24.00-6.00	15 (23,2%)	29 (26,1%)
Время родов, в сутках Декабрь (n=58/120)	6.00-18.00	27 (46,5%)	63 (52,5%)
	18.00-24.00	16 (27,7%)	25 (20,9%)
	24.00-6.00	15 (25,8%)	32 (26,6%)

Примечание: \* – различия достоверны ( $p \leq 0,05$ )

В III триместре беременности на фоне возрастания концентрации пролактина, прогестерона, эстриола, эстрадиола, кортизола и при сохранении их суточной ритмичности отмечены инфрадианные ритмы гормонов, участвующих в инициации

родов с периодом от 1,1 до 1,5 суток [9]. Следовательно, индивидуальные паттерны сроков наступления родов могут определяться не только циркадными, но и инфрадианными ритмами внутренних факторов, к числу которых относятся ритмы



гормонов, обеспечивающих деторождение (мелатонин, окситоцин). Эти данные косвенно свидетельствуют о существовании эндогенной ритмической основы, на которой формируются инфрадианные и циркадные ритмы физиологических показателей по механизму синхронизации [13].

По мере приближения срока родов в функциональной системе «мать-плацента-плод» (ФСМПП) имеются четыре источника мелатонина (эпифиз и внутренние органы материнского организма, а также плацента и плод), позволяющие достигнуть максимальной его продукции и обеспечить максимальную адаптацию к родам матери и плода. Главным циркадным водителем ритма, контролирующим концентрацию репродуктивных гормонов и находящимся в тесном функциональном взаимодействии с эпифизом, является супрахиазматическое ядро гипоталамуса (СХЯ), состоящее примерно из 20 000 нейронов [14-15], получающих сигналы в т.ч. и от фоторецепторных клеток сетчатки глаза, улавливая длину светового дня.

При анализе месячной динамики времени окончания родов было выявлено следующее (табл. 2): независимо от пола плода и сезона года (месяца), большая часть детей рождалась во временном промежутке 6.00-18.00, что соответствует светлому периоду суток. Согласно данным литературных источников, на плазмалемме миоцитов миометрия имеются рецепторы к мелатонину. Таким образом, очевидна роль мелатонина в сократительной способности матки (снижается) путем понижения выработки простагландина Е (ПГ-Е) и окситоцина. При нормальной физиологической беременности с 32 недели его концентрация находится в отрицательной динамике, и минимальное значение регистрируется приблизительно за сутки до начала родовой

деятельности. Результатом падения концентрации мелатонина является возрастание концентраций простагландина Е и окситоцина. ПГ-Е увеличивает чувствительность мембран клеток миометрия к окситоцину и инициирует родовую деятельность [16].

Наблюдаемая зависимость по преимущественному рождению женского плода в промежуток 24.00-6.00 для нашего региона наблюдалась только в августе, а преобладающее число рождений мальчиков с 18-24 часов в нашем исследовании выявлено не было. Этот феномен объясняется снижением концентрации мелатонина в крови беременных в летние месяцы, обусловленным большей продолжительностью светлого периода суток, а также отсроченным действием мелатонина.

**Заключение.** В заключении нужно отметить, что внутриутробная среда ритмична [17], подчинена хронофизиологическим закономерностям и направлена на поддержание нормального функционирования ФСМПП. Пол плода определяет функционирование системы в одном из направлений: ФСМПЖП или ФСМПМП. Факторы внешней среды, а именно фотопериод, через эпифизарно-гипоталамические петли регуляции влияют на функциональные процессы в различных звеньях системы и способствуют инициации маточной активности, ускоряя или замедляя процессы созревания плода, влияют на период подготовки организма к родам и характер самих родов [18-20].

Таким образом, очевидно, что суточные ритмы матери (в т.ч. и плацентарного комплекса) и их роль в зачатии и сроках родов – это область, необходимая для дальнейшего изучения и обладающая огромным потенциалом для внедрения в клиническую практику при нормальном течении беременности.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** концепция и дизайн исследования – Мальцева А.Е., Бондарчук Ю.А.; литературный поиск, участие в исследовании, обработка материала – Мальцева А.Е., Улитина О.М.; статистическая обработка данных – Мальцева А.Е.; анализ и интерпретация

данных – Мальцева А.Е., Горячева М.В., Бондарчук Ю.А.; написание и редактирование текста – Мальцева А.Е., Улитина О.М.

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

**Contribution of the authors:** concept and design of the study – Mal'tseva A.E., Bondarchuk Yu.A.; reference search, participation in research, material processing – Mal'tseva A.E., Ulitina O.M.; statistical data processing – Maltseva A.E.; data analysis and interpretation – Mal'tseva A.E., Goryacheva M.V., Bondarchuk Yu.A.; writing and editing – Mal'tseva A.E., Ulitina O.M.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Normal labor curve is affected by fetus gender: A cohort study / M. R. Meibodi, E. Mossayebi, Z. Najmi, Y. Moradi // *Med J Islam Repub Iran.* – 2017. – Vol. 31. – pp. 543-547. DOI: 10.14196/mjiri.31.93.
2. DiPietro, J. A. The gestational foundation of sex differences in development and vulnerability / J. A. DiPietro, K. M. Voegtline // *Neuroscience.* – 2017. – Vol. 342. – pp. 4-20. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2015.07.068.
3. Хлопонина, А. В. Хронофизиологические закономерности влияния половой дифференциации плода на функциональные процессы в системе «мать-плацента-плод» при физиологической и осложненной беременности: автореф. дис. ... канд.мед.наук / Анна Валерьевна Хлопонина. – Волгоград, 2019. – С. 46.
4. Суточная периодичность родов при физиологической и осложнённой беременности в зависимости от пола плода / Боташева Т. Л., Андреева В. О., Лебедеенко Е. Ю. [и др.] // *Медицинский вестник Юга России.* – 2021. – Т. 12(1). – С. 46-53.
5. Rhythmic Three-Part Harmony: The Complex Interaction of Maternal, Placental and Fetal Circadian Systems / P. J. Mark, R. C. Crew, M. D. Wharfe, B. J. Waddell // *J Biol Rhythms.* – 2017. – Vol. 32(6). – pp. 534-549. DOI: 10.1177/0748730417728671.
6. Суточная периодичность родов в зависимости от пола плода / Хлопонина А. В., Боташева Т. Л., Радзинский В. Е. [и др.] // *Вестник АГУ.* – 2018. – Т. 3 (226). – С. 76-83.
7. Сезонная периодичность мелатонинового обмена и гормонального статуса беременных в зависимости от пола плода / Боташева Т. Л., Хлопонина А. В., Васильева В. В. [и др.] // *Медицинский вестник Юга России.* – 2018. – Т. 9(3). – С. 70-76. DOI: 10.21886/2219-8075-2018-9-3-70-76.
8. Bates, K. Maternal-Fetal Circadian Communication During Pregnancy / K. Bates, E. D. Herzog // *Front Endocrinol (Lausanne).* – 2020. – Vol. 11. – 198. DOI: 10.3389/fendo.2020.00198.
9. Мальцева, А. Е. Инфраниантные ритмы частоты родов в условиях г. Барнаула в ходе гигиенического анализа проблемы репродуктивного здоровья человека / А. Е. Мальцева, О. А. Жукова // *Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики.* – 2021. – № 2. – С. 185-200.
10. Maternal pineal melatonin in gestation and lactation physiology, and in fetal development and programming / Gomes P. R. L., Motta-Teixeira L. C., Gallo C. C. [et al] // *Gen Comp Endocrinol.* – 2021. – Vol. 300. – Art. № 113633. DOI: 10.1016/j.ygcen.2020.113633.
11. Biodynamic lighting conditions preserve nocturnal melatonin production in pregnant women during hospitalization: A randomized prospective pilot study / Bagci S., Wieduwilt A., Alsat E. A. [et al] // *Front Endocrinol (Lausanne).* – 2022. – Vol. 13. – Art. № 1043366. DOI: 10.3389/fendo.2022.1043366.
12. Melatonin and stable circadian rhythms optimize maternal, placental and fetal physiology / R. Reiter, D. Tan, A. Korkmaz, S. Rosales-Corral // *Hum Reprod Update.* – 2014. – Vol. 20(2) – pp. 293-307. DOI: 10.1093/humupd/dmt054.
13. Endogenous Circadian Regulation of Female Reproductive Hormones / Rahman S. A., Grant L. K., Gooley J. J. [et al] // *J Clin Endocrinol Metab.* – 2019. – Vol. 104(12). – pp. 6049-6059. DOI: 10.1210/jc.2019-00803.
14. Ontogeny of Circadian Rhythms and Synchrony in the Suprachiasmatic Nucleus / Carmona-Alcocer V., Abel J. H., Sun T. C. [et al] // *J Neurosci.* – 2018. – Vol. 38(6). – pp. 1326-1334. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2006-17.2017.
15. Development and Entrainment of the Fetal Clock in the Suprachiasmatic Nuclei: The Role of Glucocorticoids / Cecmanova V., Houdek P., Suchmanova K. [et al] // *J Biol Rhythms.* – 2019. – Vol. 34(3). – pp. 307-322. DOI: 10.1177/0748730419835360.

16. Мелатонин и деторождение. Часть 2. Постимплантационный период / Молчанов А. Ю., Ивановская М. Г., Бурлакова О.В. [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. – 2014. – № 1. – С. 3-8.
17. Varcoe, T. J. Maternal circadian rhythms and the programming of adult health and disease / T. J. Varcoe, K. L. Gatford, D. J. Kennaway // *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. – 2018. – Vol. 314(2). – pp. R231-R241. DOI: 10.1152/ajpregu.00248.2017.
18. Особенности сезонных биоритмов различных звеньев системы «мать-плацента-плод» в зависимости от ее стереофункциональной организации при физиологической и осложненной беременности / Рогова Н. А., Боташева Т. Л., Черноситов А. В. [и др.] // Медицинский вестник Юга России. – 2013. – № 4. – С. 138-141.
19. Circadian rhythm and its association with birth and infant outcomes: research protocol of a prospective cohort study / Kaur S., Teoh A. N., Shukri N. H. M. [et al] // *BMC Pregnancy Childbirth*. – 2020. – Vol. 20(1). – Art. № 96. DOI: 10.1186/s12884-020-2797-2.
20. Hsu, C. N. Light and Circadian Signaling Pathway in Pregnancy: Programming of Adult Health and Disease / C. N. Hsu, Y. L. Tain // *Int J Mol Sci*. – 2020. – № 21(6). – pp. 22-32. DOI: 10.3390/ijms21062232.
- REFERENCES**
1. Meibodi M.R., Mossayebi E., Najmi Z., Moradi Y. Normal labor curve is affected by fetus gender: A cohort study. *Med J Islam Repub Iran*, 2017, vol. 31, pp. 543-547. DOI: 10.14196/mjiri.31.93.
2. DiPietro J.A., Voegtline K.M. The gestational foundation of sex differences in development and vulnerability. *Neuroscience*, 2017, vol. 342: pp. 4-20. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2015.07.068.
3. Khloponina A.V. Chronophysiological patterns of the fetal sexual differentiation's influence on functional processes in the "mother-placenta-fetus" system in case of physiological and abnormal pregnancy: an author's abstract. Volgograd, 2019. P. 46. (in Russ.)
4. Botasheva T.L., Andreeva V.O., Lebedenko E.Yu., Fabricant A.D., Khloponina A.V., Zheleznyakova E.V., Zavodnov O.P. Daily periodicity of labor in pregnant women in physiological and complicated pregnancy depending on the sex of the fetus. *Medical Herald of the South of Russia*, 2021, vol. 12(1), pp. 46-53. (in Russ.)
5. Mark P.J., Crew R.C., Wharfe M.D., Waddell B.J. Rhythmic Three-Part Harmony: The Complex Interaction of Maternal, Placental and Fetal Circadian Systems. *J Biol Rhythms*, 2017, vol. 32(6), pp. 534-549. DOI: 10.1177/0748730417728671.
6. Khloponina A.V., Botasheva T.L., Radzinskij V.E. Zheleznyakova E.V., Zavodnov O.P., Babayan K.T. Daily periodicity of labor depending on fetus sex. *The Bulletin of the Adyghe State University*, 2018, vol. 3(226), pp. 76-83. (in Russ.)
7. Botasheva T.L., Khloponina A.V., Vasil'eva V.V. Zavodnov O.P., Kaushanskaya L.V., Zheleznyakova E.V. Seasonal periodicity of melatonin exchange and hormonal status of pregnant women in dependence on fetus sex. *Medical Herald of the South of Russia*, 2018, vol. 9(3), pp. 70-76. DOI: 10.21886/2219-8075-2018-9-3-70-76. (in Russ.)
8. Bates K., Herzog E. D. Maternal-Fetal Circadian Communication During Pregnancy. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2020, vol. 11, 198. DOI: 10.3389/fendo.2020.00198.
9. Mal'tseva A.E., Zhukova O.A. Infradian rhythms of birth frequency in the conditions of Barnaul in the hygienic analysis of the problem of human reproductive health. *Current problems of health care and medical statistics*, 2021, no. 2, pp. 185-200. (in Russ.)
10. Gomes P.R.L, Motta-Teixeira L.C., Gallo C.C., Carmo Buonfiglio D.D., Camargo L.S., Quintela T., Reiter R.J., Amaral F.G.D., Cipolla-Neto J. Maternal pineal melatonin in gestation and lactation physiology, and in fetal development and programming. *Gen Comp Endocrinol*, 2021, vol. 300, art. no. 113633. DOI: 10.1016/j.ygcen.2020.113633.
11. Bagci S., Wieduwilt A., Alsat E.A., Blickwedel J., Strizek B., Di Battista C., Lachner A., Plischke H., Melaku T., Müller A. Biodynamic lighting conditions preserve nocturnal melatonin production in pregnant women during hospitalization: A randomized prospective pilot study. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022, vol. 13, art. no. 1043366. DOI: 10.3389/fendo.2022.1043366.
12. Reiter R.J., Tan D.X., Korkmaz A., Rosales-Corral S.A. Melatonin and stable circadian rhythms optimize maternal, placental and fetal physiology. *Hum Reprod Update*, 2014, vol. 20(2), pp. 293-307. DOI: 10.1093/humupd/dmt054.
13. Rahman S.A, Grant L.K, Gooley J.J., Rajaratnam S.M.W., Czeisler C.A., Lockley S.W. Endogenous Circadian Regulation of Female Reproductive Hormones. *J Clin Endocrinol Metab*,

- 2019, vol. 104(12), pp. 6049-6059. DOI: 10.1210/jc.2019-00803.
14. Carmona-Alcocer V., Abel J.H., Sun T.C., Petzold L.R., Doyle F.J. 3rd, Simms C.L., Herzog E.D. Ontogeny of Circadian Rhythms and Synchrony in the Suprachiasmatic Nucleus. *J Neurosci*, 2018, vol. 38(6), pp. 1326-1334. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2006-17.2017.
15. Cecmanova V., Houdek P., Suchmanova K., Sladek M., Sumova A. Development and Entrainment of the Fetal Clock in the Suprachiasmatic Nuclei: The Role of Glucocorticoids. *J Biol Rhythms*, 2019, vol. 34(3), pp. 307-322. DOI: 10.1177/0748730419835360.
16. Molchanov A.Ju., Ivanovskaja M.G., Burlakova O.V., Suprunenko E.S., Molchanova E.S. melatonin and child-bearing. P. 2. Postimplantation period. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16. Biologiya*. 2014, no. 1, pp. 3-8. (in Russ.)
17. Varcoe T.J., Gatford K.L., Kennaway D.J. Maternal circadian rhythms and the programming of adult health and disease. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2018, vol. 314(2), pp. R231-R241. DOI: 10.1152/ajpregu.00248.2017.
18. Rogova N.A., Botasheva T.L., Chernositov A.V., Kaushanskaya L.V., Aleksandrova E.M. Peculiarities of season biorhythms in different parts of functional system mother-placenta-fetus in dependence on its stereofunctional organization in physiological and complicated pregnancy. *Medical Herald of the South of Russia*, 2013, no. 4, pp. 138-141. (in Russ.)
19. Kaur S., Teoh A.N., Shukri N.H.M., Shafie S.R., Bustami N.A., Takahashi M., Lim P.J., Shibata S. Circadian rhythm and its association with birth and infant outcomes: research protocol of a prospective cohort study. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2020, vol. 20(1), art. no. 96. DOI: 10.1186/s12884-020-2797-2.
20. Hsu C.N., Tain Y.L. Light and Circadian Signaling Pathway in Pregnancy: Programming of Adult Health and Disease. *Int J Mol Sci*, 2020, vol. 21(6), pp. 22-32. DOI: 10.3390/ijms21062232.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Анастасия Евгеньевна Мальцева** – старший преподаватель кафедры биологии, гистологии, эмбриологии и цитологии, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, Барнаул, e-mail: mungus10@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8768-6081>.

**Марина Владимировна Горячева** – доктор медицинских наук, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедры биологии, гистологии, эмбриологии и цитологии, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, Барнаул, e-mail: goryachevamarina@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7139-5332>.

**Юлия Алексеевна Бондарчук** – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры нормальной физиологии, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, Барнаул, e-mail: bondarchuk2606@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2661-5965>.

**Оксана Михайловна Улитина** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры нормальной физиологии, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, Барнаул, e-mail: oulitina@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6812-0445>.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Anastasia Evgen'evna Mal'tseva** – Senior Lecturer of the Department of Biology, Histology, Embryology and Cytology, Altai State Medical University, Barnaul, e-mail: mungus10@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8768-6081>.

**Marina Vladimirovna Goryacheva** – Doctor of Medical Sciences, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Biology, Histology, Embryology and Cytology, Altai State Medical University, Barnaul, e-mail: goryachevamarina@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7139-5332>.

**Yulia Alekseevna Bondarchuk** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology, Altai State Medical University, Barnaul, e-mail: bondarchuk2606@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2661-5965>.

**Oksana Mikhajlovna Ulitina** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology, Altai State Medical University, Barnaul, e-mail: oulitina@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6812-0445>.

**Для цитирования:** Хронофизиология суточной периодичности родов с учетом полового диморфизма плода / А. Е. Мальцева, М. В. Горячева, Ю. А. Бондарчук, О. М. Улитина // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_15

**For citation:** Mal'tseva A.E., Goryacheva M.V., Bondarchuk Yu.A., Ulitina O.M. Chronophysiology of the childbirth's daily periodicity, taking into account the fetal sexual dimorphism. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_15

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_16  
УДК 612.825.2; 612.825.4

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_16  
UDC 612.825.2; 612.825.4

## ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ МОТОРНОГО ДОМИНИРОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММУ И ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ВООБРАЖЕНИИ И ВЫПОЛНЕНИИ СЛОЖНЫХ ДВИЖЕНИЙ НОГАМИ

К.А. Моренова<sup>1</sup>, О.А. Ведясова<sup>1</sup>, С.И. Павленко<sup>1,2</sup>, И.Г. Кретьова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия

<sup>2</sup>Медицинский университет «Реавиз», г. Самара, Россия

**Аннотация.** Цель исследования – анализ изменений спектральной мощности ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и параметров variability сердечного ритма, выявление корреляционных связей между ними при воображаемых и реальных движениях ног у правшей, левшей и амбидекстров. Установлено, что у правшей изменения ЭЭГ в сенсомоторных областях были более выражены при воображаемых движениях ног, а у амбидекстров – при реальных. У левшей паттерн ЭЭГ существенно не зависел от вида двигательной задачи. Корреляционные связи изменений ЭЭГ и variability сердечного ритма преобладали при воображаемых действиях. Число корреляций зависело от типа моторного доминирования, было наибольшим у правшей и наименьшим у амбидекстров.

**Ключевые слова:** правши, левши, амбидекстры, спектральная мощность ЭЭГ, variability сердечного ритма, воображаемые и реальные движения ног.

## INFLUENCE OF MOTOR DOMINANCE PROFILE ON ELECTROENCEPHALOGRAM AND HEART RATE VARIABILITY WHILE IMAGINING AND PERFORMING COMPLEX LEG MOVEMENTS

К.А. Morenova<sup>1</sup>, О.А. Vedyasova<sup>1</sup>, S.I. Pavlenko<sup>1,2</sup>, I.G. Kretova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara University, Samara, Russia

<sup>2</sup>REAVIZ Medical University, Samara, Russia

**Annotation.** The purpose of the study was to analyze changes in the spectral power of electroencephalogram (EEG) rhythms and heart rate variability parameters, to identify correlations between them during imaginary and real leg movements in right-handers, left-handers and ambidexters. It was found that in right-handers, EEG changes in sensorimotor areas were more pronounced with imaginary leg movements, in ambidexters – with real ones. In left-handers, the EEG pattern did not significantly depend on the type of motor task. Correlations between EEG changes and heart rate variability prevailed during imaginary actions. The number of correlations depended on the type of motor dominance, being the largest in right-handers and the smallest in ambidexters.

**Keywords:** right-handers, left-handers, ambidexters, EEG spectral power, heart rate variability, imaginary and real leg movements.

**Введение.** Анализ изменений электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при движениях правой и левой ноги представляет интерес в плане понимания роли отделов центральной нервной системы в механизмах регуляции движений [1-2], решения теоретических и прикладных вопросов проблемы межполушарной функциональной асимметрии [3-4]. Такие исследования актуальны также для

создания интерфейсов «мозг-компьютер» [5].

Движения, в том числе мысленные, сопровождаются различной динамикой ЭЭГ [6] и сочетаются с вегетативными реакциями, например с изменениями параметров variability сердечного ритма (ВСР) [7]. Известно, что правши, левши и амбидекстры могут различаться вкладом правого

и левого мозговых полушарий в формировании вегетативного статуса и реакций сердца, что отчасти объясняется более тесными связями правого полушария с симпатическими центрами [8]. В то же время, данные о взаимозависимости изменений ЭЭГ и ВСР у лиц с разными профилями моторного доминирования при мысленной и реальной двигательной активности практически отсутствуют. Изучение этого вопроса может способствовать пониманию механизмов вегетативной регуляции у человека в процессе моторной деятельности.

Цель исследования состояла в анализе изменений спектральной мощности (СМ) основных ритмов ЭЭГ в центральных отведениях, изучении динамики параметров ВСР и выявлении корреляционных связей между ЭЭГ и ВСР при сложных воображаемых и выполняемых движениях ног у правшей, левшей и амбидекстров.

**Методы и организация исследования.** Обследовано 56 человек в возрасте от 18 до 25 лет. Работа выполнена в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации, и одобрена комиссией по биоэтике Самарского университета. Индивидуальный профиль моторного доминирования определяли по коэффициенту двигательной асимметрии, который рассчитывали в общепринятых тестах [9]. На основании результатов тестирования были созданы три группы испытуемых: правши (30 человек), левши (11 человек) и амбидекстры (15 человек).

ЭЭГ регистрировали на нейровизоре «NVX 36 digital DC EEG» (Россия), накладывая электроды по международной схеме «10-20». Референтный электрод фиксировали на мочке правого уха. Испытуемые занимали положение сидя (в кресле) с закрытыми глазами. ЭЭГ записывали в исходном состоянии (покой), при последовательном воображении сложного движения правой (ВСП) и левой (ВСЛ) ног, затем при реальном сложном движении правой (РСП) и левой (РСЛ) ног.

Испытуемые воображали и выполняли комплексное действие в виде одновременного сгибания коленного и голеностопного суставов в течение 4 с. Для анализа ЭЭГ использовали показатели СМ ( $\text{мкВ}^2$ ) ритмов стандартных диапазонов частоты в центральных отведениях (С3, С4). Сначала сравнивали фоновые (абсолютные) значения СМ ритмов в каждом полушарии мозга у разных групп испытуемых в покое и в условиях выполнения двигательных заданий. Затем анализировали внутрислоушарные изменения СМ ритмов ЭЭГ при движениях относительно покоя у правшей, левшей и амбидекстров и оценивали у них межполушарные различия.

Для регистрации ВСР использовали прибор «ЭЛОКС-01М» (Россия). Ритмограммы записывали в течение 5 мин в покое и при выполнении указанных выше действий, однако в данном случае каждое сложное движение повторялось с 15-секундным интервалом в процессе всей записи. Оценивали следующие параметры: интервалы NN (мс); отклонение SDNN (мс); показатели RMSSD (мс) и pNN50 (%); уровень симпатической (СИМ, усл.ед.) и парасимпатической (ПАР, усл.ед.) активности; индекс Баевского (ИБ, усл.ед.).

При статистической обработке проверяли выборки на нормальность распределения (Shapiro-Wilk Test) и равенство дисперсий (Equal Variance Test Brown-Forsythe). Для анализа достоверности изменений ЭЭГ и ВСР при выполнении двигательных заданий в группах правшей, левшей и амбидекстров использовали Two Way Repeated Measures ANOVA. Межгрупповые различия оценивали с помощью Three Way ANOVA. При достоверных изменениях выполняли апостериорные сравнения (Holm-Sidak method). Взаимосвязь между параметрами ВСР и СМ ЭЭГ определяли по коэффициентам корреляции Спирмена ( $r$ ). Данные в статье представлены как средние значения  $\pm$  стандартная ошибка. Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Установлено, что в состоянии покоя, независимо от профиля моторного доминирования, СМ альфа- и бета1-волн в отведениях С3 и С4 преобладала ( $p < 0,05$ ) над СМ бета2- и гамма-волн. При этом у правшей и левшей СМ этих ритмов, усредненная по С3 и С4, оказалась больше, чем у амбидекстров в среднем на  $3,8 \pm 0,2$  мкВ<sup>2</sup> ( $p < 0,01$ ) и  $3,4 \pm 0,5$  мкВ<sup>2</sup> ( $p < 0,05$ ) соответственно. Разница между группами наглядно подтверждается особенностями спектральных карт ЭЭГ, типичных для правшей, левшей и амбидекстров (рис. А).

В условиях воображения действий ногами значимой разницы абсолютных величин СМ ритмов ЭЭГ в С3 и С4 в группах правшей, левшей и амбидекстров не обнаружено, но были выявлены межгрупповые различия. Так, у левшей во время воображаемого движения правой ногой СМ всех ритмов в С3 и С4 была выше ( $p < 0,01$ ), чем у правшей и амбидекстров в среднем на  $5,2 \pm 0,4$  мкВ<sup>2</sup> и  $4,3 \pm 0,3$  мкВ<sup>2</sup> (рис. Б). При воображении движения левой ногой различия наблюдались между левшами и амбидекстрами и выражались преобладанием СМ всех ритмов у левшей ( $p < 0,05$ ) в среднем на  $3,5 \pm 0,2$  мкВ<sup>2</sup> (рис. В).

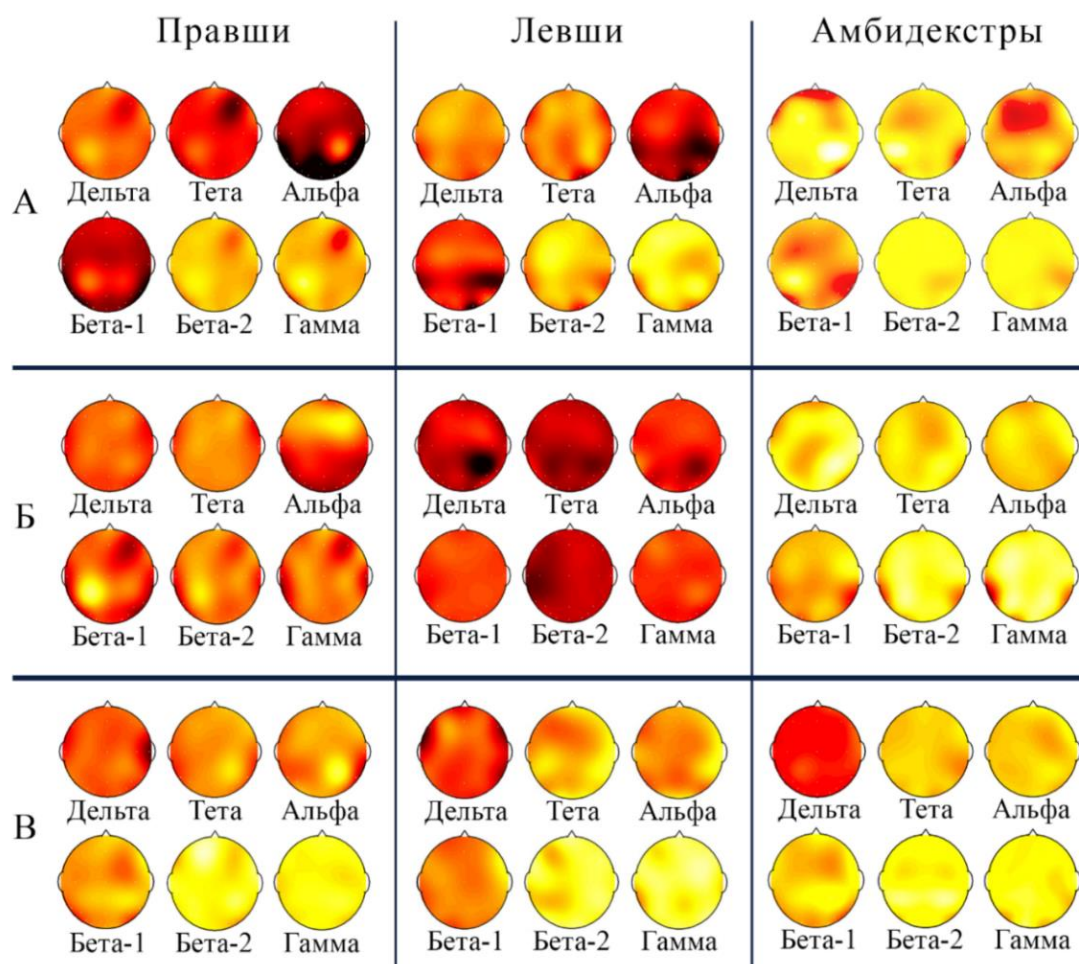


Рис. Спектральные карты электроэнцефалограммы представителей с различными индивидуальными профилями моторного доминирования в покое (А) и при воображаемых движениях правой (Б) и левой (В) ногами



В ходе реальных движений ног, в отличие от воображаемых, абсолютные величины СМ ЭЭГ существенно не зависели от профиля моторного доминирования. В этих условиях на спектральных картах у всех испытуемых выявлялось преобладание СМ низкочастотных ритмов над высокочастотными. Например, СМ дельта-ритма в одинаковой степени превышала СМ бета2- и гамма-ритма у правшей (на  $4,7 \pm 0,5$  и  $4,5 \pm 0,6$  мкВ<sup>2</sup>;  $p < 0,05$ ), левшей (на  $5,6 \pm 0,6$  и  $5,0 \pm 0,2$  мкВ<sup>2</sup>;  $p < 0,05$ ) и амбидекстров (на  $9,19 \pm 0,8$  и  $10,06 \pm 0,7$  мкВ<sup>2</sup>;  $p < 0,01$ ).

В плане анализа межполушарных взаимоотношений при мысленных и реальных движениях важно, что сравнение ЭЭГ в правом и левом полушариях не показало асимметрии фоновых значений СМ отдельных ритмов ни у одной группы испытуемых. Трехфакторный дисперсионный анализ также не выявил взаимодействия между профилем моторного доминирования, латерализацией отведения и уровнем СМ ЭЭГ, из чего следует, что взаимосвязь между ними имеет сложный, нелинейный характер. Это подтверждает известный факт, что разный тип полушарного доминирования у правшей и левшей не подразумевает наличия у них прямо противоположного способа организации мозговой деятельности [9].

Наряду с особенностями фоновых значений СМ ритмов ЭЭГ у разных групп испытуемых были также выявлены различия в характере и выраженности отклонений СМ от исходного уровня при выполнении двигательных задач. Так, у правшей при воображении сгибаний правой и левой ног достоверно снижалась СМ альфа-, бета1- и бета2-ритмов в обоих полушариях, тогда как гамма- и тета-ритмы уменьшались только справа. Во время реальных движений изменения ЭЭГ у правшей проявлялись снижением СМ альфа-, бета1- и бета2-ритмов справа при сгибании левой ноги. СМ дельта-ритма у правшей практически не менялась (табл. 1). У левшей был обнаружен лишь один эпизод достоверного изменения ЭЭГ, а именно увеличение СМ тета-ритма в

С4 при реальном сгибании правой ноги на  $12,6 \pm 1,1$  мкВ<sup>2</sup> ( $p < 0,05$ ) от исходного уровня. У амбидекстров изменения ЭЭГ обнаруживались только при реальных движениях и, в отличие от правшей, проявлялись не снижением, а повышением СМ альфа-, бета2- и гамма-ритмов в правом полушарии при реальном сгибании правой ноги (в среднем на  $14,7 \pm 2,3$  мкВ<sup>2</sup>;  $p < 0,05$ ). Низкочастотные тета- и дельта-ритмы усиливались у них в С3 и С4 при сгибаниях обеих ног.

Эти результаты поддерживают идею об учете изменений ритмов альфа-, бета- и гамма-частотных диапазонов в сенсомоторных областях коры мозга для обработки сигналов ЭЭГ в интерфейсах «мозг-компьютер» у людей с нарушением подвижности нижних конечностей [2]. Возможно, использование с этой целью ритмов указанных частот более целесообразно для правшей.

При анализе ВСР значимые реакции были обнаружены лишь при реальных движениях ног. У всех групп испытуемых значения RMSSD, рNN50 и NN при сгибаниях ног уменьшались относительно покоя в среднем на  $19,0 \pm 2,1$  мс,  $27,0 \pm 4,6$  мс и  $216,0 \pm 42,0$  мс ( $p < 0,01$ ). Наблюдаемые изменения ВСР могут определяться взаимодействиями моторной и премоторной коры с лимбической корой (поясной извилиной), имеющей тесные связи с вегетативными, мотивационными, эмоциогенными центрами (миндалиной, гипоталамусом) и дорсальным моторным ядром блуждающего нерва [10]. Вероятно, при движениях, сопровождающихся реальным мышечным усилием и эмоциональным напряжением, поясная извилина активнее, чем при мысленных действиях, включается в регуляцию вегетативных функций, что проявляется активацией связанных с ней мозговых структур и более заметными сдвигами ВСР.

В изменениях ВСР статистически значимых различий у лиц с разным моторным доминированием не наблюдалось,

однако различия между ними проявились при анализе корреляционных связей параметров ВСП и СМ ритмов ЭЭГ. Более многочисленные корреляции оказались характерными для правшей, причем в ситуациях воображаемых сгибаний ног. Во время мысленных

действий правой ногой параметры ВСП коррелировали с ЭЭГ правого полушария, а левой ногой – преимущественно правого и в меньшей степени левого полушария. Данные связи были как положительными, так и отрицательными (табл. 2).

Таблица 1

Изменения спектральной мощности ритмов электроэнцефалограммы в центральных отведениях при воображаемых и реальных движениях правой и левой ног, мкВ<sup>2</sup>

Ритм	Состояние	Правши		Левши		Амбидекстры	
		СЗ	С4	СЗ	С4	СЗ	С4
Альфа	Покой	15,3±1,9	14,1±1,3	14,7±1,7	13,8±1,2	11,2±1,8	10,5±1,4
	ВСП	8,8±1,5**	6,9±0,5***	13,1±2,6	14,6±4,4	7,2±0,8	7,6±1,2
	ВСЛ	8,2±1,0**	7,4±0,7***	11,0±1,5	11,3±1,8	7,7±1,0	6,7±0,9
	РСП	15,3±5,8	14,6±5,2	13,7±2,7	12,1±2,1	10,6±2,4	27,8±11,7**
	РСЛ	14,8±4,3	10,4±3,5*	12,5±1,5	11,8±1,6	13,3±5,1	16,3±5,6
Бета1	Покой	14,5±1,9	13,8±1,7	14,3±1,9	15,9±2,0	10,4±1,3	10,5±1,5
	ВСП	9,0±2,0**	6,7±0,7***	12,6±3,1	13,3±3,7	6,9±1,0	7,5±1,3
	ВСЛ	7,9±1,3***	6,6±0,8***	10,2±2,1	11,6±2,2	9,1±2,8	7,2±1,5
	РСП	16,2±5,1	15,1±4,6	13,6±3,0	11,4±2,1	10,4±2,8	20,5±8,4
	РСЛ	16,1±4,8	10,4±3,7*	13,0±2,7	12,3±2,1	12,1±4,2	16,6±6,2
Бета2	Покой	9,9±1,8	10,3±2,2	8,0±0,9	9,6±1,8	6,8±0,9	6,4±0,8
	ВСП	6,2±1,4**	5,0±0,9**	6,7±1,5	8,8±3,5	5,1±1,0	5,2±1,2
	ВСЛ	5,5±1,2***	5,0±0,9**	5,2±0,5	6,6±1,5	6,0±1,8	5,1±1,3
	РСП	7,5±3,2*	10,8±2,9	7,1±1,1	6,2±0,9	8,6±3,6	12,6±3,6*
	РСЛ	7,8±3,2*	7,1±2,4*	7,7±1,5	6,5±1,0	7,8±2,7	11,1±4,7
Гамма	Покой	10,9±2,8	8,7±1,6	7,4±0,9	9,5±2,1	6,9±1,1	6,6±1,2
	ВСП	6,7±1,8	4,9±1,3***	6,4±1,5	8,3±3,1	5,2±1,3	6,3±2,4
	ВСЛ	5,7±1,5	4,6±1,1***	5,1±0,5	6,6±1,5	6,9±3,1	5,9±2,5
	РСП	19,2±9,5	14,2±5,8	8,2±2,1	7,3±2,3	11,1±5,5	22,3±10,7**
	РСЛ	14,9±5,5	12,8±4,5	8,5±2,1	7,5±2,2	12,5±5,6	14,0±6,5
Тета	Покой	12,6±1,8	13,2±2,4	12,6±2,3	13,0±3,0	9,6±1,2	8,8±1,0
	ВСП	10,8±4,1	7,2±1,1**	14,8±7,4	14,3±6,9	6,9±1,3	7,6±2,5
	ВСЛ	10,8±2,9	9,5±3,0**	9,0±1,7	10,7±2,0	6,4±1,3	5,5±1,1
	РСП	27,0±10,3	27,0±10,1	21,1±5,9	25,6±9,6*	22,2±10,4*	23,0±7,4**
	РСЛ	31,1±11,7	31,9±11,8	16,1±5,2	18,4±6,4	23,2±10,5*	19,5±6,8*
Дельта	Покой	12,6±1,7	12,9±1,8	12,6±1,9	11,2±1,4	10,4±1,3	9,5±1,1
	ВСП	9,0±2,3	7,1±0,9	13,9±4,4	12,6±4,3	6,7±0,9	7,6±2,2
	ВСЛ	8,2±1,4	7,8±1,2	9,6±1,1	9,6±1,3	7,3±1,4	6,0±0,9
	РСП	16,8±5,0	15,2±3,7	14,5±2,0	14,8±2,3	22,9±7,6**	24,2±7,8***
	РСЛ	24,1±7,4	21,0±6,0	12,4±1,0	11,8±1,5	18,4±7,7	20,9±7,7**

Примечание: ВСП – воображение сложного движения правой ноги; ВСЛ – воображение сложного движения левой ноги; РСП – реальное движение правой ноги; РСЛ – реальное движение левой ноги; достоверность изменений относительно покоя: \* – p<0,05, \*\* – p<0,01, \*\*\* – p<0,001

Таблица 2

Коэффициенты корреляции ( $r$ ) между параметрами variability сердечного ритма и спектральной мощности ритмов электроэнцефалограммы в центральных отведениях С3 и С4 у правой при воображении движений ног

Воображение движения правой ноги										
Параметр BCP	Альфа-ритм		Бета1-ритм		Бета2-ритм		Дельта-ритм		Тета-ритм	
	С3	С4	С3	С4	С3	С4	С3	С4	С3	С4
SDNN				0,89						
RMSSD				0,82						
pNN50				0,82						
NN				0,83						
СИМ				-0,91						
ПАР				0,86						
ИБ				-0,79						
Воображение движения левой ноги										
Параметр BCP	Бета1-ритм		Бета2-ритм		Гамма-ритм		Дельта-ритм		Тета-ритм	
	С3	С4	С3	С4	С3	С4	С3	С4	С3	С4
SDNN				0,79						
pNN50				0,74						
NN				0,79						
СИМ	-0,73				-0,73	-0,80		-0,80	-0,73	-0,80
ПАР						0,76		0,76	0,71	0,76
ИБ		-0,69		-0,69				-0,67		-0,67

Примечание: BCP – variability сердечного ритма; SDNN – стандартное отклонение NN интервалов; RMSSD – среднеквадратичное значение последовательных различий; pNN50 – процент NN50 от общего количества пар NN интервалов в записи; NN – NN интервалы; СИМ – уровень симпатической активности; ПАР – уровень парасимпатической активности; ИБ – индекс Баевского; все выявленные корреляции статистически значимы с уровнем  $p < 0,05$

Что касается левой, то более выраженные связи у них отмечались при воображении сгибания правой ноги, при этом параметры BCP положительно коррелировали с мощностью ритмов ЭЭГ в обоих полушариях (табл. 3).

Испытуемые-амбидекстры показали самые малочисленные корреляционные связи. При воображении сгибания правой ноги у них отмечались корреляции между pNN50 и СИМ бета1- и бета2-ритмов в левом отведении С3 ( $r=0,83$ ;  $p < 0,05$ ). Во время

мысленного сгибания левой ноги проявились корреляции между индексом ПАР и СИМ гамма-ритма в левом С3 и правом С4 ( $r=0,83$ ;  $p < 0,05$ ) отведениях и тета-ритма в отведении С4 ( $r=0,89$ ;  $p < 0,05$ ). На фоне реальных сгибаний ног корреляций у амбидекстров не наблюдалось. Исходя из этих данных, можно говорить об особенностях взаимодействия моторных и вегетативных центров у лиц с разными типами межполушарных взаимоотношений при реальных и воображаемых движениях.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции (r) между параметрами вариабельности сердечного ритма и спектральной мощности ритмов электроэнцефалограммы в центральных отведениях С3 и С4 у левшей при воображении движений ног

Воображение движения правой ноги											
Параметр BCP	Альфа-ритм		Бета1-ритм		Бета2-ритм		Дельта-ритм		Тета-ритм		
	С3	С4	С3	С4	С3	С4	С3	С4	С3	С4	
RMSSD				0,98	0,98					0,98	0,98
pNN50				0,98	0,98					0,98	0,98
ПАР								0,98			
ИБ								0,98			
Воображение движения левой ноги											
Параметр BCP	Бета1-ритм		Бета2-ритм		Гамма-ритм		Дельта-ритм		Тета-ритм		
	С3	С4	С3	С4	С3	С4	С3	С4	С3	С4	
NN		0,98	0,98								
ПАР									0,98		

Примечание: BCP – вариабельность сердечного ритма; RMSSD – среднее квадратическое значение последовательных различий; pNN50 – процент NN50 от общего количества пар NN интервалов в записи; ПАР – уровень парасимпатической активности; ИБ – индекс Баевского; NN – NN интервалы; все выявленные корреляции статистически значимы с уровнем  $p < 0,01$

**Заключение.** Полученные данные позволяют считать, что активность нейронной сети, участвующей в создании двигательных программ, а также в подготовке и реализации движений нижних конечностей, имеет ряд особенностей у лиц с разными типами моторной асимметрии. Это подтверждается различиями СМ ритмов ЭЭГ у правшей, левшей и амбидекстров в ситуациях воображения и выполнения сложных движений правой и левой ногой. С учетом слабой выраженности изменений ЭЭГ при мысленных и реальных движениях ног у левшей и амбидекстров, по сравнению с правшами, и на основании концепции

о динамической нейронной сети, обеспечивающей мысленные движения [11], допустимо говорить о разной степени интеграции моторных и премоторных корковых зон в регуляцию сложных движений у людей с межполушарной асимметрией и полушарным равенством. С учетом выявленных корреляций между BCP и СМ ритмов ЭЭГ можно говорить о неоднозначном вкладе правого и левого полушарий в регуляцию сердечного ритма на этапах планирования и выполнения сложных движений ногами у представителей с разной организацией межполушарных взаимоотношений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система детектирования фаз шагательного цикла и стимуляции спинного мозга как инструмент управления локомоцией человека / Гришин А. А., Боброва Е. В., Решетникова В. В. [и др.] // Медицинская техника. – 2020. – Т. 323. – № 5. – С. 10-14.  
2. Воображение движений нижних конечностей для управления системами «интерфейс мозг-компьютер» / Е. В. Боброва, В. В. Решетникова,

А. А. Фролов, Ю. П. Герасименко // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. – 2019. – Т. 69. – № 5. – С. 529.

3. EEG differentiates left and right imagined Lower Limb movement / Kline A., Gaina Ghroaga C., Pittman D. [et al] // Gait Posture. – 2021. – Vol. 84 – pp. 148-154.

4. Vedyasova, O. A. Electroencephalographic and autonomic correlates of imaginary and real movements of legs in right-handers and left-handers

- / О. А. Vedyasova, К. А. Morenova, S. I. Pavlenko // *Human Physiology* – 2022. – Vol. 48. – № 5. – pp. 516-525.
5. Маркина, Л. Д. Межполушарная асимметрия головного мозга: морфологический и физиологический аспекты / Л. Д. Маркина, А. А. Баркар // *Тихоокеанский медицинский журнал*. – 2014. – № 1. – С. 66-70.
6. EEG-based continuous hand movement decoding using improved center-out paradigm / J. Wang, L. Bi, W. Fei, K. Tian // *IEEE Trans. Neural. Syst. Rehabil. Eng.* – 2022. – Vol. 30. – pp. 2845-2855.
7. Pfuertscheller, G. Brisk heart rate and EEG changes during execution and withholding of cue-paced foot motor imagery / G. Pfuertscheller, T. Solis-Escalante, R. J. Barry // *Front. Hum. Neurosci.* – 2013. – № 7. – P. 379.
8. Александров, С. Г. Показатели вегетативного гомеостаза у лиц с различным типом доминирования полушарий головного мозга / С. Г. Александров, Т. М. Колбовская, М. И. Губина // *Сибирский медицинский журнал*. – 2014. – Т. 128. – № 5. – С. 52-54.
9. Жаворонкова, Л. А. Правши – левши: межполушарная асимметрия электрической активности мозга человека / Л. А. Жаворонкова. – Москва, 2006. – 222 с.
10. Басанцова, Н. Ю. Роль вегетативной нервной системы в развитии цереброкardiaльных нарушений / Н. Ю. Басанцова, Л. М. Тибеккина, А. Н. Шишкин // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. – 2017. – Т. 117. – № 11. – С. 153-160.
11. Sasaoka, T. Dynamic parieto-premotor network for mental image transformation revealed by simultaneous EEG and fMRI measurement / T. Sasaoka, H. Mizuhara, T. Inui // *Journal of cognitive neuroscience*. – 2014. – Vol. 26. – № 2. – P. 232.
2. Bobrova E.V., Reshetnikova V.V., Frolov A.A., Gerasimenko Yu.P. Motor imagery of lower limbs movements to control brain-computer interface. *I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, 2020, no. 50, pp. 585-592. (in Russ.)
3. Kline A., Gaina Ghiraoga C., Pittman D., Goodyear B., Ronsky J. EEG differentiates left and right imagined Lower Limb movement. *Gait Posture*, 2021, no. 84, pp. 148-154.
4. Vedyasova O.A., Morenova K.A., Pavlenko S.I. Electroencephalographic and autonomic correlates of imaginary and real movements of legs in right-handers and left-handers. *Human Physiology*, 2022, no. 48, pp. 516-525.
5. Markina L.D., Barkar A.A. Interhemispheric asymmetry of the brain: morphological and physiological aspects. *Pacific Medical Journal*, 2014, vol. 1, pp. 66-70. (in Russ.)
6. Wang J., Bi L., Fei W., Tian K. EEG-based continuous hand movement decoding using improved center-out paradigm. *IEEE Trans. Neural. Syst. Rehabil. Eng.*, 2022, vol. 30, pp. 2845-2855.
7. Pfuertscheller G., Solis-Escalante T., Barry R.J., Klobassa D.S., Neuper C., Müller-Putz G.R. Brisk heart rate and EEG changes during execution and withholding of cue-paced foot motor imagery. *Front. Hum. Neurosci.*, 2013, no. 7, p. 379.
8. Aleksandrov S.G., Kolbovskaya T.M., Gubina M.I. Vegetative homeostasis indices in people with various types of brain hemispheric dominance. *Siberian Medical Journal*, 2014, vol. 128, no. 5, pp. 52-54. (in Russ.)
9. Zhavoronkova L.A. Right-handers – left-handers: interhemispheric asymmetry of the human brain's electric activity. Moscow: Nauka, 2006. 222 p. (in Russ.)
10. Basantsova N.Yu., Tibekina L.M., Shishkin A.N. A role of the autonomic nervous system in cerebro-cardiac disorders. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova*, 2017, vol. 117, no. 11, pp. 153-160. (in Russ.)
11. Sasaoka T., Mizuhara H., Inui T. Dynamic parieto-premotor network for mental image transformation revealed by simultaneous EEG and fMRI measurement. *Journal of cognitive neuroscience*, 2014, vol. 26, no. 2, p. 232.

## REFERENCES

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Ксения Александровна Моренова** – аспирант кафедры физиологии человека и животных ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Самара, e-mail: morenova\_ks@mail.ru.

**Ольга Александровна Ведясова** – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Самара, e-mail: o.a.vedyasova@gmail.com.

**Снежанна Ивановна Павленко** – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», доцент кафедры медико-биологических дисциплин Частного учреждения образовательной организации высшего образования «Медицинский университет «Реавиз», Самара, e-mail: pavlenko.snezhanna@mail.ru.

**Ирина Геннадьевна Кретова** – доктор медицинских наук, профессор кафедры физиологии человека и животных ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», Самара, e-mail: igkretova@gmail.com.

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Ksenia Aleksandrovna Morenova** – Post-Graduate Student, Department of Human and Animal Physiology, Samara University, Samara, e-mail: morenova\_ks@mail.ru.

**Olga Aleksandrovna Vedyasova** – Doctor of Biological Sciences, Professor, of the Department of Human and Animal Physiology, Samara University, Samara, e-mail: o.a.vedyasova@gmail.com.

**Snezhanna Ivanovna Pavlenko** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Human and Animal Physiology, Samara University; Associate Professor of the Department of Biomedical Disciplines, REAVIZ Medical University, Samara, e-mail: pavlenko.snezhanna@mail.ru.

**Irina Gennad'evna Kretova** – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Human and Animal Physiology, Samara University, Samara, e-mail: igkretova@gmail.com.

**Для цитирования:** Влияние профиля моторного доминирования на электроэнцефалограмму и вариабельность сердечного ритма при воображении и выполнении сложных движений ногами / К. А. Моренова, О. А. Ведясова, С. И. Павленко, И. Г. Кретова // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_16

**For citation:** Morenova K.A., Vedyasova O.A., Pavlenko S.I., Kretova I.G. Influence of motor dominance profile on electroencephalogram and heart rate variability while imagining and performing complex leg movements. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_16

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_17  
УДК 612.176.4

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_17  
UDC 612.176.4

## **ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ УМСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕАКТИВНОСТИ ПАРАСИМПАТИЧЕСКОГО ОТДЕЛА ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ**

**Т.М. Николаева, Е.К. Голубева**

ФГБОУ ВО ИвГМА Минздрава России, г. Иваново, Россия

**Аннотация.** Цель исследования – изучить влияние физической нагрузки на умственную работоспособность и вариабельность сердечного ритма при когнитивной деятельности у студентов с разной реактивностью парасимпатической нервной системы. Умственная нагрузка приводит к активации симпатической системы. Изменение показателей вариабельности сердечного ритма не зависит от типа парасимпатической реактивности. Предварительная физическая нагрузка сопровождается уменьшением стимулирующего эффекта умственной деятельности на симпатические механизмы регуляции. У лиц с низкой парасимпатической реактивностью напряжение регуляторных механизмов более выражено. Физическая активность приводит к снижению умственной работоспособности и развитию утомления вне зависимости от парасимпатической реактивности.

**Ключевые слова:** умственная деятельность, физическая нагрузка, вариабельность сердечного ритма, вегетативная нервная система.

## **INFLUENCE OF PHYSICAL LOAD ON HEART RATE VARIABILITY DURING MENTAL ACTIVITY DEPENDING ON THE REACTIVITY OF THE PARASYMPATHETIC DIVISION OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM**

**T.M. Nikolaeva, E.K. Golubeva**

Ivanovo State Medical Academy, Ivanovo, Russia

**Annotation.** The purpose of the study is to examine the effect of physical activity on mental performance and heart rate variability in cognitive work of students with different reactivity of the parasympathetic nervous system. Mental stress leads to the sympathetic system's activation. The change in heart rate variability parameters does not depend on the type of parasympathetic reactivity. Preliminary physical activity is accompanied by a decrease in the stimulating effect of mental activity on the sympathetic mechanisms of regulation. In people with low parasympathetic reactivity, the tension of regulatory mechanisms is more pronounced. Physical activity leads to a decrease in mental performance and the development of fatigue, regardless of parasympathetic reactivity.

**Keywords:** mental activity, physical activity, heart rate variability, autonomic nervous system.

**Введение.** Учебный процесс в высшей школе вызывает напряжение приспособительных реакций у студентов [1]. Систематические умственные нагрузки, низкая двигательная активность влияют на адаптационные возможности организма, приводят к рассогласованию механизмов вегетативной регуляции и характеризуются снижением работоспособности, развитием утомления. Поэтому актуальными являются оптимизация двигательной активности и

объективная оценка суммарного влияния умственных и физических нагрузок на механизмы, обеспечивающие адаптацию к учебной деятельности [2]. В значительной мере адаптивные способности организма зависят от состояния системы кровообращения, которая является связующим звеном во взаимоотношении механизмов нейрогуморальной регуляции. Для оценки адаптивных резервов и диагностики функционального состояния регуляторных систем используют

метод анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) [3]. Изменения параметров ВСР при физической и умственной деятельности зависят от степени напряжения и индивидуальных особенностей реактивности вегетативной нервной системы (ВНС) [4]. Согласно литературным данным, специфика приспособления юношей к умственной нагрузке связана с активацией парасимпатического отдела ВНС [5]. Однако в результате физической активности происходит смещение симпато-парасимпатического баланса, что может изменить характер адаптационных реакций на последующую умственную нагрузку [6]. В связи с этим актуальным также является исследование влияния мышечной деятельности на когнитивные способности и функциональное состояние сердечно-сосудистой системы в зависимости от особенностей реакции вегетативной нервной системы.

Цель исследования – изучить влияние физической нагрузки на умственную работоспособность и ВСР при когнитивной деятельности у студентов с разной реактивностью парасимпатической нервной системы.

**Методы и организация исследования.** В исследовании приняли участие 35 студентов-добровольцев мужского пола с нормальным физическим развитием и двигательным режимом. Средний возраст испытуемых составил  $20,50 \pm 0,3$  г, масса тела –  $75,80 \pm 4,40$  кг, рост –  $177,50 \pm 3,90$  см. В качестве физической нагрузки применяли Гарвардский степ-тест: испытуемый выполнял подъемы на ступеньку высотой 25 см в течение 5 минут. Количество подъемов в 1 минуту устанавливалось в зависимости от массы тела и мощности нагрузки (600 кг·м/мин). Умственную нагрузку моделировали с помощью корректурной пробы, по результатам которой рассчитывали количество правильных ответов (N, %), количество пропущенных ответов (P, %), производительность внимания (A, знаков/с), точность работы (T, усл.ед.), коэффициент умственной продуктивности (E, знаков),

умственную работоспособность (Au, знаков/с), устойчивость концентрации внимания (Ku, усл.ед), скорость переработки информации (Q, бит/с) и время выполнения теста (t, с).

Вариабельность сердечного ритма исследовали с помощью комплекса «Поли-Спектр» («Нейрософт», Иваново). Кардиоритмограмму записывали в течение 5 минут в положении сидя до и после выполнения нагрузочных проб в соответствии с Международным стандартом. Определяли следующие показатели ВСР: частота сердечных сокращений (HR, уд/мин), средняя длительность интервалов R-R (RRNN, мс), стандартное отклонение SD величин нормальных интервалов R-R (SDNN, мс), количество пар соседних интервалов, различающихся более, чем на 50 мс, полученное за весь период записи (pNN50, %), общая мощность спектра (TP, мс<sup>2</sup>), нормированная мощность низких частот (LFnorm, усл.ед.), нормированная мощность высоких частот (HFnorm, усл.ед.), коэффициент симпато-вагусного баланса (LF/HF, усл.ед.), мощность высокочастотных (HF, мс<sup>2</sup>), низкочастотных (LF, мс<sup>2</sup>) и очень низкочастотных (VLF, мс<sup>2</sup>) колебаний, индекс централизации (IC, усл.ед.), показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР, усл.ед.), индекс напряжения (ИН, усл.ед.), индекс активации подкорковых нервных центров (ИАП, усл.ед.). Исследовали ВСР при умственной нагрузке (далее – умственная нагрузка 1) и ее особенности после предварительной мышечной деятельности (далее – умственная нагрузка 2). Рассчитывали величину отклонения параметров ВСР ( $\Delta$ ) при выполнении нагрузочных проб. Реактивность парасимпатической системы оценивали по коэффициенту K30:15. 68% испытуемых имели нормальную парасимпатическую реактивность (K30:15 составлял 1,25-1,75), 32% – низкую (K30:15 находился в диапазоне 1-1,25).

Для статистической обработки результатов применяли программы Excel, Statistica, MedCalc. Нормальность



распределения в выборках оценивали по критериям Колмогорова-Смирнова (с поправкой Лиллиефорса) и Шапиро-Уилка. В случае отсутствия нормального распределения использовали непараметрические критерии Вилкоксона и Манна-Уитни. Количественные показатели описывали с помощью значений медианы (Me), нижнего (Q1, 25% перцентиль) и верхнего (Q3, 75% перцентиль) квартилей. Различия считались достоверными при  $p \leq 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Исследование изменения ВСР при умственной нагрузке позволило выявить увеличение ЧСС, LFnorm, LFmc<sup>2</sup>, LF/HF и SI, что свидетельствует об активации симпатической системы (табл. 1). Увеличение ПАПР и ИАП характеризует высокую активность подкорковых центров регуляции сердечной деятельности [7]. Уменьшение RRNN, pNN50%, TP, HFnorm, HFmc<sup>2</sup> сопряжено с уменьшением парасимпатических влияний на работу сердца и подтверждает напряжение механизмов регуляции.

Умственная деятельность после предварительной физической нагрузки сопровождается снижением ЧСС, LFnorm, LF/HF, ИН на фоне повышения значений RRNN, TP, HFnorm, HF%, HFmc<sup>2</sup> с одновременным увеличением LFmc<sup>2</sup>. Это может быть связано с уменьшением активности центрального контура регуляции в результате адаптационного эффекта последовательных нагрузок [8]. Отмечается снижение активности высших вегетативных центров управления, способствующих торможению симпатической реакции на умственную нагрузку, выполняемую непосредственно после физической. Умственная нагрузка 1 приводит к более выраженному уменьшению мощности компонента VLF (-763,00 [459,00; 1541,00] мс<sup>2</sup>), чем при умственной нагрузке 2 (-511,00 [200,00; 813,00] мс<sup>2</sup>) ( $p=0,0139$ ). Это может свидетельствовать о более высоком напряжении и менее рациональной работе регуляторных механизмов при умственной нагрузке 1 по сравнению с умственной нагрузкой 2.

У испытуемых с нормальной и низкой парасимпатической реактивностью наблюдаются сходные изменения ВСР под влиянием умственной нагрузки 1 (табл. 2). Увеличение ЧСС, LFnorm, LFmc<sup>2</sup>, LF/HF, IC и ИН подтверждает возбуждение симпатической системы в результате когнитивной деятельности. У испытуемых с низкой реактивностью SDNN снижается до 54,00 [47,00;75,00] по сравнению с 57,50 [42,00;64,00] в контроле ( $p < 0,0001$ ), что связано с высоким напряжением функциональных резервов и уменьшением степени вагусных влияний на сердечный ритм. У испытуемых с нормальной парасимпатической реактивностью SDNN после корректурной пробы не изменяется. Уменьшение показателей TP, HFnorm, HFmc<sup>2</sup> свидетельствует о состоянии повышенного напряжения, централизации управления сердечным ритмом и минимизации парасимпатических влияний у испытуемых обеих групп [9].

Анализ ВСР по окончании умственной нагрузки 2 позволил выявить тенденцию к восстановлению парасимпатических влияний в регуляции сердечной деятельности. Так, ЧСС у лиц с низкой реактивностью снижается до 88,25 [87,00;93,70] при 94,85 [86,70;100,90] в контроле ( $p=0,0023$ ), а у испытуемых с нормальной парасимпатической реактивностью – до 81,20 [76,10;86,90] при 87,70 [82,90;91,80] в контроле ( $p=0,0163$ ). LFnorm у лиц с низкой реактивностью уменьшается с 64,15 [58,40;84,10] до 57,90 [52,70; 60,60] ( $p=0,0452$ ), а при нормальной реактивности не изменяется. Однако в группе с нормальной реактивностью парасимпатической системы после умственной нагрузки LF уменьшается до 1107,00 [607,00;1523,00] по сравнению с 1471,00 [991,00;2784,00] в контроле ( $p=0,0483$ ), а HF возрастает до 1056,00 [721,00; 1238,00] при 505,00 [366,00;880,00] в контроле ( $p=0,0107$ ), что может указывать на снижение активности симпатической системы.

Таблица 1

Вариабельность сердечного ритма при умственной нагрузке, Ме [Q1; Q3]

Показатель	Умственная нагрузка 1		Умственная нагрузка 2	
	Контроль (n=35)	Умственная нагрузка (n=35)	Контроль (n=35)	Умственная нагрузка (n=35)
HR, уд/мин	71,50 [68,50; 76,50]	78,50 [73,80; 84,80] *p<0,0001	86,90 [80,60; 95,40]	83,900 [75,30; 88,40] *p<0,0001
RRNN, мс	814,00 [716,00; 862,00]	754,00 [664,00; 803,00] *p=0,0001	689,00 [625,00; 772,00]	706,00 [670,00; 804,00] *p=0,0003
TP, мс <sup>2</sup>	5194,00 [4118,00; 6918,00]	3949,00 [2670,00; 5636,00] *p=0,0084	3261,00 [1831,00; 5177,00]	4300,00 [2769,00; 5962,00] *p=0,0280
LFnorm, усл.ед.	38,20 [28,70; 46,30]	71,10 [59,00; 78,10] *p<0,0001	66,00 [58,80; 77,30]	61,60 [55,50; 71,80] *p=0,0201
HFnorm, усл.ед.	58,80 [51,60; 69,80]	32,00 [25,90; 44,60] *p<0,0001	34,60 [22,70;43,20]	39,30 [29,40; 43,50] *p=0,0179
LF/HF, усл.ед.	0,64 [0,44; 0,83]	2,26 [1,40; 3,40] *p<0,0001	2,29 [1,50; 3,560]	1,68 [1,43; 2,47] *p=0,0167
HF, мс <sup>2</sup>	1907,00 [1251,00; 2818,00]	993,00 [482,00; 1283,00] *p<0,0001	546,00 [367,00; 1305,00]	1055,00 [691,00;1288,00] *p=0,0280
LF, мс <sup>2</sup>	1188,00 [759,00; 1649,00]	1476,00 [944,00; 2339,00] *p=0,0179	1343,00 [806,00;2161,00]	1566,00 [1057,00; 2784,00] *p=0,0061
ИН, усл.ед.	38,50 [28,20; 66,97]	88,80 [49,00; 132,80] *p<0,0001	132,20 [74,80; 213,70]	99,80 [56,10; 142,80] *p=0,001
ПАПР, усл.ед.	45,60 [31,50; 62,90]	56,20 [42,30; 73,20] *p=0,0173	66,50 [51,60; 90,20]	55,50 [45,30; 74,90] *p=0,0024
ИАП, усл.ед.	1,10 [0,70; 1,60]	1,70 [0,80; 2,90] *p=0,0132	1,90 [1,50; 3,30]	1,40 [0,90; 1,80] *p=0,028

Примечание: HR – частота сердечных сокращений; RRNN – средняя длительность интервалов R-R; TP – общая мощность спектра; LFnorm – нормированная мощность низких частот; HFnorm – нормированная мощность высоких частот; LF/HF – коэффициент симпатовагусного баланса; HF – мощность высокочастотных колебаний; LF – мощность низкочастотных колебаний; ИН – индекс напряжения; ПАПР – показатель адекватности процессов регуляции; ИАП – индекс активации подкорковых нервных центров; \* – статистически значимые различия с контролем (p≤0,05)

Таблица 2

Вариабельность сердечного ритма при умственной нагрузке в зависимости от реактивности парасимпатической системы Me [Q1; Q3]

Показатель	Низкая реактивность		Нормальная реактивность	
	Контроль (n=11)	Умственная нагрузка 1 (n=11)	Контроль (n=22)	Умственная нагрузка 1 (n=22)
HR, уд/мин	75,70 [73,80; 79,70]	84,10 [80,20; 85,80] *p=0,0041	72,10 [69,40; 74,80]	76,80 [72,60; 85,90] *p=0,0236
TP, мс <sup>2</sup>	5092,00 [3891,00; 6744,00]	3061,00 [2809,00; 5637,00] *p=0,049	5193,00 [4159,00; 6377,00]	3950,00 [2312,00; 5090,00] *p=0,0296
LFnorm, усл.ед.	34,20 [28,10; 40,20]	74,50 [63,30; 79,20] *p<0,0001	37,20 [27,70;45,30]	67,80 [54,40; 72,50]
HFnorm, усл.ед.	62,80 [56,50; 69,30]	27,30 [21,90; 36,70] *p=0,0001	62,30 [53,40;68,70]	36,10 [28,00;47,10] *p<0,0001
LF/HF, усл.ед.	0,58 [0,44; 0,76]	2,49 [1,72; 3,43] *p<0,0001	0,60 [0,46;0,83]	2,10 [1,38; 2,64] *p<0,0001
HF, мс <sup>2</sup>	1849,50 [1383,00; 2294,00]	995,00 [481,00;1282,00] *p=0,0029	1906,00 [1252,00; 2817,00]	915,00 [561,00; 1252,00] *p<0,0001
IC, усл.ед.	1,60 [1,51; 2,08]	3,57 [2,40; 5,58] *p=0,0029	1,47 [1,22; 2,38]	3,46 [1,96; 5,06] *p= 0,0023
ИН, усл.ед.	34,40 [25,07; 69,80]	91,93 [49,91; 153,92] *p=0,0059	41,47 [30,51; 52,03]	82,82 [43,82; 125,66] *p=0,0003

Примечание: HR – частота сердечных сокращений; RRNN – средняя длительность интервалов R-R; TP – общая мощность спектра; LFnorm – нормированная мощность низких частот; HFnorm – нормированная мощность высоких частот; LF/HF – коэффициент симпатовагусного баланса; HF – мощность высокочастотных колебаний; IC – индекс централизации; ИН – индекс напряжения; \* – статистически значимые различия с контролем (p≤0,05)

Степень отклонения большинства временных ( $\Delta RRNN$ ,  $\Delta SDNN$ ,  $\Delta pNN50\%$ ) и спектральных показателей ( $\Delta LFnorm$ ,  $\Delta HFnorm$ ,  $\Delta LF/HF$ ,  $\Delta IC$ ) не имеет достоверных отличий в зависимости от реактивности парасимпатической системы. Однако у испытуемых с низкой реактивностью наблюдается более выраженное уменьшение  $VLF_{мс^2}$  в результате умственной нагрузки 2 (-1125,00 [918,00;1809,00]), чем при нормальной реактивности (-593,00 [374,00;961,00]) (p=0,0160). Это может быть связано с напряжением

регуляторных механизмов, их недостаточностью и ухудшением функционального состояния [10]. У испытуемых с низкой реактивностью прирост  $SDNN$  после умственной нагрузки 2 составляет 14,50 [12,00;25,00], что больше, чем при нормальной реактивности (8,00 [5,00;20,00]) (p=0,0494). Это может быть обусловлено повышенным напряжением регуляторных механизмов и большей степенью влияния симпатического отдела. Увеличение  $pNN50$  при нормальной реактивности составляет 5,70 [1,30;11,70], что больше, чем при

низкой (1,55 [0,70;4,20]) ( $p=0,027$ ), и возможно, связано с нормализацией вагусной активности.

Физическая нагрузка приводит к снижению когнитивных способностей испытуемых (табл. 3).

Таблица 3

Влияние физической нагрузки на умственную работоспособность, Ме [Q1; Q3]

Показатель корректурной пробы	Умственная нагрузка 1 (n=35)	Умственная нагрузка 2 (n=35)
N, %	97,92 [95,80;100,00]	89,77 [84,90;95,00] * $p<0,0001$
P, %	0,00 [0,00;4,20]	8,72 [5,00;11,80] * $p<0,0001$
t, с	149,50 [126,00;171,00]	217,00 [189,00;250,00] * $p<0,0001$
A, знаков/с	8,93 [7,80;10,59]	6,15 [5,03;7,06] * $p<0,0001$
T, усл.ед.	1,00 [0,95;1,00]	0,89 [0,87;0,93] * $p<0,0001$
Au, знаков/с	8,39 [7,50;10,59]	5,00 [4,25;5,41] * $p<0,0001$
Ku, усл.ед.	1334,00 [1267,00;1334,00]	428,17 [371,20;482,00] * $(p<0,0001)$
Q, бит/с	5,35 [4,77;6,38]	3,77 [3,26;4,09] * $p<0,0001$

Примечание: N – количество правильных ответов; P – количество пропущенных ответов; t – время выполнения теста; A – производительность внимания; T – точность работы; Au – умственная работоспособность; Ku – показатель устойчивости концентрации внимания; Q – скорость переработки информации; \* – статистически значимые различия с контролем ( $p\leq 0,05$ )

При умственной нагрузке 2 уменьшается количество верно выбранных ответов, увеличивается количество ошибок и пропущенных знаков, а также время выполнения корректурной пробы, что сопровождается уменьшением скорости переработки информации. Коэффициент умственной продуктивности, концентрация и устойчивость внимания также уменьшаются. Снижается точность выполнения работы, что связано с уменьшением сосредоточенности при прохождении теста и может свидетельствовать об утомлении. У испытуемых с нормальной и низкой парасимпатической реактивностью статистически значимые различия параметров умственной работоспособности отсутствуют.

**Заключение.** Умственная деятельность сопровождается активацией симпатических механизмов регуляции сердечного ритма. Влияние предварительной физической работы проявляется уменьшением стимулирующего эффекта когнитивной нагрузки на симпатическую систему. У лиц с низкой парасимпатической реактивностью при умственной деятельности более выражено напряжение регуляторных механизмов, что в большей степени проявляется после предшествующей физической нагрузки. Физическая активность приводит к снижению умственной работоспособности и развитию утомления вне зависимости от реактивности парасимпатической системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красникова, И. В. Психофизиологические показатели функционального состояния и успеваемость студентов / И. В. Красникова, А. И. Жарова // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2021. – № 4. – С. 47-56. DOI: 10.24412/2071-6176-2021-4-47-56.
2. Маслова, И. Н. Физическая культура в вузе: критерии оценок: учебное пособие /

- И. Н. Маслова, М. А. Ефремов. – Воронеж: ВГИФК, 2019. – 129 с.
3. Шлык, Н. И. Вариабельность сердечного ритма и методы ее определения у спортсменов в тренировочном процессе: методическое пособие / Н. И. Шлык. – Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2022. – 80 с.
4. Адамовская, О. Н. Изменение вегетативной регуляции сердечного ритма и уровня гормонов при умственной нагрузке у старших подростков

- / О. Н. Адамовская, И. В. Ермакова, Н. Б. Сельверова // Новые исследования. – 2017. – № 1(50). – С. 19-31.
5. Лукина, С. Ф. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма в процессе решения прогностической задачи у студентов северного вуза / С. Ф. Лукина, И. С. Чуб, А. П. Борейко // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2018. – Т. 15. – № 2. – С. 184-196. DOI: 10.22138/2500-0918-2018-15-2-184-196.
6. Влияние тренировочной работы на адаптационные характеристики организма / Похачевский А. Л., Голубева Н. К., Петров А. Б. [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2020. – № 11. – С. 100.
7. Ковалева, М. Е. Психофизиологические особенности регуляции эмоциональных реакций у специалистов опасных профессий / М. Е. Ковалева, В. Г. Булыгина // Психология и право. – 2017. – Т. 7. – № 1. – С. 53-67. DOI: 10.17759/psylaw.2017070105.
8. Балабохина, Т. В. Особенности вариабельности сердечного ритма в зависимости от типа вегетативной регуляции у мальчиков 8-12 лет при занятиях футболом / Т. В. Балабохина, Ф. Б. Литвин, М. В. Рудин // Современные вопросы биомедицины. – 2021. – Т. 5. – № 4(17). DOI: 10.51871/2588-0500\_2021\_05\_04\_12.
9. Пономарев, А. Е. Оперативный и текущий контроль методом вариационной кардиоинтервалометрии функционального состояния студентов 1 курса в процессе физкультурно-оздоровительных занятий / А. Е. Пономарев, И. А. Пономарева // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 1(18). DOI: 10.51871/2588-0500\_2022\_06\_01\_24.
10. Тишутин, Н. А. Вегетативный баланс в оценке функционального состояния организма / Н. А. Тишутин, Э. С. Питкевич, Т. Ю. Крестьянинова. – Витебск: Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, 2022. – 177 с. ISBN: 978-985-517-917-8.
- REFERENCES**
1. Krasnikova I.V., Zharova A.I. Psychophysiological indicators of functional state and academic performance of students. *Izvestiya Tula State University. Natural Sciences*, 2021, no. 4, pp. 47-56. DOI: 10.24412/2071-6176-2021-4-47-56. (in Russ.)
2. Maslova I.N., Efremov M.A. Physical culture at the university: assessment criteria: study guide: a study guide. Voronezh: Voronezh State Institute of Physical Culture, 2019. 129 p. (in Russ.)
3. Shlyk N.I. Heart rate variability and methods for its identification in athletes in the training process: a manual. Izhevsk: Udmurt State University, 2022. 80 p. (in Russ.)
4. Adamovskaya O.N., Ermakova I.V., Selverova N.B. Change in vegetative regulation of heart rate and level of hormones in senior adolescents involved into mental work. *Novye Issledovania*, 2017, no. 1 (50), pp. 19-31. (in Russ.)
5. Lukina S.F., Chub I.S., Borejko A.P. Features of vegetative regulation of heart rate in the process of solving the prognostic problem in students of northern high school. *Journal of Ural Medical Academic Science*, 2018, vol. 15, no. 2, pp. 184-196. DOI: 10.22138/2500-0918-2018-15-2-184-196. (in Russ.)
6. Pokhachevskij A.L., Golubeva N.K., Petrov A.B., Shuliko Yu.V., Kalinin A.V. Effect of training work on body adaptive characteristics. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2020, no. 11, p. 100. (in Russ.)
7. Kovaleva M.E., Bulygina V.G. Physiological characteristics of regulation of emotional responses among specialists of extreme profile. *Psikhologia i pravo*, 2017, vol. 7, no. 1, pp. 53-67. DOI: 10.17759/psylaw.2017070105. (in Russ.)
8. Balabokhina, T.V., Litvin F.B., Rudin M.V. Features of heart rate variability depending on the type of vegetative regulation in boys aged 8-12 years when playing soccer. *Modern Issues of Biomedicine*, 2021, vol. 5, no. 4 (17). DOI: 10.51871/2588-0500\_2021\_05\_04\_12.
9. Ponomarev, A. E. Operant and current control with the method of variational beat-to-beat detection of the functional state of 1st year students within process of physical culture and health-improving classes. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 1 (18). DOI 10.51871/2588-0500\_2022\_06\_01\_24. (in Russ.)
10. Tishutin N.A., Pitkevich E.S., Krestyaninova T.Yu. Autonomic balance in assessing the functional state of the body. Vitebsk: Vitebsk State University named after P.M. Masherov, 2022. 177 p. ISBN: 978-985-517-917-8. (in Russ.)

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Татьяна Михайловна Николаева** – старший преподаватель кафедры патофизиологии и иммунологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Иваново, e-mail: tania020480@yandex.ru.

**Елена Константиновна Голубева** – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры нормальной физиологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Иваново, e-mail: elkGol@yandex.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Tat'yana Mikhailovna Nikolaeva** – Senior Lecturer of the Department of Pathophysiology and Immunology, Ivanovo State Medical Academy, Ivanovo, e-mail: tania020480@yandex.ru.

**Elena Konstantinovna Golubeva** – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Normal Physiology, Ivanovo State Medical Academy, Ivanovo, e-mail: elkGol@yandex.ru.

**Для цитирования:** Николаева, Т. М. Влияние физической нагрузки на вариабельность сердечного ритма при умственной деятельности в зависимости от реактивности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы / Т. М. Николаева, Е. К. Голубева // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_17

**For citation:** Nikolaeva T.M., Golubeva E.K. Influence of physical load on heart rate variability during mental activity depending on the reactivity of the parasympathetic division of the autonomic nervous system. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_17

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_18  
УДК 612.81; 159.923.4

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_18  
UDC 612.81; 159.923.4

## ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СПОРТА

**С.В. Нопин, Ю.В. Корягина**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

**Аннотация.** Целью работы явилось теоретическое и экспериментальное исследование характеристик темперамента и свойств нервной системы у спортсменов различных видов спорта. В работе проводился контент-анализ научно-исследовательских работ российских и зарубежных ученых по проблемам психофизиологических особенностей, свойств темперамента и нервной системы у спортсменов. Свойства нервной системы и тип темперамента спортсменов определяли с помощью программы для ЭВМ «Определитель индивидуальной единицы времени» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2005611543; 23.06.2005). Исследование проведено у 553 спортсменов: 323 мужчин и 230 женщин (квалификация – от 1 разряда до мастера спорта международного класса). Проведенный анализ научно-исследовательских работ показывает противоречивые данные об особенностях функциональных свойств нервной системы у спортсменов различных видов спорта, однако в большинстве из них более высокая квалификация связывается с наличием сильной нервной системы и высокой функциональной подвижности нервных процессов. Подтверждается точка зрения, что задатками развития двигательных способностей являются типологические особенности проявления свойств нервной системы. Полученные экспериментальные данные типа темперамента и свойств нервной системы спортсменов по величине индивидуальной единицы времени показывают, что наиболее оптимальным вариантом темперамента для спортсменов является сангвинический.

**Ключевые слова:** темперамент, спортсмены, свойства нервной системы, единица времени, восприятие времени, теппинг-тест.

## TYPOLOGICAL FEATURES OF THE NERVOUS SYSTEMS PROPERTIES IN ELITE ATHLETES OF DIFFERENT SPORTS

**S.V. Nopin, Yu.V. Koryagina**

FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, Russia

**Annotation.** The purpose of the work – a theoretical and experimental study of features of temperament and the nervous system properties in athletes of different sports. The work included a content analysis of scientific articles from Russian and foreign scientists on issues of psychophysiological features, properties of temperament and the nervous system in athletes. The nervous system properties and the temperament type were identified with the “Individual time unit identifier” software (Program registration certificate no. 2005611543; 23.06.2005). The study included 553 athletes: 323 men and 230 women (qualification – 1<sup>st</sup> rank to the Master of Sports of International Class). The conducted analysis reveals contradictive data on features of the nervous system’s functional properties in athletes of different sports, however most of them conclude that higher qualification correlates with the strong nervous system and high functional mobility of nervous processes. It was also confirmed that the typological features of the nervous system properties are the basis for the development of motor abilities. The received experimental data show that the most favorable temperament type is sanguine.

**Keywords:** temperament, athletes, nervous system properties, time unit, time perception, tapping test.

**Введение.** По мнению большого количества ученых, типологические особенности проявления свойств нервной системы являются задатками развития двигательных способностей [1]. Однако в литературных источниках представлены очень различные результаты типологических свойств нервной системы у спортсменов различных видов спорта, часто противоречащих друг другу. Это связано как с контингентом исследованных спортсменов, отличающихся по квалификации, специализации и стажу занятий, так и с применением очень разных методик исследования. Часто, даже в настоящее время, для определения темперамента и свойств нервной системы специалисты используют метод анкетирования, не являющийся объективным в физиологических и психофизиологических исследованиях, особенно спортсменов, деятельность которых связана с острой конкуренцией, что часто обуславливает мотивацию скрывать особенности своих психоэмоциональных реакций. В то же время определение особенностей темперамента и свойств нервной системы у спортсменов различных видов спорта представляет научный интерес для физиологии труда и спорта и практический – в целях профессиональной ориентации и отбора в виды спорта и определения наиболее подходящего спортивного амплуа [2].

Целью работы явилось теоретическое и экспериментальное исследование характеристик темперамента и свойств нервной системы у спортсменов различных видов спорта.

**Методы и организация исследования.** В работе проводился контент-анализ научно-исследовательских работ российских и зарубежных ученых по проблемам психофизиологических особенностей, свойств темперамента и нервной системы у спортсменов. Анализировались научные статьи из российских (РИНЦ, Киберленинка) и зарубежных баз данных (Google scholar, Scopus). Свойства нервной системы и тип темперамента спортсменов определяли с помощью программы для ЭВМ

«Определитель индивидуальной единицы времени» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2005611543; 23.06.2005) [3-4]. Тест на определение индивидуальной единицы времени (ИЕВ) [5] построен на запоминании и затем воспроизведении одновременно светового и звукового стимула длительностью от 2000 до 6000 мс, появляющихся в случайном порядке. Согласно исследованиям Б.И. Цуканова (1985), конкретный индивид имеет свой индивидуальный «шаг» или свою собственную единицу переживания времени –  $\tau$ . Все ИЕВ  $\tau$  конкретных субъектов размещаются в едином непрерывном диапазоне, в стойких пределах  $0,7 \text{ с} \leq \tau \leq 1,1 \text{ с}$  [6].

Исследование типа темперамента и свойств нервной системы проведено у 553 спортсменов: 323 мужчин и 230 женщин. Квалификация – от 1 разряда до мастера спорта международного класса (МСМК). Спортивная специализация: лыжные гонки, волейбол, футбол, хоккей, спортивная гимнастика, греко-римская борьба, фехтование, плавание, тяжелая атлетика, дзюдо, самбо, керлинг, бадминтон, тхэквондо, подводный спорт, легкая атлетика (бег на короткие и средние дистанции), регби, альпинизм, водное поло, художественная гимнастика, фигурное катание, пулевая стрельба, бокс, сумо, стендовая стрельба, триатлон, бейсбол, настольный теннис, стрельба из арбалета, керлинг на колясках.

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программы Statistica 13.0. Проверка на нормальность распределения измеренных переменных проводилась по критерию Шапиро-Уилка. Результаты исследования представлены в виде медианы и квартилей (25-й и 75-й перцентили), распределение типов темперамента представлено в виде частот (%). Для сравнения независимых групп в связи с большим количеством ненормально распределенных данных были использованы непараметрические критерии: ранговый дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса (для сравнения более двух показателей спортсменов различных видов спорта),



критерий Ньюмена-Кейлса и Данна для межгрупповых непараметрических сравнений, U-критерий Манна-Уитни для дополнительного анализа (в случае, если не было выявлено достоверных различий с вероятностью 95% и более по критерию Краскела-Уоллиса) [7]. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез принимался не менее чем 0,05.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Теоретический анализ научно-исследовательских работ показал следующее: в большинстве из них авторами выявлено, что среди спортсменов преобладает сангвинический темперамент и сильный уравновешенный тип нервной системы. Так, в работе Grigore и соавт. [8] изучалось значение характеристик темперамента в тренировочном процессе тхэквондистов. В исследовании приняло участие 39 испытуемых, кадеты и юниоры, средний возраст – 16,2 лет. Диагностика, проведенная с помощью опросника Бергера (1964), выявила, что большинство тхэквондистов имеют сангвинический темперамент (42%), 28% имеют «аморфный» темперамент (меланхолики), 11% – флегматики, и только 8% из них холерики. Специалисты Академии физического воспитания Евгения Пясецкого в Познани (Польша) [9] при исследовании 116 фехтовальщиков в возрасте от 14 до 32 лет с помощью опросника Стреляу определили у них низкий уровень реактивности, высокий уровень подвижности нервных процессов и силы тормозных процессов.

В работах отечественных ученых инструментальные методики используются чаще. Как правило, для реализации таких целей исследования российские специалисты применяют теппинг-тест, определяющий максимальную частоту движений как характеристику лабильности (подвижности) нервных процессов и ее динамики во времени, что позволяет характеризовать свойства нервной системы по шкале «сила-слабость» [10].

Исследование квалифицированных спортсменов, занимающихся хоккеем с шайбой и тхэквондо, с помощью теппинг-теста позволило установить высокий уровень показателей, характеризующих нервные процессы: силы, подвижности, выносливости, лабильности. Большинство спортсменов продемонстрировали высокую устойчивость к утомлению и толерантную стратегию адаптации к нагрузке [11].

В другом исследовании практически у всех спортсменов установлен сильный тип нервной системы с одинаково хорошо развитыми процессами возбуждения и торможения [12].

Также ученые отмечают, что с повышением квалификации растет сила и выносливость нервной системы, а также способность спортсменов воспроизводить ритм по памяти: спортсмены более высокой квалификации лучше справлялись с этим заданием [13].

Исследование свойств темперамента у велосипедистов, занимающихся маунтинбайком, позволило сделать вывод, что в данном виде спорта в большей степени проявляется сангвинический тип темперамента с нервной системой, обладающей силой средней величины, с высоким уровнем энергичности, пластичности и темпом, но с низким уровнем контроля [14].

Исследование вызванных потенциалов мозга и времени реакции бадминтонистов показало значимые отличия от неспортсменов по осуществлению «тормозного контроля» – способности быстро подавлять запланированное движение [15], что объясняется повышением эффективности нейронных механизмов в результате долговременной адаптации к специфическим спортивным занятиям [16].

Результаты исследований Балюк (2015) показали, что наибольшей силой нервной системы обладают хоккеисты и студенты, занимающиеся циклическими видами спорта, самые низкие показатели у неквалифицированных спортсменов [17]. Также ученые отмечают, что с повышением

квалификации растет сила и выносливость нервной системы и способность спортсменов воспроизводить ритм по памяти: спортсмены более высокой квалификации лучше справлялись с этим заданием [13].

Исследователи из Турции [18] сравнили результаты теппинг-теста высококвалифицированных спортсменов и студентов факультета искусства – 144 испытуемых, средний возраст –  $22,4 \pm 2,7$  лет. Было выявлено, что у спортсменов количество нажатий было больше, чем у испытуемых других групп за тот же период времени (20 секунд).

Ранее учеными было отмечено, что чем сильнее раздражитель, тем меньше преимуществ у представителей со слабым типом в проявлении реакции [10]. Это подтверждается и в современных исследованиях. Так, Leżnička с соавт. [19] дали характеристику темперамента спортсменов-единоборцев в сравнении с неспортсменами, используя холодовой прессорный тест и тест порога болевой чувствительности к давлению. В исследовании приняло участие 284 здоровых мужчин, возраст – 18-43 лет. Болевой порог и болевая переносимость оценивались с помощью холодового прессорного теста и алгометра. Темперамент был определен с помощью опросника Стреляу. Как показало исследование, более высокий уровень переносимости боли у спортсменов был связан с сильным типом нервной системы.

Проанализированные работы свидетельствуют о неоднозначности исследовательских данных и высказываний авторов о прямой взаимосвязи свойств нервной системы с успешностью в разных видах спорта. Скорее всего, успешность связана с наибольшими характеристиками одновременно и силы, и лабильности, и уравновешенности [20].

В работах российских исследователей используется и другой тест на определение

свойств нервной системы, основанный на определении индивидуальной единицы времени (ИЕВ) [6, 21-25], а одновременное использование и сопоставление теппинг-теста и теста на определение ИЕВ показало большую применимость ИЕВ для решения задач на определение свойств нервной системы и типа темперамента [20].

Проведенные нами исследования свойств нервной системы спортсменов высокой квалификации (табл. 1) с помощью методики определения ИЕВ показывают, что по медианным групповым значениям все спортсмены принадлежали к одному типу темперамента – сангвиническому (сангвиник и равновесный сангвиник) и характеризовались следующими характеристиками: высокой экстраверсией и нейротизмом, высоким уровнем возбуждения и торможения, уравновешенностью возбуждения и торможения. Между всеми группами спортсменов величины ИЕВ статистически значимо различались ( $p < 0,01$ ). Больше количество различий с другими видами спорта по критерию Данна было у волейболистов (3 различия), спортивных гимнастов (3), боксеров (2), стрелков из арбалета (2) и стендовых стрелков (2).

Для более точной характеристики всех спортсменов, помимо медианных значений, мы также анализировали и долевое распределение всех спортсменов по принадлежности к типу нервной системы, которое представлено в таблице 2. Представленное распределение также подтверждает данные средних значений о преобладании среди высококвалифицированных спортсменов лиц с сильной уравновешенной и подвижной нервной системой (сангвинический темперамент). По всем видам спорта среди спортсменов высокой квалификации преобладают сангвиники, их доля составила 70%.

Таблица 1

Длительность индивидуальной единицы времени, тип темперамента и характеристики свойств нервной системы у спортсменов различных видов спорта, усл.ед.

№ п/п	Вид спорта (n)	Длительность индивидуальной единицы времени*, усл.ед.	Характеристика свойств нервной системы
1	Лыжные гонки (ж=6)	0,79 (0,73; 0,83)	Сангвинический темперамент. Высокая экстраверсия и нейротизм, высокий уровень возбуждения и торможение, уравновешенность возбуждения и торможения.
2	Волейбол (м=12)	0,82 (0,73; 0,86)	
3	Спортивная гимнастика (м=10, ж=14)	0,83 (0,78; 0,88)	
4	Хоккей (м=14)	0,84 (0,76; 0,91)	
5	Греко-римская борьба (м=24)	0,84 (0,79; 0,90)	
6	Футбол (м=7)	0,86 (0,74; 0,88)	
7	Фехтование (м=4, ж=2)	0,86 (0,83; 0,87)	
8	Бадминтон (м=6, ж=6)	0,86 (0,83; 0,90)	
9	Тяжелая атлетика (м=18, ж=11)	0,86 (0,80; 0,90)	
10	Подводный спорт (м=6, ж=6)	0,86 (0,84; 0,90)	
11	Дзюдо, самбо (ж=13)	0,88 (0,83; 0,89)	Равновесный тип, сангвинический темперамент. Высокая экстраверсия и нейротизм, средний уровень возбуждения и торможение, уравновешенность возбуждения и торможения.
12	Тхэквондо (м=4, ж=5)	0,88 (0,84; 0,94)	
13	Легкая атлетика (бег на короткие и средние дистанции) (м=7, ж=4)	0,88 (0,84; 0,90)	
14	Фигурное катание (ж=18)	0,88 (0,87; 0,95)	
15	Альпинизм (м=10, ж=4)	0,88 (0,85; 0,90)	
16	Керлинг (м=6, ж=10)	0,89 (0,84; 0,92)	
17	Триатлон (м=4, ж=8)	0,89 (0,88; 0,93)	
18	Плавание (м=8, ж=1)	0,90 (0,80; 0,93)	
19	Водное поло (м=19)	0,90 (0,85; 0,93)	
20	Бокс (м=39, ж=8)	0,90 (0,85; 0,97)	
21	Художественная гимнастика (ж=51)	0,90 (0,86; 0,92)	
22	Регби (м=9)	0,91 (0,85; 0,92)	
23	Керлинг на колясках (м=6)	0,91 (0,86; 0,93)	
24	Пулевая стрельба (м=35, ж=22)	0,91 (0,85; 0,95)	
25	Стендовая стрельба (м=25, ж=23)	0,91 (0,86; 0,95)	
26	Сумо (м=6, ж=11)	0,92 (0,87; 1,00)	
27	Бейсбол (м=25)	0,92 (0,87; 0,96)	
28	Настольный теннис (м=13)	0,93 (0,85; 0,96)	
29	Стрельба из арбалета (м=6, ж=7)	0,94 (0,91; 0,97)	
Количество и № групп, различающихся по критерию Данна со значимостью не менее 0,05		6 (2-20; 2-25; 2-29; 3-20; 3-25; 3-29)	-

Примечание: значимость различий рассчитана критериями Краскела-Уоллиса (\* –  $p < 0,01$ , различия между всеми группами достоверны) и Данна, м – мужчины, ж – женщины. Данные описаны в виде медиан и квартилей

Таблица 2

Распределение типов темперамента, характеризующих свойства нервной системы,  
у спортсменов различных видов спорта, в %

Группы спортсменов	Холерик	Сангвиник	Равновесный сангвиник	Меланхолик	Флегматик	Сангвиник, всего
Лыжные гонки (ж=6)	33	50	17	0	0	67
Футбол (м=7)	43	14	43	0	0	57
Волейбол (м=12)	42	33	25	0	0	58
Хоккей (м=14)	29	36	36	0	0	71
Спортивная гимнастика (м=10, ж=15)	25	38	29	8	0	67
Греко-римская борьба (м=25)	20	44	28	8	0	72
Фехтование (м=4, ж=2)	0	67	33	0	0	100
Плавание (м=8, ж=1)	22	22	44	11	0	67
Художественная гимнастика (ж=51)	4	29	47	14	6	76
Тяжелая атлетика (м=18, ж=11)	21	31	38	7	3	69
Легкая атлетика (бег на короткие и средние дистанции) (м=7, ж=4)	14	29	43	7	7	71
Дзюдо, самбо (ж=13)	0	46	46	8	0	92
Керлинг (м=6, ж=10)	13	25	50	13	0	75
Бадминтон (м=6, ж=6)	17	42	25	17	0	67
Тхэквондо (м=4, ж=5)	0	22	78	0	0	100
Подводный спорт (м=6, ж=6)	8	50	25	8	8	75
Керлинг на колясках (м=6)	17	17	50	17	0	67
Регби (м=9)	11	33	56	0	0	89
Альпинизм (м=10, ж=4)	7	36	50	0	7	86
Пулевая стрельба (м=35, ж=22)	9	25	39	23	5	63
Бокс (м=39, ж=8)	4	26	38	19	13	64
Стендовая стрельба (м=25, ж=23)	0	27	46	23	4	73
Настольный теннис (м=13)	0	23	38	23	15	62
Сумо (м=9, ж=6)	0	27	47	20	7	73
Триатлон (м=4, ж=2)	0	33	33	33	0	67
Бейсбол (м=26)	8	24	36	16	16	60
Стрельба из арбалета (м=6, ж=7)	0	23	38	38	0	62
Фигурное катание (ж=18)	0	33	39	22	6	72
Водное поло (м=19)	11	32	42	11	5	74
Итого (553)	10	30	40	15	5	70
Итого женщины (ж=230)	7	32	43	14	4	75
Итого мужчины (м=323)	13	29	37	16	6	66

Примечание: м – мужчины, ж – женщины

**Заключение.** Теоретический контент-анализ научно-исследовательских работ российских и зарубежных ученых показывает наличие противоречивых данных об особенностях функциональных свойств нервной системы у спортсменов различных видов спорта, однако в большинстве из них более высокая квалификация связывается с наличием сильной нервной системы и высокой функциональной подвижностью нервных процессов. Подтверждается точка зрения, что задатками развития двигательных способностей являются типологические особенности проявления свойств нервной системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Историогенез свойств нервной системы спортсменов / К. И. Юрова, И. А. Юров, Л. Э. Семенова, И. В. Иванова // Инновационные подходы в решении проблем современного общества. – 2018. – С. 164-172.
2. Туровский, В. Ф. Психофизиологические особенности футболистов различного игрового амплуа / В. Ф. Туровский, Ю. В. Корягина, В. А. Блинов // Теория и практика физической культуры. – 2013. – № 7. – С. 68-72.
3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Определитель индивидуальной единицы времени: № 2005611543; заявл. 9.03.2005; опублик. 23.06.2005 / Корягина Ю. В., Нопин С. В.
4. Разработка автоматизированных систем диагностики и анализа различных компонентов подготовленности спортсмена / Ю. В. Корягина, С. В. Нопин, В. А. Блинов, О. А. Блинов // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 8. – С. 101-104.
5. Цуканов, Б. И. Время в психике человека / Б. И. Цуканов. – Одесса: АстроПринт, 2000. – 218 с.
6. Цуканов, Б. И. Анализ ошибки восприятия длительности / Б. И. Цуканов // Вопросы психологии. – 1985. – № 3. – С. 149-153.
7. Гржибовский, А. М. Сравнение количественных данных трех и более независимых выборок с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS: параметрические и непараметрические критерии / А. М. Гржибовский, С. В. Иванов, М. А. Горбатова // Наука и здравоохранение. – 2016. – № 4. – С.5-37.
8. Implications of Temperament Characteristics in the Educational Process of Taekwondo Sportsmen / V. Grigore, G. Mitrache, M. Păunescu, C. Păunescu // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2015. – Vol. 191. – pp. 1293-1298. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.301>.
9. Gracz, J. Selected temperamental properties and achievement motivation of fencers / J. Gracz, M. Tomczak // Studies in physical culture and tourism. – 2008. – Vol. 15. – № 2. – pp. 109-118. URL: <https://www.wbc.poznan.pl/dlibra/publication/77978/edition/92415/content> (дата обращения: 23.12.2022)
10. Ильин, Е. П. Психомоторная организация человека / Е. П. Ильин. – М., 2003. – 384 с.
11. Особенности функционального состояния центральной нервной системы у спортсменов с различной направленностью тренировочного процесса / О. И. Коломиец, Н. П. Петрушкина, Е. В. Быков, И. А. Якубовская // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2017. – Т. 12(2). – С. 217-225.
12. Типологические особенности темперамента и свойства нервной системы студентов командных и индивидуальных видов спорта в условиях соревновательной деятельности / С. С. Павленкович, Т. А. Беспалова, Л. К. Токаева, И. В. Смышляева // Физическая культура, спорт-наука и практика. – 2018. – № 2. – С. 110-116.
13. Ковалева, А. В. Исследование чувства ритма у спортсменов разного уровня квалификации / А. В. Ковалева, В. М. Турнаев, В. Н. Касаткин // Психология спорта: наука, искусство, профессия / Под ред. К. А. Бочавера, Л. М. Довжик. – М.: Московский институт психоанализа – Когито-Центр, 2019. – С.123-126.

- 14.Базанова, В. В. Проявление типа темперамента в спортивной деятельности велосипедистов, специализирующихся в велоспорте маунтинбайк / В. В. Базанова, А. А. Залиханова // Рудиковские чтения. – 2019. – С. 51-55.
- 15.Enhanced inhibitory control during re-engagement processing in badminton athletes: An event-related potential study / Chen J., Li Y., Zhang G. [et al] // *Journal of Sport and Health Science*. – 2019. – Vol. 8. – Issue 6. – pp. 585-594. DOI: doi.org/10.1016/j.jshs.2019.05.005.
- 16.Байгужина, О. В. Психофизиологический статус спортсменов, занимающихся бадминтоном / О. В. Байгужина, В. Б. Рубанович, О. Б. Никольская // *Психология. Психофизиология*. – 2021. – Т. 14. – № 1. – С. 97-110.
- 17.Балюк, В. Г. Влияние вида спортивной деятельности на некоторые свойства нервной системы / В. Г. Балюк, Н. В. Балюк // *Физическая культура: воспитание, образование, тренировка*. – 2015. – № 3. – С. 25-28.
- 18.Şahin, S. A comparative of finger tapping test scores elite athletes, art, foreign languages and computer- instructional technology students / S. Şahin, Y. Z. Birinci, E. Sağdılek // *International Journal of Curriculum and Instruction*. – 2020. – Vol. 12(Special Issue). – pp. 379-386.
- 19.Leżnicka, K. Temperament as a modulating factor of pain sensitivity in combat sport athletes / K. Leżnicka, A. Starkowska, M. Tomczak // *Physiology & Behavior* – 2017. – Vol. 180. – pp. 131-136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.08.018>.
- 20.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. DOI: 10.51871/2588-0500\_2022\_06\_02\_10.
- 21.Корягина, Ю. В. Использование информационных технологий для исследования временных и пространственных свойств человека / Ю. В. Корягина, С. В. Нопин // *Успехи современного естествознания*. – 2004. – № 4. – С. 40.
- 22.Полищук, А. В. Методические аспекты анализа результатов исследования связи психологического времени личности с принятием решений в стрессовой ситуации / А. В. Полищук // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. – 2016. – №. 1-4. – С. 143-148.
- 23.Стоцкая, Е. С. Динамика психомоторных реакций юных фехтовальщиков с поражением

- опорно-двигательного аппарата в течение годового цикла тренировочного процесса / Е. С. Стоцкая // *Актуальные проблемы адаптивной физической культуры*. – 2020. – С. 46-50.
- 24.Комсюкова, Д. А. Особенности двигательной системы юных фехтовальщиков с поражением опорно-двигательного аппарата / Д. А. Комсюкова // *Проблемы совершенствования физической культуры, спорта и олимпизма*. – 2019. – №. 2. – С. 88-93.
- 25.Мацнева, С. В. Перспективы развития психологического сопровождения в спортивной ориентации в Нижегородской области / С. В. Мацнева, С. В. Соколовская // *Психология спорта: наука и практика*. – 2021. – С. 81-87.

## REFERENCES

1. Yurova K.I., Yurov I.A., Semenova L.E., Ivanova I.V. Historiogenesis of the properties of the nervous system of athletes. *Innovational approaches in solving issues of a modern society*. 2018. pp. 164-172. (in Russ.)
2. Turovskij V.F. Koryagina Yu.V., Blinov V.A. Psychophysiological characteristics of football players of various playing positions. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2013, no. 7, pp. 68-72. (in Russ.)
3. Koryagina Yu.V., Nopin S.V. Individual time unit identifier. Certificate of the computer program registration RF 2005611543, 2005. (in Russ.)
4. Koryagina Yu.V., Nopin S.V., Blinov V.A., Blinov O.A. Development of automated systems for diagnostics and analysis of various aspects of athletes' fitness. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2015, no. 8, pp. 101-104. (in Russ.)
5. Tsukanov B.I. Time in human psyche. Odessa: AstroPrint, 2000. 218 p. (in Russ.)
6. Tsukanov B.I. Analysis of perceptual error of longevity. *Voprosy Psichologii*, 1985, no. 3, pp. 149-153. (in Russ.)
7. Grzhibovskij A.M., Ivanov S.V., Gorbatova M.A. Analysis of quantitative data in three or more independent groups using Statistica and SPSS software: parametric and non-parametric tests. *Science and Healthcare*, 2016, no. 4, pp.5-37. (in Russ.)
8. Grigore V., Mitrache G., Păunescu M., Păunescu C. Implications of Temperament Characteristics in the Educational Process of Taekwondo Sportsmen. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2015, vol. 191, pp. 1293-1298. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.301>.
9. Gracz J., Tomczak M. Selected temperamental properties and achievement motivation of fencers. *Studies in physical culture and tourism*, 2008, vol.

- 15, no. 2, pp. 109-118. Available at: <https://www.wbc.poznan.pl/dlibra/publication/77978/edition/92415/content> (accessed 23.12.2022)
10. И'ин Е.Р. Human psychomotor arrangement. Moscow, 2003. 384 p. (in Russ.)
11. Kolomiets O.I., Petrushkina N.P., E.V. Bykov, Irina A. Yakubovskaya Functional state characteristics of central nervous system among sportsmen with different orientation of the training. *Russian Journal of Physical Education and Sport*, 2017, vol. 12(2), pp. 217-225. (in Russ.)
12. Pavlenkovich S.S., Bepalova T.A., Tokaeva L.K., Smyshlyaeva I.V. Typological features of the temperament and the properties of the nervous system among students of team and individual sports in the conditions of a competitive activity. *Physical education, sport – science and practice*, 2018, no. 2, pp. 110-116. (in Russ.)
13. Kovaleva A.V., Turnaev V.M., Kasatkin V.N. Sense of rhythm in athletes of different qualification. Sports Psychology: Science, Art, Profession. Ed. by K.A. Bochavera, L.M. Dovzhik. Moscow: Moscow Institute of Psychoanalysis. – Kogito-Tsentr, 2019. pp.123-126. (in Russ.)
14. Bazanova V.V., Zalikhanova A.A. Signs of temperament in sports activity of cyclists specialized in mountain biking. *Rudikov Readings*, 2019. pp. 51-55. (in Russ.)
15. Chen J., Li Y., Zhang G., Jin X., Lu Y., Zhou C. Enhanced inhibitory control during re-engagement processing in badminton athletes: An event-related potential study. *Journal of Sport and Health Science*, 2019, vol. 8, issue 6, pp. 585-594. DOI: [doi.org/10.1016/j.jshs.2019.05.005](https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.05.005).
16. Bajguzhina O.V., Rubanovich V.B., Nikol'skaya O.B. Psychophysiological status of badminton players. *Psychology. Psychophysiology*, 2021, vol. 14, no. 1, pp. 97-110. (in Russ.)
17. Balyuk V.G., Balyuk N.V. Influence of sports type on some properties of the nervous system. *Physical Culture: Education, Training*, 2015, no. 3, pp. 25-28. (in Russ.)
18. Şahin, S., Birinci Y.Z., Sağdılek E. A comparative of finger tapping test scores elite athletes, art, foreign languages and computer-instructional technology students. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 2020, vol. 12(Special Issue), pp. 379-386.
19. Leżnicka K. Starkowska A., Tomczak M. Temperament as a modulating factor of pain sensitivity in combat sport athletes. *Physiology & Behavior*, 2017, vol. 180, pp. 131-136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.08.018>.
20. 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. DOI: [10.51871/2588-0500\\_2022\\_06\\_02\\_10](https://doi.org/10.51871/2588-0500_2022_06_02_10)
21. Koryagina Yu.V., Nopin S.V. Use of information technologies for studying temporal and spatial human properties. *Advances in current natural sciences*, 2004, no. 4, p. 40. (in Russ.)
22. Polishchuk A.V. Methodological aspects of an analysis of studying psychological time of a person with decision making in a stressful situation. *Aktual'nye problem gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2016, no. 1-4, pp. 143-148. (in Russ.)
23. Stotskaya E.S. Psychomotor response dynamics in young fencers with spinal cord injury during the annual cycle of the training process. *Relevant Issues of Adaptive Physical Culture*, 2020, pp. 46-50. (in Russ.)
24. Komsyukova D.A. Features of the motor system of young fencers with spinal cord injury. *Issues of Improving Physical Culture, Sports and Olympism*, 2019, no. 2, pp. 88-93. (in Russ.)
25. Matsneva S.V., Sokolovskaya S.V. Perspectives for the development of psychological support in the system of sport orientation in the Nizhny novgorod region. *Psikhologia sporta: nauka i praktika*, 2021, pp. 81-87. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Сергей Викторович Нопин** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник центра медико-биологических технологий технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: [work800@yandex.ru](mailto:work800@yandex.ru).

**Юлия Владиславовна Корягина** – доктор биологических наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: [nauka@skfmba.ru](mailto:nauka@skfmba.ru).

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Sergej Victorovich Nopin** – Candidate of Technical Sciences, Lead Researcher of the Center of Biomedical Technologies, FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, e-mail: work800@yandex.ru.

**Yulia Vladislavovna Koryagina** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Center of Biomedical Technologies, FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, e-mail: nauka@skfmba.ru.

**Для цитирования:** Нопин, С. В. Типологические особенности свойств нервной системы у высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта / С. В. Нопин, Ю. В. Корягина / Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_18

**For citation:** Nopin S.V., Koryagina Yu.V. Typological features of the nervous systems properties in elite athletes of different sports. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_18



Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_19  
УДК 612:159.944.3(571.1)-057.4

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_19  
UDC 612:159.944.3(571.1)-057.4

## **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДИКТОРЫ СНИЖЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СТЕРЕОТИПА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СЕВЕРНОМ РЕГИОНЕ**

**М.А. Попова, В.В. Чистова, А.Э. Щербакова**

Сургутский государственный педагогический университет, г. Сургут, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования функциональных предикторов изменения работоспособности преподавателей высшей школы мужского и женского пола в северном регионе при переходе на дистанционный формат профессиональной деятельности в период локдауна при пандемии коронавирусной инфекции. Для прогнозирования снижения работоспособности использован запатентованный авторами индекс функциональной эффективности педагогов (ИФЭП). При очном формате преподавания удовлетворительная функциональная эффективность (ФЭ) в 2,2 раза чаще встречается у преподавателей-мужчин, чем у женщин, неудовлетворительная ФЭ – в 2,7 раз чаще у преподавателей-женщин, чем у мужчин. После дистанционного формата преподавания число женщин с удовлетворительной ФЭ увеличилось в 1,72 раза, и в 2,3 раза уменьшилась частота встречаемости женщин с неудовлетворительным уровнем ФЭ. Среди мужчин-преподавателей после периода дистанционного преподавания в 2,4 раза уменьшилось число преподавателей с удовлетворительной ФЭ и в 2 раза увеличилась доля с пограничными значениями ФЭ.

**Ключевые слова:** преподаватели высшей школы, функциональные предикторы, работоспособность, прогнозирование функциональной эффективности, центральная нервная система, вегетативная регуляция, психофизиологическое состояние, стереотип профессиональной деятельности, север.

## **FUNCTIONAL PREDICTORS OF HIGHER SCHOOL TEACHERS' PERFORMANCE DECREASE WHEN THE STEREOTYPE OF PROFESSIONAL ACTIVITY IS CHANGED IN THE NORTHERN REGION**

**M.A. Popova, V.V. Chistova, A.E. Shcherbakova**

Surgut State Pedagogical University, Surgut, Russia

**Annotation.** The article presents the results of a study of functional predictors of changes in the performance of male and female higher school teachers in the northern region during the transition to a remote format of professional activity in the lockdown due to the coronavirus pandemic. To predict the decline in performance, the index of functional efficiency (FE) of teachers patented by the authors was used. It is 2.2 times more common in male teachers than in women. An unsatisfactory level is 2.7 times more common in female teachers than in men. After distance teaching, the number of women with satisfactory FE increased by 1.72 times and the frequency of women with an unsatisfactory level of FE decreased by 2.3 times. After the distance teaching period, a number of male teachers with satisfactory FE decreased by 2.4 times while the proportion of male teachers with borderline FE values increased by 2 times.

**Keywords:** higher school teachers, functional predictors, performance, prediction of functional efficiency, central nervous system, autonomic regulation, psychophysiological state, stereotype of professional activity, north.

**Введение.** Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) была принята программа «Здоровье работающих: глобальный план действий» [1]. Она явилась частью глобальной концепции ВОЗ «Здоровье для всех» и определила основные направления развития программ по охране здоровья работающих на ближайшие годы. Стратегия

«Здоровье для всех» основана на системе общественного здоровья, влияющей не только на профессиональные риски и причины заболеваний, но и меры поддержания и укрепления здоровья. В этом смысле образовательная среда на всех этапах может способствовать формированию осознанного отношения к сохранению здоровья, но компетентность преподавательского состава в этом вопросе не должна ограничиваться передачей теоретических знаний обучающимся.

Продвижению этой системы в сфере трудовой деятельности способствуют современные системы управления профессиональным стрессом и поддержанием высокой работоспособности, выполняемых за определенный промежуток [2]. Работоспособность традиционно определяется как уровень функциональных возможностей организма, характеризующихся эффективностью работы [3].

Профессиональная эффективность преподавателя оценивается разработанной рейтинговой системой. В условиях постоянно меняющихся требований к процессу и формам обучения, особенно ярко проявившихся при пандемии COVID-19, выполнение образовательных стандартов требует интенсивной перестройки функциональных систем, обеспечивающих умственную работоспособность преподавателей.

Физиологическая цена профессиональной эффективности различна для разных когорт преподавателей и зависит от многих параметров: от возраста до индивидуальной способности быстро адаптироваться к изменяющимся условиям. В связи с этим нами предложен термин «функциональная эффективность», которую мы определяем, как удовлетворительную и хорошую работоспособность при сохранении удовлетворительного уровня функционирования физиологических систем организма при отсутствии профессионального выгорания [4].

Оценка работоспособности традиционно проводится методами анализа анкетирования различного уровня.

К наиболее популярным из них относятся определение индекса работоспособности Work Ability Index (WAI) [5], рекомендованные ВОЗ показатели качества жизни [6].

Анализ индекса WAI включает перечень вопросов, характеризующих оценку работником своих возможностей обеспечивать физические и психологические требования к выполнению трудовых процессов по состоянию здоровья и функциональному состоянию организма [5].

Методика определения качества жизни SF-36 (Short Form Health Status Survey) по самооценке физического (PH), психического (MH), эмоционального состояния, общего состояния здоровья и их влияния на социальное и ролевое функционирование человека рекомендована ВОЗ при скрининге оценки состояния здоровья и факторов, влияющих на работоспособность [6].

Наиболее часто используемыми количественными скрининговыми методами оценки функционального состояния центральной нервной системы является скорость психомоторной реакции [7], состояния вегетативной регуляции – анализ вариабельности ритма сердца в фоновом режиме и ортостатической пробе [8], гемодинамики – показатели артериального давления [9-10].

Адаптация к комплексу новых факторов, специфичных для профессиональной деятельности преподавателей в условиях нарушений фотопериодизма, короткого светового дня, характерных для северных территорий, представляет собой сложный многоуровневый процесс. Сохранение профессиональной эффективности работы педагогов не должно реализоваться ценой чрезмерных усилий и перенапряжения функциональных систем, с развитием патологических состояний. Существует необходимость разработки методов оценки функциональной эффективности преподавателей на основе комплексного анализа психофизиологических показателей, состояния регуляторных и жизнеобеспечивающих систем, обеспечивающих компенсаторно-приспособительные реакции организма при

существенном изменении условий профессиональной деятельности.

В связи с этим нами на основании проведенного комплексного исследования [11-14] поставлена цель выделить функциональные предикторы снижения работоспособности преподавателей высшей школы и проанализировать их значение при изменении стереотипа профессиональной деятельности, обусловленным переходом на дистанционный формат работы в период пандемии COVID-19.

**Методы и организация исследования.** Исследование по выявлению предикторов снижения работоспособности преподавателей высшей школы выполнено в 2019-2021 гг. в рамках государственного задания «Эффективность управления процессами сохранения физического и психического здоровья населения стратегически значимых северных территорий на этапах образовательного процесса и в социальной сфере».

Работа выполнена на базе научно-исследовательской лаборатории «Здоровый образ жизни и охрана здоровья» Сургутского государственного педагогического университета (СурГПУ) в 2019-2022 гг. При выполнении исследования соблюдены требования биомедицинской этики, национального стандарта Российской Федерации и Хельсинской декларации о надлежащей клинической практике (Good Clinical Practice; GCP). Протокол и форма информированного согласия на участие в исследовании предоставлены локальным комитетом по биомедицинской этике Сургутского государственного педагогического университета.

Для добровольного участия в исследовании в ноябре-декабре 2019 года были приглашены 108 преподавателей СурГПУ, 72 женщины и 36 мужчин в возрасте от 25 до 60 лет. После завершения дистанционного формата работы в связи с локдауном в период пандемии COVID-19 в февралемарте 2021 года было проведено повторное функциональное обследование в том же объеме.

Протокол исследования включал оценку психического состояния по методике самооценки тревожности, фрустрированности, агрессивности и ригидности (ТФАР), наличия профессионального выгорания по методике MBI (Maslach Burnout Inventory – Опросник выгорания Маслач) и функционального состояния центральной нервной системы по скорости психомоторной зрительной реакции с автоматическим анализом результатов по экспресс-диагностике работоспособности и индивидуального анализа активности мозга по времени сенсомоторной реакции, функционального уровня системы (ФУС), устойчивости реакции (УР), уровня функциональных возможностей (УФВ) по критериям Т. Лоскутовой с помощью компьютерно-диагностических программ комплекса «Психо-Тест» (Нейрософт, Россия).

Состояние вегетативной регуляции оценивали по кардиоритмографии в покое и при активной ортостатической пробе с автоматическим расчетом общего интегрального показателя уровня функционирования физиологической системы (УФФС) с помощью программы «Поли-Спектр-8» (Нейрософт, Россия).

Гемодинамические реакции и состояние сосудистого русла определяли по результатам измерения центрального аортального (цСАД) и периферического артериального давления (АД) с помощью A-Pulse-CASPal (HealthSTATS, Сингапур).

Статистический анализ проводили с помощью программы Statistica 13.3. С помощью проведенного множественного регрессионного анализа выявлены основные функциональные предикторы, влияющие на развитие работоспособности преподавателей. В ходе статистического анализа полученных результатов было проведено определение общего качества применённой статистической модели, её достоверности и степени точности описания моделью процесса предикторов снижения работоспособности педагогов. Достоверность определения предикторов установлена на уровне  $p < 0,05$ .

Также был проведен многофакторный пошаговый дискриминантный анализ и определена прогностическая модель высокого риска развития критических нарушений функционального состояния педагогов, включающая показатели сенсомоторной реакции, факторы оценки психического состояния, показатели вариабельности ритма сердца (BPC) и цСАД. Рассчитывали интегральный индекс функциональной эффективности педагогов (ИФЭП) по разработанной нами формуле [15]:

$$\text{ИФЭП} = \text{ИФЭП} = 1,83 + 0,10402 * \text{возраст (лет)} + 0,10512 * t \text{ ПЗМР (мс)} + 0,11003 * \text{ЭИ (балл)} + 0,11876 * \text{LF/HF (усл.ед.)} + 0,10276 (\text{цСАДр} - \text{цСАДд}),$$

где ИФЭП – дискриминанта (d), полученная при дискриминантном анализе; t ПЗМР – время простой зрительно-моторной реакции в мс; ЭИ – эмоциональное истощение по методике МВИ в баллах; LF/HF (усл.ед.) – отношение низкочастотной составляющей к высокочастотной составляющей спектра кардиоритмограммы; цСАД – центральное систолическое давление в аорте, измеренное неинвазивным путем; цСАДр – реальное цСАД в момент измерения; цСАДмакс – максимальное значение цСАД, соответствующее полу и возрасту обследуемого лица, определенное по номограмме.

Функциональную эффективность (ФЭ) преподавателей при ИФЭП  $\leq 30,5$  оценивали как удовлетворительную, в диапазоне от 30,5 до 40,4 – как пограничную, при ИФЭП  $\geq 40,5$  – как неудовлетворительную.

Проведен сравнительный анализ ИФЭП у преподавателей СурГПУ женского и мужского пола при традиционной офлайн форме образовательного процесса в ноябре-декабре 2019 года и непосредственно после завершения дистанционного периода работы в феврале 2022 года.

Для оценки различий показателя ИФЭП между выборками мужского и женского пола при традиционном и дистанционном формате преподавания применен критерий

$\chi^2$ . Критический уровень значимости различий  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Для выявления функциональных предикторов снижения работоспособности педагогов был проведен регрессионный анализ. Сформированы 2 модели, в которых в качестве зависимых переменных выступали время ПЗМР (модель 1) и отношение УФФС (модель 2). В качестве независимых переменных использовали возраст, северный стаж, педагогический стаж, уровень САД,  $\Delta$ цСАД, LF/HF, показатель эмоционального истощения (ЭИ), психическое здоровье (МН – Mental Health) и физическое функционирование (PF – Physical Functioning). Результаты анализа представлены в таблице 1.

В обеих моделях независимыми предикторами снижения функционального состояния организма преподавателей университета по отношению шансов (ОШ) явились возраст (ОШ – 1,98, 95%ДИ (доверительный интервал) – 0,90-5,7),  $\Delta$ цСАД (ОШ – 1,58, 95%ДИ – 0,95-3,4) и отношение LF/HF (ОШ – 1,79, 95%ДИ – 0,76-6,8), ЭИ (ОШ – 2,1, 95%ДИ – 1,0-5,4).

Таким образом, предикторами высокого риска снижения работоспособности по результатам нашего исследования являются увеличение возраста, повышение LF/HF при фоновой записи кардиоритмограммы, увеличение  $\Delta$ цСАД и эмоционального истощения.

Анализ ИФЭП выявил различия функционального ответа преподавателей женского и мужского пола при изменении стереотипа профессиональной деятельности в период локдауна при пандемии COVID-19 (табл. 2).

При очном формате преподавания удовлетворительная ФЭ в 2,2 раза чаще зарегистрирована среди преподавателей-мужчин, чем у женщин (66,7 vs 30,6%,  $p = 0,0003$ ), неудовлетворительная в 2,7 раз чаще отмечена у преподавателей-женщин, чем у мужчин (22,2 vs 8,3%,  $p = 0,043$ ).

Таблица 1

Взаимосвязь возраста, северного и педагогического стажа, центрального систолического артериального давления, систолического артериального давления, ментального и физического компонентов качества жизни, отношения LF/HF с временем простой зрительно-моторной реакции и уровня функционирования физиологической системы

у преподавателей северного университета

Показатели	время ПЗМР, мс		УФФС, усл.ед.	
	В	Р	$\beta$	Р
	F=5,149	<0,0001	F=7,147	<0,001
возраст, лет	0,36	<b>&lt;0,001</b>	0,31	<b>&lt;0,0001</b>
северный стаж, лет	0,08	0,33	0,25	<0,01
педагогический стаж, лет	0,08	0,25	0,12	0,09
САД, мм рт. ст	0,14	0,07	0,22	0,03
ДцСАД, мм рт. ст.	0,39	<b>0,004</b>	0,15	<b>0,04</b>
LF/HF(фон)	0,24	<b>0,03</b>	0,42	<0,0001
ЭИ, баллы	0,47	<b>0,001</b>	0,14	<b>0,04</b>
МН, баллы	0,18	0,42	0,11	0,06
РФ, баллы	0,07	0,31	0,24	0,03

Примечание: F – критерий регрессионного анализа; ПЗМР – простая зрительно-моторная реакция; УФФС – уровень функционирования физиологической системы по общему интегральному показателю кардиоритмограммы; САД – систолическое артериальное давление на плечевой артерии; ДцСАД (центральное систолическое аортальное давление) – разница между реальным цСАД<sub>р</sub> и цСАД<sub>макс</sub> – максимальным значением цСАД, соответствующим полу и возрасту обследуемого; LF/HF – отношение низкочастотной составляющей к высокочастотной составляющей спектра кардиоритмограммы; ЭИ – эмоциональное истощение по методике МВИ в баллах; МН – ментальное здоровье и РФ – физическое функционирование по оценке качества жизни SF-36

Таблица 2

Функциональная эффективность преподавателей северного университета женского и мужского пола при очном и дистанционном формате преподавания

Градации функциональной эффективности (ФЭ)	Очный формат преподавания	Дистанционный формат преподавания	$\chi^2$ ; $p_1$
Преподаватели-женщины (n=72)	абс. (%)	абс. (%)	
Удовлетворительная	22 (30,6%)	38 (52,8%)	7,71; <b>0,0068</b>
Пограничная	34 (47,2%)	27 (37,5%)	1,39; 0,2378
Неудовлетворительная	16 (22,2%)	7 (9,7%)	4,19; <b>0,0406</b>
Преподаватели-мужчины (n=36)	абс. (%)	абс. (%)	
Удовлетворительная	24 (66,7%)	10 (27,8%)	10,92; <b>0,0010</b>
$\chi^2$ ; $p_2$	12,8; <b>0,0003</b>	6,07; <b>0,0137</b>	
Пограничная	9 (25,0%)	18 (50,0%)	4,80; <b>0,0285</b>
$\chi^2$ ; $p_2$	4,95; <b>0,0262</b>	2,13; 0,1445	
Неудовлетворительная	3 (8,3%)	8 (22,2%)	2,68; 0,1015
$\chi^2$ ; $p_2$	3,19; <b>0,0439</b>	3,14; 0,0716	

Примечание: ИФЭП – индекс функциональной эффективности педагогов; ФЭ удовлетворительная (ИФЭП $\leq$ 30,5), ФЭ пограничная (ИФЭП 30,5 – 40,4), ФЭ неудовлетворительная (ИФЭП $\geq$ 40,5);  $p_1$  – значимость различий показателей при очном и дистанционном формате преподавания;  $p_2$  – значимость различий показателей между преподавателями мужского и женского пола по критерию  $\chi^2$

Анализ ИФЭП показал, что после дистанционного формата преподавания число женщин с удовлетворительной ФЭ увеличилось (30,6 vs 52,8%,  $p=0,0068$ ), и в 2 раза уменьшилась частота встречаемости женщин с неудовлетворительным уровнем показателя (22,2 vs 9,7%,  $p=0,0406$ ). Среди мужчин-преподавателей отмечена противоположная тенденция: после периода дистанционного преподавания в 2,4 раза уменьшилось число преподавателей с удовлетворительной ФЭ (66,7 vs 27,8%,  $p=0,001$ ) и в 2 раза увеличилась доля с пограничными значениями ИФЭП ( $p=0,0285$ ).

**Заключение.** Результаты проведенного нами исследования по выявлению функциональных предикторов снижения работоспособности преподавателей высшей школы при изменении стереотипа профессиональной деятельности имеют определенные ограничения, связанные с особенностями гипокомфортных климатических условий северного региона, в котором оно выполнено, и могут отличаться при проведении подобного исследования в других климато-географических условиях.

Тем не менее, определение интегративного индекса функциональной

эффективности педагогов позволяет выявить как объем необходимых диагностических манипуляций для выявления возможной патологии, так и траекторию реабилитационных мероприятий, направленных на восстановление состояния здоровья и работоспособности преподавателей.

Изменение стереотипа профессиональной деятельности по-разному влияет на функциональное состояние преподавателей различного пола. Необходимо учитывать, что преподаватели-женщины лучше адаптированы к дистанционному формату преподавания в отличие от преподавателей-мужчин, функциональная эффективность которых выше при очной форме работы.

Мониторинг функциональной эффективности может быть положено в основу планирования рациональных управленческих и медико-биологических мероприятий по сохранению и укреплению здоровья преподавателей. При пограничном уровне ИФЭП рекомендовано изменение режима нагрузок и нефармакологическая коррекция факторов риска, при неудовлетворительном – консультация специалистов с целью диагностики патологии и адекватной фармакологической коррекции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. WHO. European Health information gateway. Labour force as % of population. URL: [https://gateway.euro.who.int/en/indicators/hfa\\_30-0210-labour-force-as-of-population/](https://gateway.euro.who.int/en/indicators/hfa_30-0210-labour-force-as-of-population/) (дата обращения 25.02.2023)
2. Rao, J. V. Occupational stress, mental health and coping among information technology professionals / J. V. Rao, K. Chandraiah // Indian J Occup Environ Med. – Jan-Apr 2012. – № 16 (1). – pp. 22-26.
3. Олешков М. Ю. Современный образовательный процесс: основные понятия и термины: краткий терминологический словарь / М. Ю. Олешков, В. М. Уваров. – Москва: Компания Спутник+, 2006. – 189 с.
4. Попова, М. А. Инновационные технологии сохранения здоровья и повышения профессиональной эффективности педагогов в условиях неопределенности модернизации образования / М. А. Попова, А. Э. Щербакова // Высшая

- школа: научные исследования: Материалы Межвузовского международного конгресса. Москва, 18 августа 2022 г. – С. 42-61. DOI: 10.34660/INF.2022.65.78.163
5. Why WAI? – Der Work Ability Index im Einsatz für Arbeitsfähigkeit und Prävention. Erfahrungsberichte aus der Praxis, 5. Auflage. 2013. – 147 p. ISBN: 978-3-88261-696-5.
6. Medical Outcomes Study: Short Form Survey. URL: [http://www.rand.org/health/surveys\\_tools/mos/mos\\_core\\_36item.html](http://www.rand.org/health/surveys_tools/mos/mos_core_36item.html) (дата обращения: 21.01.2023).
7. Байгужин, П. А. Функциональное состояние центральной нервной системы при воздействии слабоструктурированной информации / П. А. Байгужин, Д. З. Шибкова // Человек. Спорт. Медицина. – 2017. – № 5. – С. 32-42.
8. Михайлов, В. М. Вариабельность ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму) / В. М. Михайлов. – Иваново: ООО «Нейрософт», 2017. – С.516.

9. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension / Williams B., Mancia G., Spiering W. [et al] // *Eur Heart J.* – 2018. – № 39(33). – pp. 3021-3104. DOI: doi/10.1093/eurheartj/ehy339
10. Котовская, Ю. В. Центральное давление в клинической практике: современное состояние проблемы / Ю. В. Котовская, Ж. Д. Кобалава // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* – 2009. – № 8(4). – С. 8-13. URL: <https://cardiovascular.elpub.ru/jour/article/view/1717/1382> (дата обращения: 26.08.2022).
11. Щербакова, А. Э. Функциональное состояние педагогов северного университета при переходе к дистанционному формату работы / А. Э. Щербакова, В. В. Чистова, М. А. Попова // *Журн. мед.-биол. исследований.* – 2023. – Т. 11. – № 1. – С. 4153. DOI: 10.37482/2687-1491-Z125
12. Попова, М. А. Психологическое состояние педагогов северного вуза до и после периода дистанционной работы в первую волну COVID-19 / М. А. Попова, В. В. Чистова, А. Э. Щербакова // *Международный научный журнал Вестник психофизиологии.* – 2021. – № 4. – С. 91-98.
13. Попова М. А. Психологическое состояние и профессиональное выгорание у педагогов северного университета, перенесших COVID-19 / М. А. Попова, В. В. Чистова, А. Э. Щербакова // *Международный научный журнал Вестник психофизиологии.* – 2022. – № 2. – С. 105-113.
14. Попова, М. А. Вариабельность ритма сердца и гемодинамические реакции у педагогов, перенесших COVID-19 / М. А. Попова, В. В. Чистова, А. Э. Щербакова // *Современные вопросы биомедицины.* – 2022. – Т. 6. – № 3. – С. 191-204. DOI: 10.51871/2588-0500\_2022\_06\_03\_22
15. Попова М. А. Способ оценки функциональной эффективности педагогов / М. А. Попова, В. В. Чистова, А. Э. Щербакова // *Положительное решение формальной экспертизы заявки на изобретение № 2022115149/14 (031825) от 05.06.2022.*
- REFERENCES**
1. WHO. European Health information gateway. Labour force as % of population. Available at: [https://gateway.euro.who.int/en/indicators/hfa\\_30-0210-labour-force-as-of-population/](https://gateway.euro.who.int/en/indicators/hfa_30-0210-labour-force-as-of-population/) (accessed 25.02.2023).
2. Rao J.V., Chandriah K. Occupational stress, mental health and coping among information technology professionals. *Indian J Occup Environ Med*, Jan-Apr 2012, no. 16 (1), pp. 22-26.
3. Oleshkov M.Yu., Uvarov V.M. Modern educational process: basic concepts and terms: brief terminological dictionary. Moscow: Sputnik + Company, 2006, 189 p. (in Russ.)
4. Popova, M.A., Shcherbakova A.E. Innovative technologies for maintaining health and improving the professional efficiency of teachers in terms of uncertainty in the education's modernization. Higher School: Scientific Research: Proceedings of the Interuniversity International Congress. Moscow, August 18, 2022. pp. 42-61. DOI: 10.34660/INF.2022.65.78.163. (in Russ.)
5. Why WAI? – Der Work Ability Index im Einsatz für Arbeitsfähigkeit und Prävention. *Erfahrungsberichte aus der Praxis*, 5. Auflage. 2013. 147 p ISBN: 978-3-88261-696-5. (in German)
6. Medical Outcomes Study: Short Form Survey. Available at: [http://www.rand.org/health/surveys\\_tools/mos/mos\\_core\\_36item.html](http://www.rand.org/health/surveys_tools/mos/mos_core_36item.html) (accessed 21.01.2023).
7. Bajguzhin P.A., Shibkova D.Z. Functional condition of the central nervous system under the influence of weakly structured information. *Human. Sport. Medicine*, 2017, no. 5, pp. 32-42. (in Russ.)
8. Mikhajlov, V. M. Heart rate variability (a new look at the old paradigm). Ivanovo: Neurosoft LLC, 2017, p. 516. (in Russ.)
9. Williams B., Mancia G., Spiering W., Rosei E.A., M. Azizi, Burnier M., Clement D.L., Coca A., de Simone G., Dominiczak A. et al. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur Heart J*, 2018, no. 39 (33), pp. 3021-3104. DOI: doi/10.1093/eurheartj/ehy339
10. Kotovskaya Yu.V., Kobalava Zh.D. Central pressure in clinical practice: current state of the problem. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 2009, no. 8(4), pp. 8-13. Available at: <https://cardiovascular.elpub.ru/jour/article/view/1719> (accessed 26.08.2022). (in Russ.)
11. Shcherbakova A.E., Chistova V.V., Popova M.A. Functional State of Teachers of a Northern University When Switching to Distance Education. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 41-53. DOI: 10.37482/2687-1491-Z125. (in Russ.)
12. Popova M.A., Chistova V.V., Shcherbakova A.E. Psychological state of northern university teachers before and after the remote work period in the first wave of COVID-19. *Psychophysiology News*, 2021, no.4, pp. 91-98. (in Russ.)

13. Popova M.A., Chistova V.V., Shcherbakova A.E. Psychological state and professional burnout of the Northern University teachers who survived COVID-19. *Psychophysiology News*, 2022, no.2, pp.105-113. (in Russ.)

14. Popova M.A., Chistova V.V., Shcherbakova A.E. Heart rate variability and hemodynamic response in teachers who had COVID-19. *Modern*

*Issues of Biomedicine*, 2022, vol.6, no.3, pp.191-204. DOI: 10.51871/2588-0500\_2022\_06\_03\_22 (in Russ.)

15. Popova M.A., Chistova V.V., Shcherbakova A.E. A way to assess the functional efficiency of teachers. Positive decision of the examination of patent application No. 2022115149/14 (031825) from 05.06.2022. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Марина Алексеевна Попова** – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Здоровый образ жизни и охрана здоровья» Сургутского государственного педагогического университета, Сургут, e-mail: m\_a\_popova@mail.ru.

**Виктория Васильевна Чистова** – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Здоровый образ жизни и охрана здоровья» Сургутского государственного педагогического университета, Сургут, e-mail: victoria\_chistova@mail.ru.

**Александра Эдуардовна Щербакова** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Здоровый образ жизни и охрана здоровья» Сургутского государственного педагогического университета, Сургут, e-mail: a.e.shcherbakova@yandex.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Marina Alekseevna Popova** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Scientific and Research Laboratory “Healthy lifestyle and Healthcare”, Surgut State Pedagogical University, Surgut, e-mail: m\_a\_popova@mail.ru.

**Victoria Vasil’evna Chistova** – Junior Researcher of the Scientific and Research Laboratory “Healthy lifestyle and Healthcare”, Surgut State Pedagogical University, Surgut, e-mail: victoria\_chistova@mail.ru.

**Aleksandra Eduardovna Shcherbakova** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Scientific and Research Laboratory “Healthy lifestyle and Healthcare”, Surgut State Pedagogical University, e-mail: a.e.shcherbakova@yandex.ru.

**Для цитирования:** Попова, М. А. Функциональные предикторы снижения работоспособности преподавателей высшей школы при изменении стереотипа профессиональной деятельности в северном регионе / М. А. Попова, В. В. Чистова, А. Э. Щербакова // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_19

**For citation:** Popova M.A., Chistova V.V., Shcherbakova A.E. Functional predictors of higher school teachers' performance decrease when the stereotype of professional activity is changed in the northern region. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_19



Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_20  
УДК 796.966

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_20  
UDC 796.966

## МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МУЖЧИН 45-59 ЛЕТ, ИГРАЮЩИХ И НЕ ИГРАЮЩИХ В ХОККЕЙ С ШАЙБОЙ

Д.А. Романова, С.И. Логинов

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Россия

**Аннотация.** Цель исследования – выявить морфофизиологические особенности организма мужчин 45-59 лет, играющих (n=30) и не играющих (n=30) в хоккей с шайбой. Установлено, что антропометрические показатели и возраст обеих групп различий не имеют. У хоккеистов больше масса мышц, воды и величина основного обмена по сравнению с лицами контрольной группы, у которых был зарегистрирован больший процент общего и висцерального жира ( $p < 0,05$ ). По показателям кардиореспираторной системы игроки существенно опережают контрольную группу, но по данным вариабельности сердечного ритма различий не выявлено.

**Ключевые слова:** размеры и состав тела, кардиореспираторная система, мужчины, возраст 45-59 лет, хоккей с шайбой.

## MORPHOPHYSIOLOGICAL FEATURES OF MEN AGED 45-59 PLAYING AND NOT PLAYING ICE HOCKEY

D.A. Romanova, S.I. Loginov

Vladimir State University, Vladimir, Russia

**Annotation.** The aim of the study was to reveal the morphophysiological features of the body of men aged 45-59 who play (n=30) and do not play (n=30) ice hockey. The authors have found that anthropometric indicators and age of both groups have no differences. Hockey players have higher muscle mass, water and basal metabolic rate compared to non-hockey players, who have a higher percentage of total and visceral fat ( $p < 0.05$ ). In terms of cardiorespiratory system indicators, players are significantly ahead of non-hockey players, but no discrepancies were found related to heart rate variability.

**Keywords:** body size and composition, cardiorespiratory system, men, 45-59 years of age, ice hockey.

**Введение.** Хоккей с шайбой характеризуется высокоинтенсивным катанием на коньках с быстрым изменением скорости и направления движения в сочетании с манипуляциями клюшкой и жесткой контактной борьбой [1]. Обычно хоккеист играет 15-20 минут из 60 минут игры. Смена длится в основном 30-80 сек с 4-5 минутами отдыха между сменами. Интенсивность и продолжительность смены определяют степень включения аэробных и анаэробных энергетических систем. Сменяющиеся эпизоды высокой интенсивности требуют от игрока развитой мышечной силы и анаэробной выносливости. Кроме того, нужно быстро восстанавливаться после каждой

смены, для чего необходимы хорошая аэробная мощность ( $VO_{2max}$ ) на уровне 50-60 мл/кг/мин [2] и развитая система саморегуляции эмоционального состояния [3].

Физиология молодых хоккеистов изучается довольно активно как в России [4], так и за рубежом [5], однако недостаточно известно, как реагирует на игровые нагрузки организм мужчин среднего возраста. В России это особенно важно, поскольку существует ночная хоккейная лига, в которой играют более 21 тыс. мужчин, которым необходимо биомедицинское и организационно-методическое сопровождение.

Цель работы – выявить морфофизиологические особенности организма мужчин 45-60 лет, играющих и не играющих в хоккей с шайбой.

**Методы и организация исследования.** Участвовали здоровые мужчины 45-59 лет ( $n=30$ ), которые три раза в неделю играли в хоккей с шайбой в ледовом дворце г. Коврова с 20,45 до 22,15 минут. Контрольную группу составили ровесники ( $n=30$ ), не игравшие в хоккей. С помощью общепринятых методов измеряли длину тела (ДТ, м), массу тела (МТ, кг). Состав тела изучали на анализаторе ВС-730 “Tanita” (Япония). Определяли мышечную массу (ММ, кг), массу жира (МЖ, кг), массу висцерального жира (МВЖ, усл.ед.), содержание воды (СВ, кг) и величину основного обмена по Харрису-Бенедикту (ОО, ккал). Рассчитывали ИМТ как  $МТ/ДТ^2$  (кг/м<sup>2</sup>). Ударный объем крови определяли методом эхокардиографии на “Sonoscape s40exp”. Степень восстановления организма оценивали тестами с дозированной физической нагрузкой на мониторе “Polar vantage 2” (Финляндия). Измеряли и рассчитывали частоту сердечных сокращений (ЧСС), максимальное потребление кислорода (МПК) и квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар NN, характеризующий парасимпатические влияния на сердце (RMSSD), в покое и после

ортостатической пробы. Статистическую обработку осуществляли с помощью Statistica 12 (StatSoft, USA). Рассчитывали величины среднего арифметического  $\langle M \rangle$  и стандартной ошибки среднего арифметического  $\langle m \rangle$ . С помощью теста Шапиро-Уилка оценивали нормальность распределения полученных данных. Межгрупповое сравнение проводили с помощью парного t-критерия Стьюдента при уровне значимости различий  $p \leq 0,05$ . Для оценки тесноты связи использовали корреляционный анализ по Спирмену.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Показатели антропометрии и состава тела представлены в таблице 1.

Данные таблицы 1 показывают, что по габаритным размерам и возрасту лица, занимающиеся и не занимающиеся хоккеем с шайбой, различий не имеют. В то же время хоккеисты имеют большую массу мышц, воды и величину основного обмена по сравнению с контрольной группой, в которой, в свою очередь, имеют больший процент общего и висцерального жира ( $p < 0,05$ ).

В таблице 2 представлены результаты измерения показателей ударного объема крови и вариабельности сердечного ритма (RMSSD) до и после ортопробы.

Таблица 1

Показатели антропометрии и состава тела лиц, занимающихся и не занимающихся хоккеем с шайбой,  $M \pm m$

Показатели	Хоккеисты ( $n=30$ )	Контрольная группа ( $n=30$ )	P
Длина тела, см	178,3±1,00	177,4±0,92	0,5106
Масса тела, кг	86,0±1,66	87,6±1,65	0,9654
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	26,7±0,44	28,2±0,67	0,0642
Мышечная масса, кг	61,6±0,92	55,8±1,26	0,0004
Жир, кг	23,9±0,55	26,9±0,86	0,0045
Висцеральный жир, усл.ед.	8,9±0,21	11,0±0,58	0,0012
Вода, кг	53,3±0,83	48,1±1,03	0,0002
Основной обмен, ккал/сут	1897,8±27,34	1789,8±22,38	0,0034
Возраст, лет	49,7±0,96	52,1±0,97	0,0839

Примечание: уровень достоверности различий рассчитан с помощью парного теста Стьюдента для несвязанных групп испытуемых

Таблица 2

Показатели ударного объема крови и вариабельности сердечного ритма лиц, занимающихся и не занимающихся хоккеем с шайбой,  $M \pm m$

Показатели	Хоккеисты (n=30)	Контрольная группа (n=30)	P
Ударный объем крови, мл	68,96±2,26	60,83±2,84	0,0287
МПК, мл/кг/мин	46,5±0,96	33,2±0,92	0,0000
ЧСС сидя, уд/мин	63,5±1,31	68,6±1,1	0,0042
ЧСС стоя, уд/мин	76,5±1,01	93,7±1,76	0,0000
ЧСС пик, уд/мин	91,0±2,42	109,6±1,69	0,0000
BCP (RMSSD) сидя, усл.ед.	59,5±4,88	51,9±4,65	0,2731
BCP (RMSSD) стоя, усл.ед.	51,6±5,43	55,5±2,74	0,4883

Примечание: МПК – максимальное потребление кислорода, мл/кг/мин; ЧСС – частота сердечных сокращений, уд/мин; BCP – вариабельность сердечного ритма по RMSSD (среднеквадратичное значение последовательных различий между соседними кардиоинтервалами), усл.ед; уровень достоверности различий рассчитан с помощью парного теста Стьюдента для несвязанных групп испытуемых

Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что имеются существенные различия между показателями кардиореспираторной системы. Величины ударного объема крови и максимального потребления кислорода у

хоккеистов выше, чем у контрольной группы ( $p < 0,05$ ), в отличие от ЧСС, которая при любых положениях тела была ниже у хоккеистов ( $p < 0,05$ ). Показатель BCP (RMSSD) существенных различий не имел.

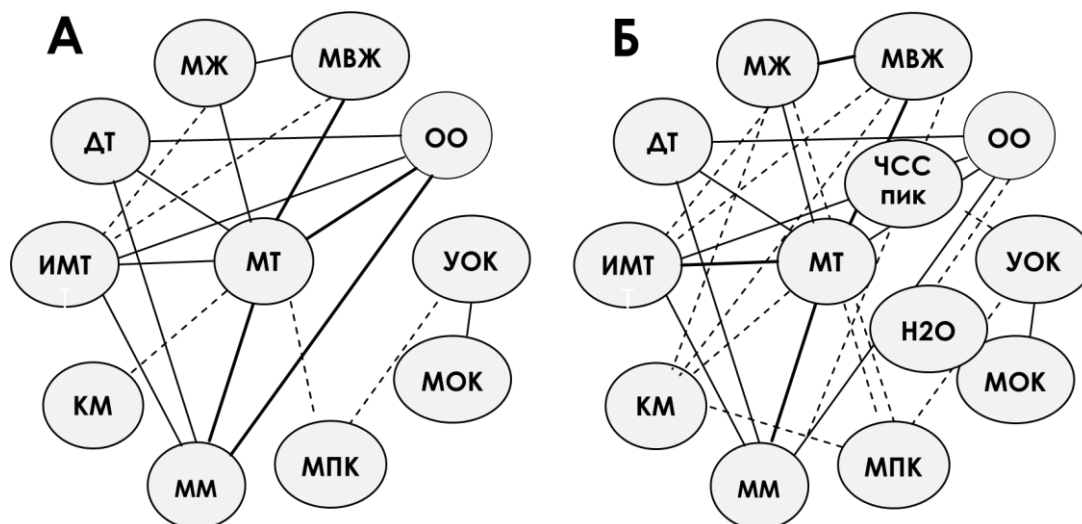


Рис. Статистически значимые ( $p < 0,05$ ) корреляционные связи между показателями размеров тела, составом тела и кардиореспираторной системы хоккеистов (А) и контрольной группы (Б) 45-59 лет

Примечание: ДТ – длина тела, м; МТ – масса тела, кг; ИМТ – индекс массы тела,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ; КМ – костная масса, кг; ММ – масса мышц, кг; МЖ – масса жира, %; МВЖ – масса висцерального жира, усл.ед.; ОО – основной обмен, ккал; МПК – максимальное потребление кислорода, мл/кг/мин; УОК – ударный объем крови, мл; МОК – минутный объем крови, л. Сплошная жирная линия – коэффициенты корреляции 0,75 и выше (сильная связь), тонкая сплошная линия – коэффициенты корреляции 0,74-0,45 (связь средней силы); пунктирная линия – коэффициенты корреляции ниже 0,45 (слабая связь)

Анализ тесноты связи между показателями размеров, состава тела и кардиореспираторной системы методом плейд, составленных на основе расчета коэффициентов парной корреляции по Спирмену, показал, что число значимых связей разной степени силы у контрольной группы (рис. Б) больше, чем у их ровесников, играющих в хоккей с шайбой (рис. А)

В обеих группах значимыми показателями оказались масса тела и её производная (индекс массы тела), сильно связанные между собой и с массой мышц, массой висцерального жира и величиной основного обмена. У контрольной группы появились связи средней силы между пиковой ЧСС, ИМТ и ОО и слабая связь между ЧССпик и УОК, содержанием воды и величиной ударного объема крови. В целом отличительной особенностью является наличие у лиц, не занимающихся хоккеем с шайбой, большего числа средних и слабых связей, что отражает, по всей вероятности, большую гомеостатическую жесткость системы.

Проведенные наблюдения позволили выяснить некоторые особенности морфофизиологии здоровых мужчин среднего возраста. Установлено, что показатели длины и массы тела находятся в пределах возрастной нормы и соответствуют 50-75 центиллю общероссийской выборки населения [6] в отношении как хоккеистов, так и контрольной группы. Индекс массы тела у лиц, занимающихся спортом, соответствовал 50 центиллю, тогда как у лиц контрольной группы он располагался в пределах 50-75 центиля и находился на грани достоверности различий, у хоккеистов –  $26,7 \pm 0,44$ , у контрольной группы –  $28,2 \pm 0,67$  кг/м<sup>2</sup> ( $p=0,0642$ ) (табл. 1). Жировой компонент был существенно выше у лиц контрольной группы ( $26,9 \pm 0,86$  кг) по сравнению с участниками экспериментальной группы ( $23,9 \pm 0,55$  кг) ( $p=0,0045$ ) (табл. 1) и располагался в пределах 50-75 центиля общероссийской выборки населения [6]. Содержание воды и величина основного обмена были выше у хоккеистов,

но они, как и предыдущие показатели, не выходили за пределы возрастной нормы и соответствовали 50-75 центиллю (табл. 1) [6].

Физиологические особенности реакции сердечно-сосудистой системы и ее готовность к кардионагрузкам у хоккеистов и контрольной группы мы оценивали на основе ортостатического теста с помощью портативного кардиомонитора “Polar vantage v.2”. Этот тест обычно используется для оценки баланса между тренировкой и восстановлением [7-8]. В нашем случае после теста существенных различий между участниками экспериментальной и контрольной групп по данным ЧСС и RMSSD не выявлено (табл. 2). В то же время показано [9], что после игры величина RMSSD у хоккеистов 55-64 лет уменьшалась с 30,5 [26,5; 33,6] до 22,5 [18,4; 26,8] мс ( $p=0,051$ ) (в квадратных скобках представлен доверительный интервал 95%). Авторы отмечают, что при фоновом обследовании у пожилых хоккеистов также выявлены пониженные значения этих параметров, свидетельствующие о стабильной и длительной симпатикотонии [10]. Наши отличия можно объяснить тем, что для хоккеистов это был неигровой день, и нагрузочный тест проводился в покое.

Полученные нами данные весьма любопытны с точки зрения приобщения мужчин среднего возраста к регулярной физической активности средствами игровых видов спорта и, в частности, хоккея. Это касается не только уже мотивированных 45–59-летних мужчин, регулярно играющих в хоккей с шайбой, но и тех, кто хотел бы через эту игру приобщиться к здоровому образу жизни, снизить вес и повысить физические кондиции [11]. Считается, что мужчин можно приобщать к здоровому поведению на основе традиционных представлений об идеалах мужественности и силы, однако современные программы укрепления здоровья не обладают «мужской» привлекательностью и часто не могут привлечь и удержать мужчин среднего возраста [12-13]. В связи с этим

появились разработки программ укрепления здоровья мужчин, основанных на их интересе к хоккею с шайбой [14].

Мы классифицировали мужчин 45-59 лет как представителей среднего возраста согласно возрастной периодизации, принятой на Международном семинаре ВОЗ по проблемам геронтологии в Киеве в 1963 году [15, с. 62]. Многие исследователи придерживаются схемы возрастной периодизации онтогенеза человека, принятой на 7-ой Всесоюзной конференции по проблемам возрастной морфологии, физиологии и биохимии, АПН СССР, Москва (1962). С этих позиций группа мужчин, участвующая в наших исследованиях, может быть отнесена ко второму периоду зрелого возраста 36-60 лет [15, с. 65], что по сути является также средним возрастом, но с несколько более широкими границами. Четкая идентификация возраста при изучении влияния физических нагрузок на организм имеет важное значение, поскольку позволяет сравнивать результаты не только в пределах одной возрастной группы, но и по контрасту с другими возрастными группами. Это помогает глубже понять физиологические механизмы адаптации к физическим нагрузкам с учетом возрастного фактора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Montgomery, D. L. Physiology of ice hockey / D. L. Montgomery // Sports Med. – 1988. – Vol. 5. – № 2. – pp. 99-126. DOI: 10.2165/00007256-198805020-00003.
2. Maximal Oxygen Consumption Requirements in Professional North American Ice Hockey / Ferland P. M., Marcotte-L'Heureux V., Roy P. [et al] // J. Strength Cond. Res. – 2021. – Vol. 35. – № 6. – pp. 1586-1592. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003966.
3. Self-Regulation in High-Level Ice Hockey Players: An Application of the MuSt Theory / Ruiz M. C., Luojumäki R., Karvinen S. [et al] // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2021. – Vol. 18. – № 24. – Art. № 13317. DOI: 10.3390/ijerph182413317.
4. Психофизиологические особенности элитных хоккеистов 15-16 лет / Е. Ф. Сурина-Марышева, В. В. Эрлих, С. А. Кантюков, К. А. Наумова // Человек. Спорт. Медицина. – 2019. – Т. 19. – № 1. – С. 36-41. DOI: 10.14529/hsm190105.
5. Rønnestad, B. R. Block periodization of strength and endurance training is superior to traditional periodization in ice hockey players / B. R. Rønnestad, S. J. Øfsteng, S. Ellefsen // Scand. J. Med. Sci. Sports. – 2019. – Vol. 29. – № 2. – pp. 180-188. DOI: 10.1111/sms.13326.
6. Биоимпедансное исследование состава тела населения России / Руднев С. Г., Соболева Н. П., Стерликов С. А. [и др.] – М.: РИО ЦНИИОИЗ, 2014. – 499 с.
7. Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. / A. Kiviniemi, A. Hautala, H. Kinnunen, M. Tulppo // Eur. J. Appl. Physiol. – 2007. – Vol. 101. – № 6. – pp. 743-751.
8. Kim, D. H. Correlation between physical efficiency index using Harvard step test and heart rate variation in college students / D. H. Kim, Y. H. Cho,

- T. V. Seo // *J. Exerc. Rehabil.* – 2022. – Vol. 18. – № 6. – pp. 389-394. DOI: 10.12965/jer.2244400.200.
9. Елькин, А. А. Исследование наиболее значимых для коррекции компонентов функционального состояния у пожилых хоккеистов / А. А. Елькин, С. А. Парфёнов, Д. Д. Федотова // *Успехи геронтологии.* – 2020. – Т. 33. – № 1. – С. 127-130. DOI: 10.34922/AE.2020.33.1.017.
10. Дадашова, Г. Н. Гендерные и возрастные особенности вариабельности сердечного ритма у практически здоровых лиц / Г. Н. Дадашова // *Проф. мед.* – 2015. – Т. 18. – № 2. – С. 54-58.
11. Men's Perspectives of a Gender-Sensitized Health Promotion Program Targeting Healthy Eating, Active Living, and Social Connectedness / Sharp P., Bottorff J. L., Hunt K. [et al] // *Am. J. Mens Health.* – 2018. – Vol. 12. – № 6. – pp. 2157-2166. DOI: 10.1177/1557988318799159.
12. An Updated Review of Interventions that Include Promotion of Physical Activity for Adult Men / Bottorff J. L., Seaton C. L., Johnson S. T. [et al] // *Sports Med.* – 2015. – Vol. 45. – № 6. – pp. 775-800. DOI: 10.1007/s40279-014-0286-3.
13. Optimization of the Hockey Fans in Training (Hockey FIT) weight loss and healthy lifestyle program for male hockey fans / Blunt W., Gill D. P., Sibbald S. L. [et al] // *BMC Public Health.* – 2017. – Vol. 17. – № 1. – P. 916. DOI: 10.1186/s12889-017-4926-z.
14. The HAT TRICK programme for improving physical activity, healthy eating and connectedness among overweight, inactive men: study protocol of a pragmatic feasibility trial / Caperchione C. M., Bottorff J. L., Oliffe J. L. [et al] // *BMJ Open.* – 2017. – Vol. 7. – № 9 – Art. № e016940. DOI: 10.1136/bmjopen-2017-016940.
15. Возрастная физиология. В серии: Руководство по физиологии. – Л.: Изд-во «Наука», Ленингр. Отд, 1975. – 692 с.
1. Montgomery D.L. Physiology of ice hockey. *Sports Med*, 1988, vol.5, no. 2, pp. 99-126. DOI: 10.2165/00007256-198805020-00003.
2. Ferland P.M., Marcotte-L'Heureux V., Roy P., Carey V.D., Charron J., Lagrange S., Leone M., Comtois A.S. Maximal Oxygen Consumption Requirements in Professional North American Ice Hockey. *J. Strength Cond. Res*, 2021, vol. 35, no. 6, pp. 1586-1592. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003966.
3. Ruiz M.C., Luojumäki R., Karvinen S., Bortoli L., Robazza C. Self-Regulation in High-Level Ice Hockey Players: An Application of the MuSt Theory. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 24, art. no. 13317. DOI: 10.3390/ijerph182413317.
4. Surina-Marysheva E.F., Erlikh V.V., Kantyukov S.A., Naumova K.A. Psychophysiological Features in Elite Hockey Players Aged 15-16. *Human. Sport. Medicine*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 36-41. DOI: 10.14529/hsm190105. (in Russ.)
5. Rønnestad B.R., Øfsteng S.J., Ellefsen S. Block periodization of strength and endurance training is superior to traditional periodization in ice hockey players. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2019, vol. 29, no. 2, pp. 180-188. DOI: 10.1111/sms.13326.
6. Rudnev S.G., Soboleva N.P., Sterlikov S.A., Nikolaev D.V., Starunova O.A., Chernykh S.P., Kryukova T.A., Kolesnikov V.A., Melnichenko O.A., Ponomareva E.G. Bioimpedance study of body composition of the Russian population. M.: Russian Research Institute of Health, 2014. 499 p. (in Russ.)
7. Kiviniemi A.M., Hautala A.J., Kinnunen H., Tulppo M.P. Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur. J. Appl. Physiol*, 2007, vol. 101, no. 6, pp. 743-751.
8. Kim D.H., Cho Y.H., Seo T.B. Correlation between physical efficiency index using Harvard step test and heart rate variation in college students. *J. Exerc. Rehabil*, 2022, vol. 18, no. 6, pp. 389-394. DOI: 10.12965/jer.2244400.200.
9. El'kin A.A., Parfyonov S.A., Fedotova D.D. Study of the most significant for the correction components of the functional condition of elderly hockey players. *Advances in Gerontology*, 2020, vol. 33, no. 1, pp. 127-130. DOI: 10.34922/AE.2020.33.1.017. (in Russ.)
10. Dadashova GM. Gender- and age-related characteristics of heart rate variability in apparently healthy individuals. *Profilakticheskaya Meditsina*, 2015, vol. 18, no. 2, pp. 54-58. (in Russ.)
11. Sharp P., Bottorff J.L., Hunt K., Oliffe J.L., Johnson S.T. Men's Perspectives of a Gender-Sensitized Health Promotion Program Targeting Healthy Eating, Active Living, and Social Connectedness. *Am. J. Mens Health*, 2018, vol. 12, no. 6, pp. 2157-2166. DOI: 10.1177/1557988318799159.
12. Bottorff J.L., Seaton C.L., Johnson S.T., Caperchione C.M., Oliffe J.L., More K., Jaffer-Hirji H., Tillotson S.M. An Updated Review of Interventions

that Include Promotion of Physical Activity for Adult Men. *Sports Med*, 2015, vol. 45, no. 6, pp. 775-800. DOI: 10.1007/s40279-014-0286-3.

13. Blunt W., Gill D.P., Sibbald S.L., Riggin B., Pulford R.W., Scott R., Danylchuk K., Gray C.M., Wyke S., Bunn C., Petrella R.J. Optimization of the Hockey Fans in Training (Hockey FIT) weight loss and healthy lifestyle program for male hockey fans. *BMC Public Health*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 916. DOI: 10.1186/s12889-017-4926-z.

14. Caperchione C.M., Böttorff J.L., Oliffe J.L., Johnson S.T., Hunt K., Sharp P., Fitzpatrick K.M., Price R., Goldenberg S.L. The HAT TRICK programme for improving physical activity, healthy eating and connectedness among overweight, inactive men: study protocol of a pragmatic feasibility trial. *BMJ Open*, 2017, vol. 7, no. 9, art. no. e016940. DOI: 10.1136/bmjopen-2017-016940.

15. Developmental physiology. From the series: Guidelines on physiology. Leningrad: Nauka, 1975. 692 p. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Дина Андреевна Романова** – аспирант, Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, e-mail: din.romanova2016@yandex.ru.

**Сергей Иванович Логинов** – профессор, Владимирский государственный университет, имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, e-mail: logsi@list.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Dina Andreevna Romanova** – Post-Graduate Student, Vladimir State University, Vladimir, e-mail: din.romanova2016@yandex.ru.

**Sergej Ivanovich Loginov** – Professor, Vladimir State University, Vladimir, e-mail: logsi@list.ru.

**Для цитирования:** Морфофизиологические особенности мужчин 45-59 лет, играющих и не играющих в хоккей с шайбой / Д. А. Романова, С. И. Логинов // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_20

**For citation:** Romanova D.A., Loginov S.I. Morphophysiological features of men aged 45-59 playing and not playing ice hockey. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_20

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_21  
УДК 612.172.2

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_21  
UDC 612.172.2

## **ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РИТМА СЕРДЦА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ ТОНУСА ЦЕНТРОВ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ**

**Д.А. Скорлупкин, Е.К. Голубева, Л.Л. Ярченкова**

ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России, г. Иваново, Россия

**Аннотация.** Особенности тонуса вегетативных центров определяют проявления адаптации организма к постуральным изменениям. Цель исследования – изучить влияние постуральных изменений на вариабельность сердечного ритма (ВСР) в зависимости от тонуса отделов вегетативной нервной системы у студентов. Оценивали ВСР у 50 мужчин 18-20 лет при активном ортостазе, пассивном ортостазе и пассивном антиортостазе. Активный ортостаз приводит к активации симпатических механизмов у всех испытуемых. Это наиболее выражено у ваготоников, в меньшей степени – у симпатотоников. Пассивный ортостаз повышает активность симпатических кардиальных центров у нормотоников и ваготоников и не влияет на ВСР симпатотоников. В результате пассивного антиортостаза у нормотоников и ваготоников отмечается увеличение активности парасимпатических кардиальных центров.

**Ключевые слова:** постуральные изменения, вариабельность ритма сердца, вегетативная нервная система.

## **THE EFFECT OF BODY POSITION ON HEART RATE VARIABILITY DEPENDING ON THE FEATURES OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM CENTERS TONE**

**D.A. Skorlupkin, E.K. Golubeva, L.L. Yarchenkova**

Ivanovo State Medical Academy, Ivanovo, Russia

**Annotation.** The features of the autonomic nervous system centers tone determine the body's adaptation signs to postural changes. The aim of the research was to study the effect of postural changes on heart rate variability (HRV) depending on the tone of the autonomic nervous system divisions in students. We have evaluated HRV in 50 men aged 18-20 years with active orthostasis, passive orthostasis and passive antiorthostasis. Active orthostasis leads to activation of sympathetic mechanisms in all subjects. This is most pronounced in vagotonics and to a lesser extent in sympathotonics. Passive orthostasis increases the activity of sympathetic cardiac centers in normotonics and vagotonics and does not affect the HRV of sympathotonics. As a result of passive antiorthostasis, an increase in the activity of parasympathetic cardiac centers was found in normotonics and vagotonics.

**Keywords:** postural changes, heart rate variability, autonomic nervous system.

**Введение.** Изменение положения тела в пространстве является неотъемлемой частью повседневной жизнедеятельности человека. Тоническое напряжение скелетной мускулатуры позволяет обеспечить устойчивое положение тела в условиях гравитации. Под действием силы тяжести происходит перераспределение циркулирующей крови. Изменение гидростатического давления в крупных сосудах оказывает

влияние на характер импульсной активности рефлексогенных зон каротидного синуса, дуги аорты, легочных сосудистых сплетений. Это является фактором активации регуляторных механизмов, направленных на обеспечение адекватного кровоснабжения тканей и поддержание постоянства внутренней среды организма [1-2].

Адаптивный ответ связан, прежде всего, с изменением работы сердца [3]. Ведущую



роль в механизмах системной регуляции сердечной деятельности играет вегетативная нервная система (ВНС). Уровень тонической активности её симпатического и парасимпатического отдела во многом определяет индивидуальные особенности приспособительных реакций, сопровождающихся изменением сердечного ритма [4].

Цель исследования – изучить влияние поструральных изменений на ВСР в зависимости от тонуса отделов вегетативной нервной системы у студентов.

**Методы и организация исследования.** Обследовано 50 практически здоровых студентов-мужчин 18-20 лет. Все испытуемые дали письменное информированное согласие на участие в исследовании, протокол которого утвержден этическим комитетом ФГБОУ ИвГМА Минздрава России.

Регистрацию электрокардиограммы (ЭКГ) проводили в первом стандартном отведении с использованием АПК «Полиспектр» («Нейрософт», г. Иваново) в течение 5 минут в горизонтальном положении (контроль), при активном ортостазе, пассивном ортостазе (угол наклона – 25°) и пассивном антиортостазе (угол наклона – 15°) [5]. Анализируемые ЭКГ в среднем содержали от 350 до 400 кардиоциклов в каждом положении.

Определяли частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), длительность сердечного цикла (RRNN, мс), процент пар NN-интервалов, отличающихся между собой более чем на 50 мс (pNN50, %), стандартное отклонение значений NN-интервалов (SDNN, мс), нормализованную мощность спектра в диапазоне низких частот (LFnorm, усл.ед.), нормализованную мощность спектра в диапазоне высоких частот (HFnorm, усл.ед.), симпатовагальный индекс (LF/HF, усл.ед.), мощность спектра в диапазоне высоких частот (HF, мс<sup>2</sup>), долю мощности спектра в диапазоне высоких частот (HF, %), максимальное значение мощности спектра в диапазоне высоких

частот (HFmx, мс<sup>2</sup>/Гц\*1000), среднее значение мощности спектра в диапазоне высоких частот (HFav, мс<sup>2</sup>/Гц), вариационный размах (BP, с), показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР, усл.ед.), медиану (Me, с), амплитуду моды (AMo, %), ширину облака скаттерограммы (ell\_w, мс) [6]. Рассчитывали отклонение показателей ВСР при поструральных изменениях от контрольных значений ( $\Delta$ ).

Тонус центров вегетативной нервной системы оценивали по ЧСС в состоянии покоя. На основании этого испытуемые были разделены на три группы: нормотоники (ЧСС составляла 60-80 уд/мин), ваготоники (ЧСС менее 60 уд/мин) и симпатотоники (ЧСС превышала 80 уд/мин).

Анализ результатов производили в электронных таблицах Excel и программе Statistica. Нормальность распределения оценивали по критериям Колмогорова-Смирнова (при  $n \geq 50$ ) и Шапиро-Уилка (при  $n < 50$ ). Рассчитывали медиану и интерквартильный размах (Me [Q1; Q3]). Достоверность различий определяли с использованием критериев Вилкоксона и Манна-Уитни. Различия считали статистически значимыми при  $p \leq 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Активный ортостаз сопровождается возбуждением симпатического отдела ВНС, что подтверждается увеличением таких среднестатистических параметров, как LFnorm и LF/HF (табл. 1). Влияние симпатической системы проявляется повышением генераторной активности синоантриального узла, сопровождающимся увеличением ЧСС и укорочением сердечного цикла. При этом вариационный размах становится значительно меньше. Функциональная активность парасимпатического звена регуляции в результате активного ортостаза снижается, на что указывает уменьшение HF и его доли в общей мощности спектра. Это подтверждается значительным уменьшением pNN50 и SDNN [7].

Таблица 1

Вариабельность сердечного ритма при активном и пассивном ортостазе у мужчин,  
Me [Q1; Q3]

Показатель	Активный ортостаз		Пассивный ортостаз	
	Контроль (n=50)	Ортостаз (n=50)	Контроль (n=50)	Ортостаз (n=50)
LFnorm, усл.ед.	38,30 [31,30; 53,60]	81,20 [73,10; 87,50] * (p<0,0001)	38,00 [29,60; 49,90]	50,20 [34,90; 59,80] * (p=0,006); # (p<0,0001)
HFnorm, усл.ед.	61,70 [46,40; 68,70]	18,80 [12,50; 26,90] * (p<0,0001)	62,00 [50,10; 71,50]	49,80 [40,20; 65,10] * (p=0,004); # (p<0,0001)
LF/HF, усл.ед.	0,62 [0,46; 1,15]	4,31 [2,71; 6,98] * (p<0,0001)	0,61 [0,40; 1,00]	1,01 [0,54; 1,49] * (p=0,004); # (p<0,0001)
ЧСС, уд/мин	64,70 [57,80; 71,40]	92,50 [83,50; 102,00] * (p<0,0001)	62,35 [59,30; 69,10]	64,00 [61,10; 71,30] * (p=0,003); # (p<0,0001)
RRNN, мс	927,00 [840,00; 1038,00]	649,00 [588,00; 719,00] * (p<0,0001)	962,50 [868,00; 1012,00]	937,00 [841,00; 982,00] * (p=0,003); #(p<0,0001)
BP, с	0,51 [0,35; 0,70]	0,26 [0,21; 0,31] * (p<0,0001)	0,45 [0,38; 0,66]	0,45 [0,35; 0,68] # (p<0,0001)
HF, мс <sup>2</sup>	1803,00 [1050,00; 3501,00]	187,00 [97,00; 433,00] * (p<0,0001)	1880,00 [939,00; 3358,00]	1181,50 [712,00; 3398,00] # (p<0,0001)
HF, %	40,80 [27,80; 49,80]	11,00 [7,10; 19,60] * (p<0,0001)	42,25 [31,40; 54,70]	33,35 [18,90; 44,50] * (p=0,0001); # (p<0,0001)
pNN50, %	34,90 [19,40; 50,30]	1,90 [0,70; 7,00] * (p<0,0001)	34,70 [24,30; 52,90]	28,80 [16,10; 45,60] * (p=0,003); # (p<0,0001)
SDNN, мс	68,00 [56,00; 92,00]	40,00 [34,00; 56,00] * (p<0,0001)	68,00 [54,00; 81,00]	65,50 [56,00; 88,00] # (p<0,0001)

Примечание: \* – статистически значимые различия с контролем, # – статистически значимые различия отклонения показателей от контроля при активном и пассивном ортостазе (p≤0,05); LFnorm – нормализованную мощность спектра в диапазоне низких частот; HFnorm – нормализованную мощность спектра в диапазоне высоких частот; LF/HF – симпатовагальный индекс; ЧСС – частота сердечных сокращений; RRNN – длительность сердечного цикла; BP – вариационный размах; HF, мс<sup>2</sup> – мощность спектра в диапазоне высоких частот; HF, % – доля мощности спектра в диапазоне высоких частот; pNN50 – процент пар NN-интервалов, отличающихся между собой более чем на 50 мс; SDNN – стандартное отклонение значений NN-интервалов

При пассивном ортостазе также происходит увеличение активности симпатических вегетативных центров на фоне уменьшения влияния на сердце блуждающего нерва. На это указывает повышение  $LF_{norm}$  и снижение  $HF_{norm}$ , что, сопровождается приростом соотношения  $LF/HF$ . Кроме того, уменьшение степени возбуждения парасимпатического отдела ВНС при пассивном ортостазе проявляется снижением  $pNN50$  и увеличением ЧСС по сравнению с контролем. Однако изменение этих показателей выражено в меньшей степени, чем при активном ортостазе.

При пассивном антиортостазе отмечается увеличение  $ell_w$ , что отражает

нарастание вариативности значений R-R интервалов. В горизонтальном положении медианное значение этого показателя составляет 77,00 [53,00; 110,00] мс, а при пассивном антиортостазе – 84,00 [54,00; 114,00] мс ( $p=0,05$ ). ПАПР уменьшается до 36,45 [30,40; 47,60] по сравнению с 41,90 [31,30; 52,50] в контроле ( $p=0,04$ ). Описанные изменения свидетельствуют о смещении вегетативного баланса в сторону парасимпатических влияний [8].

При активном ортостазе у ваготоников в большей степени выражено укорочение RRNN и Me, чем у нормотоников и симпатотоников (табл. 2).

Таблица 2

Изменение вариабельности сердечного ритма при активном ортостазе в зависимости от тонуса вегетативной нервной системы испытуемых, Me [Q1; Q3]

Показатель	Нормотоники (n=29)	Ваготоники (n=15)	Симпатотоники (n=6)
$\Delta RRNN$ , мс	-258,00 [-302,00; -203,50]	-390,00 [-446,00; -305,00] * ( $p<0,0001$ )	-155,50 [-171,00; -138,00] ^ ( $p=0,009$ ); # ( $p=0,003$ )
$\Delta Me$ , с	-0,25 [-0,30; -0,22]	-0,39 [-0,46; -0,30] * ( $p=0,02$ )	-0,14 [-0,16; -0,12] ^ ( $p=0,03$ ); # ( $p=0,003$ )
$\Delta HF$ , мс <sup>2</sup>	-1170,00 [-1870,00; -619,00]	-3009,50 [-4945,00; -1183,00] * ( $p=0,006$ )	-2704,00 [-5283,00; -2109,00]
$\Delta HF_{mx}$ , мс <sup>2</sup> /Гц*1000	-32,10 [-68,35; -14,75]	-84,20 [-181,10; -39,60] * ( $p=0,01$ )	-36,65 [-56,90; -24,10]
$\Delta HF_{av}$ , мс <sup>2</sup> /Гц	-4,75 [7,85; -2,45]	-12,50 [-22,60; -4,80] * ( $p=0,009$ )	-9,60 [-16,00; -4,10]

Примечание: \* – статистически значимые различия показателей у нормотоников и ваготоников; ^ – статистически значимые различия показателей у нормотоников и симпатотоников; # – статистически значимые различия показателей у симпатотоников и ваготоников ( $p \leq 0,05$ );  $\Delta$  – отклонение показателей ВСП при постральных изменениях от контрольных значений; RRNN – длительность сердечного цикла; Me – медиана; HF – мощность спектра в диапазоне высоких частот;  $HF_{mx}$  – максимальное значение мощности спектра в диапазоне высоких частот;  $HF_{av}$  – среднее значение мощности спектра в диапазоне высоких частот

Кроме того, у мужчин этой группы отмечается более выраженное уменьшение HF, HFmx и HFav в сравнении с нормотониками. Также у ваготоников и нормотоников уменьшается доля компонента HF в спектре ВСП, что сопровождается снижением показателя рNN50. У нормотоников в контроле HF составляет 38,45 [28,25; 48,78]%, рNN50 – 33,50 [20,23; 43,53]%, при активном ортостазе HF – 10,90 [7,10; 11,75]%, рNN50 – 1,35 [0,68; 3,65]%. У ваготоников в контроле HF – 46,50 [41,05; 51,95]%, рNN50 – 52,40 [31,00; 62,80]%, при активном ортостазе HF – 9,30 [6,80; 12,80]%, рNN50 – 6,30 [1,55; 10,00]%. Эти изменения указывают на то, что у ваготоников активность симпатического звена регуляции при активном ортостазе наиболее выражена [9].

У симпатотоников нарастание степени симпатических влияний на сердечный ритм выражено незначительно, вероятно, вследствие более высокого тонуса симпатических центров в покое.

При пассивном ортостазе, также сопровождающимся увеличением напряжения симпатических механизмов регуляции, у нормотоников и ваготоников возрастает процент VLF на фоне снижения доли HF в суммарной мощности спектра (табл. 3). У испытуемых этих групп увеличивается ЧСС и укорачивается RRNN. Сравнительный анализ степени отклонения параметров у нормотоников и ваготоников показал отсутствие статистически значимых различий. У симпатотоников ВСП при пассивном ортостазе не изменяется.

Таблица 3

Вариабельность сердечного ритма при пассивном ортостазе в зависимости от тонуса вегетативной нервной системы испытуемых, Ме [Q1; Q3]

Показатель	Нормотоники (n=29)	Ваготоники (n=15)	Симпатотоники (n=6)
HF, %			
Контроль	38,60 [29,40; 52,40]	50,70 [37,85; 55,30]	42,20 [36,50; 49,93]
Пассивный ортостаз	29,10 [17,35; 40,60] * (p=0,002)	43,10 [27,50; 51,10] * (p=0,02)	30,25 [25,10; 36,95]
VLF, %			
Контроль	27,80 [20,80; 42,82]	25,30 [17,40; 41,75]	26,90 [24,23; 28,18]
Пассивный ортостаз	40,20 [21,10; 55,40] * (p=0,007)	35,80 [29,25; 47,80] * (p=0,03)	30,60 [24,65; 38,43]
ЧСС, уд/мин			
Контроль	65,30 [60,55; 69,35]	52,60 [51,25; 60,00]	79,80 [75,23; 84,23]
Пассивный ортостаз	66,90 [63,90; 71,80] * (p=0,004)	56,00 [53,95; 63,45] * (p=0,0009)	79,45 [78,05; 81, 58]
RRNN, мс			
Контроль	920,00 [865,00; 991,00]	1140,00 [1000,00; 1171,50]	789,00 [771,25; 797, 50]
Пассивный ортостаз	897,00 [835,00; 939,50] * (p=0,0004)	1072,00 [946,00; 1113,00] * (p=0,0009)	763, 50 [755,00; 781,75]

Примечание: \* – статистически значимые различия с контролем (p≤0,05); HF – доля мощности спектра в диапазоне высоких частот; VLF – доля мощности спектра в диапазоне очень низких частот; ЧСС – частота сердечных сокращений; RRNN – длительность сердечного цикла

Оценка ВСР при пассивном антиортостазе позволила выявить увеличение HFmx у нормотоников. В горизонтальном положении значение этого показателя составило 37,25 [19,00; 71,15]  $\text{мс}^2/\text{Гц} \cdot 1000$ , при пассивном антиортостазе HFmx – 48,35 [21,50; 89,30]  $\text{мс}^2/\text{Гц} \cdot 1000$  ( $p=0,05$ ). Также у нормотоников увеличивается  $e11\_w$  до 90,20 [56,00; 109,00] мс, в горизонтальном положении  $e11\_w$  равна 73,00 [53,00; 87,00] мс ( $p=0,05$ ). У ваготоников АМо снижается до 33,20 [23,90; 36,70]%, которая в горизонтальном положении составляет 36,60 [25,90; 47,50]% ( $p=0,003$ ), что свидетельствует об увеличении вариативности R-R интервалов [10]. Это позволяет говорить об активации вагусных влияний на сердечный ритм у

нормотоников и ваготоников. У симпатотоников показатели ВСР при пассивном антиортостазе не изменяются.

**Заключение.** Таким образом, активный и пассивный ортостаз сопровождаются активацией симпатических механизмов регуляции деятельности сердца. При активном ортостазе симпатические влияния в большей степени выражены у ваготоников и в меньшей – у симпатотоников, тогда как пассивный ортостаз проявляется увеличением симпатической активности только у нормотоников и ваготоников. Пассивный антиортостаз проявляется активацией парасимпатических вегетативных центров у нормотоников и ваготоников при отсутствии эффекта у симпатотоников.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Функциональное состояние спортсменов при тестирующих нагрузках / Ванюшин Ю. С., Елистратов Д. Е., Ишмухаметова Н. В. [и др.] // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2020. – Т. 15. – № 1. – С. 152-157. DOI: 10.14526/2070-4798-2020-15-1-152-157.
3. The Postural Effect on Electrical Activities of Heart in Apparently Healthy Young Adults / Chaudhary S., Ranamaga R., Shrestha L. [et al] // Kathmandu University Medical Journal. – 2021. – № 19. – pp. 499-502.
4. Лоскутова, А. Н. Вариабельность сердечного ритма у подростков с различным уровнем активности вегетативной нервной системы при ортостатической пробе / А. Н. Лоскутова, А. Л. Максимов // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2013. – №4. – С. 104-110.
5. Тишутин, Н. А. Возможности и ограничения в применении сверхкоротких записей вариабельности сердечного ритма / Н. А. Тишутин, И. Н. Рубченя // Sport Science Journal. – 2021. – № 4. – Т. 3. – С. 42-49. DOI: 10.28942/ssj.v3i4.390.
6. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability /

- Tiwari R., Kumar R., Malik S. [et al] // Current Cardiology Reviews. – 2021. – № 17(5). DOI: 10.2174/1573403X16999201231203854.
7. Методы исследования сердечного ритма по данным ЭКГ: вариабельность сердечного ритма и дисперсионное картирование (Обзорная статья) / Новиков Е. М., Стеблецов С. В., Ардашев В. Н. [и др.] // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2019. – № 4. – С. 81-89. DOI: 10.26269/4t6g-mx35.
8. Митев, А. А. Изменение показателей сердечного ритма под влиянием антиортостатической нагрузки / А. А. Митев, М. С. Урусова, А. Г. Янушко // Известия Российской военно-медицинской академии. – 2020. – Т. 2. – № 1. – С. 112-114.
9. Об особенностях ортостатической реакции у спортсменов с разными типами вегетативной регуляции / Н. И. Шлык, Е. Н. Сапожникова, Т. Г. Кириллова, А. А. Жужгов // Вестник Удмуртского университета. – 2012. – № 1. – С. 114-125.
10. Дьячкова, Т. В. Изменение показателей вариабельности сердечного ритма студентов в процессе учебной деятельности / Т. В. Дьячкова // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 2. – № 3. – С. 50-53.

#### REFERENCES

1. Griбанov A.V., Sherstennikova A.K. Physiological mechanisms of human postural balance regulation (review). *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Journal of Medical and Biological Research*, 2013, no. 4, pp. 20-29. (in Russ.)

2. Vanyushin Yu.S., Elistratov D.E., Ishmukhmetova N.V., Galimov D.R., Il'in S.N. The functional state of athletes during testing loads. *Russian Journal of Physical Education and Sport*, 2020, no. 1, vol. 15, pp. 152-157. DOI: 10.14526/2070-4798-2020-15-1-152-157. (in Russ.)
3. Chaudhary S., Ranamagar R., Shrestha L., Pun D.B., Karmacharya P., Mahotra N.B. The Postural Effects on Electrical Activities of Heart in Apparently Healthy Young Adults. *Kathmandu University Medical Journal*, 2021, no. 19, pp. 499-502.
4. Loskutova A.N., Maksimov A.L. Heart rate variability demonstrated by adolescents with different levels of vegetative nervous system activity at the orthostatic test. *The Bulletin of the North-East Scientific Center of FEB RAS*. 2013. no. 4. pp. 104-110. (in Russ.)
5. Tishutin N.A., Rubchenya I.N. Possibilities and restrictions in the application of ultra-short heart rate variability records. *Sport Science Journal*, 2021, no 4, vol. 3, pp. 42-49. DOI: 10.28942/ssj.v3i4.390. (in Russ.)
6. Tiwari R., Kumar R., Malik S., Raj T., Kumar P. Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. *Current Cardiology Reviews*, 2021, no 17(5). DOI: 10.2174/1573403X16999201231203854. (in Russ.)
7. Novikov E.M., Stebletsov S.V., Ardashev V.N., Kirillova T.B., Tarabarina N.B. ECG-based investigation methods: heart rate variability and dispersion mapping (Literature review). *Kremlin Medicine Journal*, 2019, no. 4, pp. 81-89. DOI: 10.26269/4t6g-mx35. (in Russ.)
8. Mitev A.A., Urusova M.S., Yanushko A.G. Changes in heart rate indicators under the influence of anti-orthostatic load. *Russian Military Medical Academy Reports*, 2020, no. 1, vol. 2, pp. 112-114. (in Russ.)
9. Shlyk N.I., Sapozhnikova E.N., Kirillova T.G., Zhuzhgov A.P. About the peculiarities of orthostatic reaction of sportsmen with different types of vegetative regulation. *Bulletin of the Udmurt University*, 2012, no. 1, pp. 114-125. (in Russ.)
10. D'yachkova T.V. Changes in the heart rate variability of students in the process of educational activity. *Successes of modern science*, 2016, no. 3, vol. 2, pp. 50-53. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Дмитрий Андреевич Скорлупкин** – аспирант кафедры нормальной физиологии, ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России, e-mail: sk\_dmit96@mail.ru.

**Елена Константиновна Голубева** – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры нормальной физиологии, ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России, e-mail: elkgol@yandex.ru.

**Лариса Леонидовна Ярченкова** – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой, функциональной и клинической лабораторной диагностики ИПО, ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России, e-mail: yarchenkova@yandex.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Dmitrij Andreevich Skorlupkin** – Post-Graduate Student of the Department of Normal Physiology, Ivanovo State Medical Academy, e-mail: sk\_dmit96@mail.ru.

**Elena Konstantinovna Golubeva** – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Normal Physiology, Ivanovo State Medical Academy, e-mail: elkgol@yandex.ru.

**Larisa Leonidovna Yarchenkova** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Radiation, Functional and Clinical Laboratory Diagnostics, Vocational Training Institute, Ivanovo State Medical Academy, e-mail: yarchenkova@yandex.ru.

**Для цитирования:** Влияние положения тела на вариабельность ритма сердца в зависимости от особенностей тонуса центров вегетативной нервной системы / Д. А. Скорлупкин, Е. К. Голубева, Л. Л. Ярченкова // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_21

**For citation:** Skorlupkin D.A., Golubeva E.K., Yarchenkova L.L. The effect of body position on heart rate variability depending on the characteristics of the autonomic nervous system centers tone. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_21

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_22  
УДК 612.821.1

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_22  
UDC 612.821.1

## ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА БОРЦОВ В СРАВНЕНИИ С ЛИЦАМИ, НЕ ЗАНИМАЮЩИМИСЯ СПОРТОМ

Н.Ю. Тарабрина<sup>1</sup>, Н.П. Мишин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

**Аннотация.** С целью изучения особенностей электрической активности мозга борцов в сравнении с лицами, не занимающимися спортом, у 60 юношей 19-20 лет (30 борцов и 30 неспортсменов), анализировали частотные диапазоны дельта-, тета-, альфа-, бета-1 и бета-2 ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в состоянии покоя. Показано, что у борцов нейронное преимущество перед неспортсменами выражено только в снижении колебаний альфа-ритма. Вовлечение меньшего количества нейронных ресурсов без снижения эффективности подтверждает гипотезу «нейронной гибкости» работы мозга спортсменов.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, электрическая активность мозга, борцы, спортсмены, неспортсмены, центральная нервная система.

## FEATURES OF THE ELECTRICAL ACTIVITY OF THE WRESTLERS' BRAIN IN COMPARISON WITH PEOPLE WHO DO NOT PLAY SPORTS

N.Yu. Tarabrina<sup>1</sup>, N.P. Mishin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

<sup>2</sup>V.I. Vernadskij Crimean Federal University, Simferopol, Russia

**Annotation.** In order to study the features of the electrical activity of the wrestlers' brain in comparison with non-athletes, the authors of this study have analyzed the frequency ranges of delta, theta, alpha, beta 1 and beta 2 rhythms of the electroencephalogram at rest in 60 boys aged 19-20 (30 wrestlers and 30 non-athletes) years. It is shown that the neural advantage of wrestlers over non-athletes is expressed only in a decrease in alpha rhythm fluctuations. The involvement of fewer neural resources without reducing efficiency confirms the hypothesis of "neural flexibility" of the athletes' brain.

**Keywords:** EEG, electrical activity of the brain, wrestlers, athletes, non-athletes, central nervous system.

**Введение.** Биоэлектрическая активность головного мозга спортсменов сегодня все чаще привлекает внимание нейробиологов, так как спортсмены элитного уровня являются идеальной моделью для изучения нейронных адаптаций, связанных с интенсивными тренировками и спецификой двигательной деятельности [1]. Сегодня успех в спортивной борьбе зависит не только от превосходной физической формы, но и от эмоционально-психологической устойчивости, когнитивной выносливости, индивидуально-личностных качеств, характера спортсмена и в целом от уровня

когнитивно-психологической подготовленности [2].

Среди современных методов нейровизуализации, таких как функциональная магнитная резонансная томография, электроэнцефалография (ЭЭГ), ближняя инфракрасная топография и спектроскопия, благодаря неинвазивному характеру и высокому временному разрешению наиболее широко применяется метод ЭЭГ [3]. Стоит сказать, что ЭЭГ является одним из старейших методов оценки взаимосвязи между мозгом и поведением, и многие исследователи сходятся во мнении, что он позволяет

получить представление о нейронных механизмах, лежащих в основе спортивных результатов [3-4].

За последние 10 лет за рубежом опубликованы два обширных нарративных обзора, посвященных изучению ЭЭГ-профилей спортсменов [3-4]. Однако работ, в которых изучаются различия между нейронными профилями спортсменов-борцов и лиц, не занимающихся спортом, а именно мета-анализов, количественно определяющих разницу между ними, недостаточно.

Цель работы – изучить особенности электрической активности мозга борцов в сравнении с лицами, не занимающимися спортом.

#### **Методы и организация исследования.**

Для выявления различий между спортсменами и неспортсменами в характеристиках центральной нервной системы (ЦНС) на нейронном уровне у 60 юношей 19-20 лет – 30-ти спортсменов, занимающихся спортивной борьбой, имеющих квалификацию КМС и МС (спортсмены) и 30 условно здоровых юношей, не занимающихся спортом (неспортсмены), анализировали частотные диапазоны дельта-, тета-, альфа- и бета-1 и бета-2 ритмов в качестве основных показателей ЭЭГ-активности коры головного мозга. Отведение и анализ ЭЭГ осуществляли по общепринятой методике с использованием автоматизированного комплекса, состоящего из электроэнцефалографа ЭЭГ-16S (“Medicor”, Венгрия), лабораторного интерфейса и компьютера IBM PC. Для регистрации ЭЭГ была выбрана стандартная полоса частот усилительного тракта (верхняя граница частотного диапазона – 70 Гц, постоянная времени, определяющая нижнюю границу – 0,3 с). Сигналы обрабатывали с использованием преобразования Фурье, получая для анализа спектры мощности ЭЭГ. Для этой цели использовали программу Polygraph (программист – А.В. Сухинин). Текущую ЭЭГ регистрировали в 2 отведениях (С3 и С4) по стандартной системе «10-20». Данный

выбор основывался на том, что ЭЭГ, регистрируемая в центральных отведениях, отражает моторные компоненты, а также на том, что в центральных отведениях регистрируются все три компонента альфа-ритма [5]. Запись ЭЭГ потенциалов проводилась в три эпохи по 15 серий в каждой: закрытые глаза (ЗГ), открытые глаза (ОГ), закрытые глаза (ЗГ). Статистический анализ данных проводили с использованием программы Microsoft Excel и программы STATISTICA 10.0. Достоверность различий определяли по критерию Манна-Уитни.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Представленные в таблице данные показывают, что самым низкочастотным является дельта-ритм, представленный в картине текущей ЭЭГ медленными волнами с частотой 1-4 Гц [5]. Так как в ЭЭГ здорового человека он наиболее выражен во время сна, то отсутствие достоверных различий по этому диапазону между двумя изучаемыми группами вполне понятно (табл.).

Тета-ритм складывается из ритмических колебаний частотой 4-8 Гц. Генерацию тета-колебаний активируют лобные корковые области, которые отвечают за процессы внимания [1, 4]. Поэтому лобная тета-активность считается показателем внимания и повышенной умственной активности.

Как видно из данных, представленных в таблице, в наших исследованиях не выявлено достоверных различий по этому показателю. Вероятно, это связано с тем, что дизайн исследования не подразумевал повышенную умственную нагрузку, все участники обследовались в обычном психическом состоянии, и перед ними не ставилась задача вкладывать интенсивные умственные усилия.

Альфа-ритм состоит из волн частотой 8-14 Гц. Он является наиболее доминирующей частотой в ЭЭГ взрослых и отражает тормозную функцию, а также наиболее широко изучается в научной литературе [6-9].



Таблица

Показатели нормированной мощности ритмов электроэнцефалограммы, зарегистрированной у спортсменов (n=30) и лиц, не занимающихся спортом (n=30), мкВ<sup>2</sup>/Гц, M±m

Показатели	Спортсмены	Неспорс- мены	Разница, %	P
ДЕЛЬ_ЗГ_ЛП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	1,81±0,09	1,91±0,09	5,52	0,497293
ДЕЛЬ_ЗГ_ПП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	1,80±0,09	1,96±0,10	8,88	0,205889
ТЕТА_ЗГ_ЛП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	1,35±0,07	1,42±0,07	5,18	0,484350
ТЕТА_ЗГ_ПП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	1,35±0,07	1,39±0,06	2,96	0,440522
АЛЬФ_ЗГ_ЛП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	1,23±0,10	1,44±0,10	17,07	<b>0,054149</b> ♦
АЛЬФ_ЗГ_ПП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	1,21±0,10	1,42±0,10	17,35	<b>0,038723</b> ♦
БЕТ1_ЗГ_ЛП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	0,48±0,04	0,53±0,03	10,41	0,314667
БЕТ1_ЗГ_ПП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	0,46±0,04	0,51±0,03	10,86	0,393335
БЕТ2_ЗГ_ЛП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	0,31±0,03	0,29±0,03	-6,45	0,571646
БЕТ2_ЗГ_ПП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	0,28±0,03	0,28±0,03	0	0,958990
ДЕЛЬ_ОГ_ЛП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	1,60±0,06	1,69±0,05	5,62	0,271156
ДЕЛЬ_ОГ_ПП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	1,64±0,07	1,78±0,06	8,53	0,113249
ТЕТА_ОГ_ЛП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	1,19±0,04	1,26±0,04	5,88	0,271156
ТЕТА_ОГ_ПП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	1,22±0,05	1,33±0,05	9,01	0,113249
АЛЬФ_ОГ_ЛП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	0,85±0,05	1,03±0,06	21,17	<b>0,010140</b> ♦♦
АЛЬФ_ОГ_ПП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	0,83±0,06	0,99±0,05	19,27	<b>0,017519</b> ♦
БЕТ1_ОГ_ЛП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	0,40±0,02	0,47±0,03	17,5	0,188050
БЕТ1_ОГ_ПП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	0,40±0,03	0,44±0,02	10,0	0,459021
БЕТ2_ОГ_ЛП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	0,28±0,03	0,30±0,03	7,14	0,837038
БЕТ2_ОГ_ПП, мкВ <sup>2</sup> /Гц	0,26±0,02	0,29±0,03	11,53	0,813017

Примечание: ДЕЛЬ, ТЕТА, АЛЬФ, БЕТ – ритмические составляющие ЭЭГ; ЗГ – закрытые глаза; ОГ – открытые глаза; ЛП – левое полушарие; ПП – правое полушарие; ♦ – p<0,05; ♦♦ – p<0,01; достоверность различий по критерию Манна-Уитни

В наших исследованиях определено, что альфа-ритм спортсменов и неспортсменов статистически различается (табл.). Так, у спортсменов при закрытых глазах в правом полушарии он составил 1,21±0,10 мкВ<sup>2</sup>/Гц, а в левом – 1,23±0,10 мкВ<sup>2</sup>/Гц, а при открытых глазах – 0,83±0,06 мкВ<sup>2</sup>/Гц и 0,85±0,05 мкВ<sup>2</sup>/Гц соответственно. У неспортсменов при закрытых глазах в правом полушарии этот показатель составил 1,42±0,10 мкВ<sup>2</sup>/Гц и 1,44±0,10 мкВ<sup>2</sup>/Гц, а при открытых глазах – 0,99±0,05 мкВ<sup>2</sup>/Гц и 1,03±0,06 мкВ<sup>2</sup>/Гц соответственно. При закрытых глазах

разница диапазона альфа-волн между двумя группами в левом полушарии составила 17,07% (p<0,05), а в правом – 17,35% (p<0,05). С открытыми глазами в левом полушарии разница составила 21,17% (p<0,01), а в правом – 19,27% (p<0,05).

Электрические колебания коры головного мозга на частоте 14-30 Гц (бета-ритм) отражают обработку информации, связанную с моторикой [9]. Более низкая мощность бета-ритма указывает на повышенную возбудимость нейронов моторной коры, что связано с более быстрыми

двигательными реакциями [8]. Недавние исследования нейровизуализации показали, что снижение мощности бета-ритма у спортсменов возникает при воображении или наблюдении за движением, что приводит к увеличению умственной вовлеченности в обработку, связанную с моторикой [8]. В наших исследованиях выявлено, что группа спортсменов имела более низкие значения бета-ритма по сравнению с неспортсменами, что указывает на повышенную возбудимость нейронов

моторной коры, однако обнаруженные различия не достигли статистической значимости.

Анализ коэффициента реактивности, который характеризует динамические свойства корковых нейронов при поступлении зрительных сигналов в кору и прерывании потока сенсорных (зрительных) сигналов в экспериментальной парадигме (Закрытые\_Открытые\_Закрытые) рассчитывали, как отношение мощности альфа-ритма при открытых глазах к закрытым.

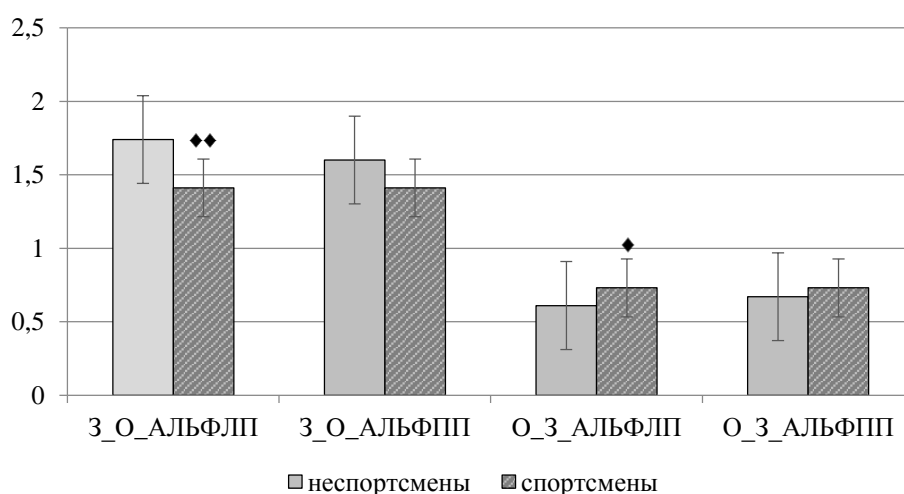


Рис. Значения коэффициента реактивности альфа-ритма электроэнцефалограммы у спортсменов (n=30) и неспортсменов (n=30)

Примечание: АЛЬФ – альфа-ритм ЭЭГ; 3 – закрытые глаза; О – открытые глаза; ЛП – левое полушарие; ПП – правое полушарие; ♦ –  $p < 0,05$ ; ♦♦ –  $p < 0,01$ ; достоверность различий по критерию Манна-Уитни

Как показано на рисунке, у спортсменов более выраженная альфа-десинхронизация в левом полушарии, отраженная в коэффициенте реактивности (О\_3), указывает на функциональный дисбаланс активации мозга, предполагая повышенную кортикальную активацию в ответ на стимул, разница по этому параметру составила 20% ( $p < 0,05$ ). С другой стороны, у спортсменов обнаружена альфа-синхронизация в левом полушарии, отраженная в параметре (3\_О) на уровне  $1,74 \pm 0,41$  усл.ед против  $1,41 \pm 0,22$  усл.ед. у лиц, не занимающихся спортом. Разница по этому показателю составила 18% ( $p < 0,01$ ), что вероятно представляет собой

функциональный коррелят торможения, который часто наблюдается в спокойном состоянии. В правом полушарии коэффициент реактивности альфа-ритма у исследуемых групп не отличался.

Таким образом, у спортсменов реактивность альфа-ритма ЭЭГ наиболее ярко выражена в левом полушарии, отвечающем за осуществление процессов абстрактной, символической и интеллектуальной деятельности. Известно, что правое полушарие контролирует основные сенсорные функции левой стороны тела. А так как по современным литературным данным большинство единоборцев элитного уровня

(ЗМС, МСМК, Чемпионы России и Олимпийских игр) являются «левостоечниками», правое полушарие у них должно отражать повышенную кортикальную активацию [9]. Следовательно, изменения в электрической активности ритмов именно правого полушария головного мозга могут служить надежным маркером позитивного влияния коррекционных воздействий активации моторных центров головного мозга спортсменов.

Оценивая полученные результаты, можно предположить, что в группе спортсменов когнитивно-моторные показатели лучше, а нейронный ответ быстрее. Хотя представленные различия могут свидетельствовать о функциональных изменениях альфа-уровней в результате интенсивных тренировок, говорить о том, что именно спортивная деятельность приводит к наблюдаемым различиям, основываясь на опубликованных результатах последних лет [1, 4], будет неверным. Например, весьма вероятно, что две изучаемые группы статистически могут различаться по ряду таких важных аспектов, влияющих на мозговую деятельность, как индивидуально-типологические характеристики личности [9-10], а

также уровень усталости или сонливости [11]. По современным научным данным, генетические, анатомические, физиологические и психологические факторы оказывают значительное влияние на силу и диапазон базовых уровней альфа-ритма в ЭЭГ человека [7].

Таким образом, наблюдаемые различия в альфа-ритмах в состоянии покоя могут рассматриваться и с точки зрения наследственных генетических характеристик, которые являются лишь предикторами спортивной успешности, а не следствием влияния занятий борьбой и интенсивных нагрузок.

**Заключение.** На основании результатов проведённого исследования можно заключить, что у спортсменов-борцов нейронное преимущество перед неспортсменами выражено только в колебаниях альфа-ритма, что свидетельствует о более низкой кортикальной активности. Выявленные различия говорят о том, что вовлечение меньшего количества нейронных ресурсов без снижения эффективности подтверждает гипотезу «нейронной гибкости» работы мозга спортсменов, что можно интерпретировать как благоприятный признак.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Impact of sport training on adaptations in neural functioning and behavioral performance: A scoping review with meta-analysis on EEG research / Q. Fang, C. Fang, L. Li, Y. Song // *Journal of Exercise Science & Fitness*. – 2022. – pp. 206-215.
2. Tarabrina, N. Yu. Physiological characteristics of strength component of special endurance in rugby players / N. Yu. Tarabrina, T. Wilczewski // *Human. Sport. Medicine*. – 2022. – Vol. 22. – № 2. – pp. 7-14.
3. Characteristics of the athletes' brain: evidence from neurophysiology and neuroimaging / H. Nakata, M. Yoshie, A. Miura, K. Kudo // *Brain Res Rev*. 2010. – Vol. 62(2). – pp. 197-211.
4. Park, J. L. Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance / J. L. Park, M. M. Fairweather, D. I. Donaldson // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. – 2015. – Vol. 52. – pp. 117-130.
5. Resting state cortical rhythms in athletes: a high-resolution EEG study / Babiloni C., Marzano N.,

- Jacoboni M. [et al] // *Brain Research Bulletin*. – 2010. – Vol. 81. – № 1. – pp. 149-156.
6. Reactivity of alpha rhythms to eyes opening is lower in athletes than non-athletes: a high-resolution EEG study / Del Percio C., Infarinato F., Marzano N. [et al] // *International Journal of Psychophysiology*. – 2011. – Vol. 82. – № 3. – pp. 240-247.
7. Bazanova O. M. Interpreting EEG alpha activity / O. M. Bazanova, D. Vernon // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. – 2014. – Vol. 44. – pp. 94-110.
8. Are expert athletes' "expert" in the cognitive laboratory? A meta-analytic review of cognition and sport expertise / Voss M. W., Kramer A. F., Basak C. [et al] // *Applied cognitive psychology*. – 2010. – Vol. 24. – № 6. – pp. 812-826.
9. Di Nota, P. M. Experience-dependent modulation of alpha and beta during action observation and motor imagery / P. M. Di Nota, J. M. Chartrand, G. R. Levkov // *BMC neuroscience*. – 2017. – Vol. 18. – № 1. – pp. 1-14.

10. Tran, Y. Extraversion–introversion and 8-13 Hz waves in frontal cortical regions / Y. Tran, A. Craig, P. McIsaac // *Personality and Individual Differences*. – 2001. – Vol. 30. – № 2. – pp. 205-215.

11. Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental

workload, fatigue and drowsiness / Borghini G., Astolfi L., Vecchiato G. [et al] // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. – 2014. – Vol. 44. – pp. 58-75.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Наталья Юрьевна Тарабрина** – доцент, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, e-mail: nata-tarabrina@mail.ru.

**Николай Петрович Мишин** – старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, e-mail: mishinnick@yandex.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Natal'ya Yur'evna Tarabrina** – Associate Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, e-mail: nata-tarabrina@mail.ru.

**Nikolaj Petrovich Mishin** – Senior Lecturer, V.I. Vernadskij Crimean Federal University, Simferopol, e-mail: mishinnick@yandex.ru.

**Для цитирования:** Тарабрина Н. Ю. Особенности электрической активности мозга борцов в сравнении с лицами, не занимающимися спортом / Н. Ю. Тарабрина, Н. П. Мишин // *Современные вопросы биомедицины*. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_22

**For citation:** Tarabrina N.Yu., Mishin N.P. Features of the electrical activity of the wrestlers' brain in comparison with people who do not play sports. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_22

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_23  
УДК 612.6; 612.766

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_23  
UDC 612.6; 612.766

## ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА

Е.А. Томилова, В.В. Колпаков, А.А. Ткачук, Л.П. Пащенко

ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Тюмень, Россия

**Аннотация.** Цель работы: Установить индивидуально-типологические особенности уровня привычной двигательной активности у детей раннего возраста. Обследовано 113 здоровых детей (58 мальчиков и 55 девочек) раннего возраста ( $34,5 \pm 1,2$  мес.). Для изучения индивидуальных показателей суточного объема уровня двигательной активности использовали метод шагометрии. Проводилась статистическая обработка данных. Установлены индивидуально-типологические особенности уровня двигательной активности у детей 2-3 лет с выделением трех групп – с низким, средним и высоким уровнем привычной двигательной активности.

**Ключевые слова:** привычная двигательная активность, речевое развитие, дети младшего возраста.

## INDIVIDUAL AND TYPOLOGICAL FEATURES OF MOTOR ACTIVITY IN TODDLERS

Е.А. Tomilova, V.V. Kolpakova, A.A. Tkachuk, L.P. Pachshenko

Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

**Annotation.** The purpose of the study – to identify individual and typological features of the motor activity level in toddlers. We have examined 113 healthy children (58 boys and 55 girls, age –  $14.5 \pm 1.2$  months). The pedometry method was applied to study individual indices of the motor activity level's daily volume, the statistical data processing was also implemented. The authors have identified the individual and typological features of motor activity in 2-3-year-old children by dividing them into three groups – with low, average and high level of habitual motor activity.

**Keywords:** habitual motor activity, speech development, toddlers.

**Введение.** Известно, что двигательная активность играет ведущую роль в становлении всех функций детского организма [1-4]. Многочисленные исследования показывают: чем разнообразнее движения, которые выполняет ребенок, особенно если они связаны с общей и мелкой моторикой, тем эффективнее идет когнитивное развитие ребенка. Например, развитие функции речи напрямую связано с развитием общей моторики в целом. Такая тесная взаимосвязь объясняется тем, что двигательная речевая область является частью двигательной зоны. Эти данные подтверждены многочисленными исследованиями, свидетельствующими о первостепенной роли движений в становлении функции речи у ребёнка [5-7].

В исследованиях зарубежных авторов было выявлено, что малоподвижный образ жизни по-разному влияет на когнитивное развитие ребенка. Физическая активность потенциально является важной детерминантой развития моторики у детей. Это исследование является одним из очень немногих лонгитюдных исследований в этой области и первым, в котором физическая активность в раннем детстве изучается как предиктор последующей компетентности двигательных навыков. Авторы признают, что необходимы исследования, направленные на изучение того, какой тип физической активности имеет наибольшее значение для последующего развития навыков [8-10].

Согласно Глобального плана действий ВОЗ по повышению уровня физической активности на 2018-2030 гг., для укрепления здоровья детей требуется выделение количественных показателей двигательной активности. В возрастной физиологии накоплен достаточный материал о возрастных закономерностях развития двигательной активности детей и подростков. Между тем проблема нормирования объема двигательной активности у детей различного возраста остается актуальной до настоящего времени.

**Методы и организация исследования.** Исследование проведено на базе Муниципального автономного образовательного учреждения «Центр развития ребенка – Детский сад № 176» (г. Тюмень). В исследовании приняли участие 113 детей (58 мальчиков и 55 девочек) раннего возраста ( $34,5 \pm 1,2$  мес.), I-II групп здоровья. Комплексная оценка здоровья ребенка осуществлялась в рамках профилактических осмотров согласно Приложению 2 «Правила комплексной оценки состояния здоровья несовершеннолетних» (Приказ Минздрава России № 514н от 10.08.2017 «О Порядке проведения профилактических медицинских осмотров несовершеннолетних»). Критерии включения в исследование: дети младшего дошкольного возраста I-II групп здоровья, наличие информированного согласия родителей/законных представителей на проведение исследования. Оценка физического развития проводилась по данным антропометрии: длина тела (ДТ, см), масса тела (МТ, кг), окружность грудной клетки (ОКГ, см), окружность головы (ОГ, см) с определением коридоров по центильным таблицам [11]. Количественное определение показателей привычной двигательной активности (ПДА) проводили методом шагометрии (шагомеры «OMRON Step Counter HJ-005-E», Япония) с последующей выгрузкой в программу Excel для статистической обработки. Цифровые материалы исследования статистически обрабатывали при помощи программ Microsoft Office Excel и Statistica 26.0.

Использовались методы параметрического и непараметрического анализа (критерий Колмогорова-Смирнова,  $\chi^2$  Пирсона, критерий Краскела-Уоллиса), достоверными считали различия при  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** В результате анализа зарубежной и отечественной литературы мы также не встретили работ по изучению двигательной активности у детей раннего возраста. В работах отечественных ученых А.Г. Сухарева с соавт. [12] и В.Р. Кучмы [13] определены границы нормы суммарных локомоций для девочек и мальчиков 5-6 лет – 11-15 тыс. шагов в сутки, а для девочек и мальчиков 8-9 лет – 16-20 тыс. шагов в сутки. В работах зарубежных авторов приводятся данные по эффективности физической активности на состояние здоровья детей [14-17]. В Рекомендациях ВОЗ по вопросам физической активности и малоподвижного образа жизни [18] для детей раннего возраста даны следующие указания: «не менее 180 минут в день заниматься разнообразными видами физической активности любой интенсивности». В исследованиях Physical Activity Guidelines Advisory Committee [19] приведены результаты влияния физической активности на когнитивные функции и академическую успеваемость. В исследованиях Xue Y., Yang Y., Huang T. [20] спортивные тренировки несколько раз в неделю обеспечивали значительный прогресс в показателях когнитивных функций.

В исследованиях Голубевой Г.Н. и соавт. уровень двигательной активности определяли при помощи метода педагогического наблюдения и метода шагометрии. Однако количественные показатели интерпретировали как среднюю величину локомоций для контрольной и экспериментальной групп детей, без учета индивидуально-типологических особенностей [21].

В данном исследовании для определения количественных показателей индивидуальной нормы локомоций для

девочек и мальчиков более раннего возраста была использована концепция типологической вариабельности физиологической индивидуальности [22].

На первом этапе из 211 детей раннего возраста были выделены 113 детей (58 мальчиков и 55 девочек) раннего возраста I-II групп здоровья. По результатам профилактического осмотра антропометрические показатели у детей соответствовали гармоничному развитию и находились в пределах 25–75-х центилей, то есть области нормальных величин.

В целом, возраст 2-3 лет характеризуется резким повышением двигательной активности. Прежде всего это связано с функциональными изменениями в структуре скелетной мускулатуры. Тоническая мускулатура практически сформирована, повышается ее функциональная устойчивость, а фазические мышцы продолжают свое развитие и функциональное совершенствование до периода полуростового скачка (5-6 лет). С этим связаны особенности движения детей этого возраста: ребенок крепко стоит на ногах, движения более зрелые, но для них характерна медлительность, плавность, в локомоции отсутствует важный элемент бега – фаза полета. Важно

отметить, что именно в этом возрасте начинается интенсивное развитие мышц рук, формирование тонких движений пальцев кисти и подготовки к письму [11].

В условиях пребывания в детском саду ежедневно в течение недели у детей фиксировались показатели локомоций (в 9.00, 12.00, 15.00, 18.00 часов). В результате оценки полученных результатов по всей выборке как у мальчиков, так и у девочек по показателям двигательной активности была отклонена гипотеза нормального распределения. Однако построение эмпирических кривых (распределение по количеству локомоций на протяжении суточного цикла) и использование статистического критерия  $\chi^2$  Пирсона позволило статистически подтвердить выделение трех групп – детей с низким, средним и высоким уровнем ПДА. Дополнительно для подтверждения различий в уровне ПДА между тремя группами был использован критерий Краскела-Уоллиса (табл.).

Визуализация межгрупповых различий уровня привычной двигательной активности у мальчиков представлена на рисунке. Аналогичная тенденция отмечалась в группе девочек раннего возраста.

Таблица

Индивидуально-типологические различия суточных и недельных показателей двигательной активности у мальчиков и девочек

Пол	Стат. показатели	ПДА			Общая выборка (n♂ = 58, n♀ = 55)
		низкая (n♂ = 21, n♀ = 18)	средняя (n♂ = 20, n♀ = 22)	высокая (n♂ = 17, n♀ = 15)	
М	M±σ	3281,6±447**	6462,8±294*	9929,6±286*/**	6315,3±2692
	$\chi^2$	5,7	2,1	4,9	24,1
	MR, p	18,5	55,0	88,0	<0,001
Д	M±σ	3141,4±470**	6390,2±285*	9086,8±332*/**	6206,5±2335
	$\chi^2$	5,3	2,4	5,2	29,2
	MR, p	49,0	156,4	272,6	<0,001

Примечание: М – мальчики; Д – девочки; ПДА – привычная двигательная активность; показано статистически значимое различие параметров (p=0,05); \* – относительно значений группы с низкой ПДА; \*\* – относительно значений общей выборки; MR (Mean Rank) – сумма рангов

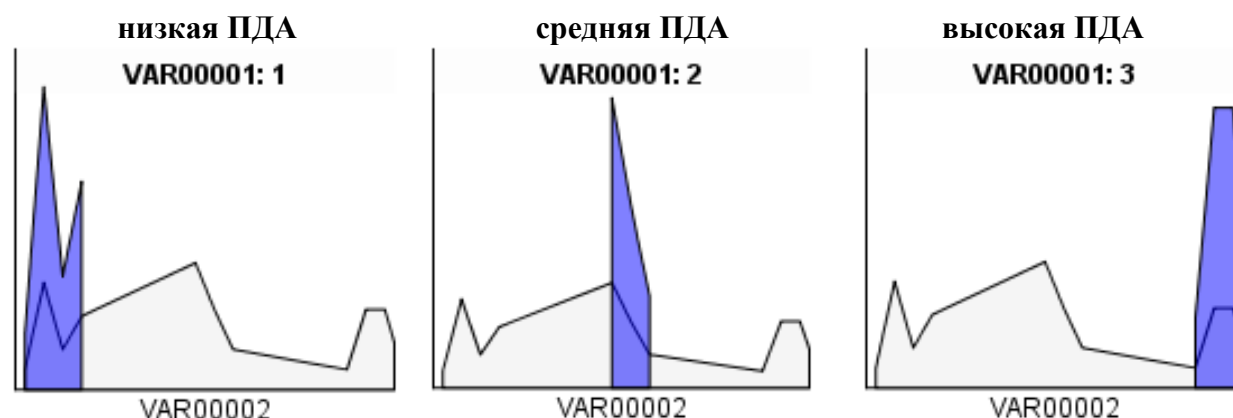


Рис. Визуализация различий по уровню привычной двигательной активности у мальчиков раннего возраста (вариативные ряды)

Примечание: ПДА – привычная двигательная активность; синим цветом обозначены группы мальчиков по уровню двигательной активности, соответственно VAR00001:1 – низкая ПДА; VAR00001:2 – средняя ПДА; VAR00001:3 – высокая ПДА, серым цветом – общая выборка

В результате установления полимодальности количественных показателей ПДА и статистически значимых межгрупповых различий количества локомоций у мальчиков и девочек раннего возраста в общей популяции здоровых детей выделены три группы – с низким, средним и высоким уровнем ПДА, что позволило охарактеризовать привычную двигательную активность как индивидуально-типологический признак.

**Заключение.** В результате исследований проведена оценка показателей двигательной активности у детей раннего

возраста. Были установлены количественные показатели локомоций у мальчиков и девочек. Полученные результаты, во-первых, позволяют на данном этапе говорить о проведении дополнительных исследований функциональных показателей у детей данного возраста, во-вторых, могут служить основой для планирования образовательного процесса в условиях дошкольного образовательного учреждения, например планирования оздоровительных уроков физкультуры с учетом уровня двигательной активности в пределах типовых нормативов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аршавский, И. А. Физиологические механизмы и закономерности индивидуального развития. Основы негэнтропии, теории онтогенеза / И. А. Аршавский. – М.: Наука, 1982. – 270 с.
2. Сонькин, В. Д. Развитие мышечной энергии и работоспособности в онтогенезе / В. Д. Сонькин, Р. В. Тамбовцева. – М.: Либроком, 2011. – 368 с.
3. Безруких, М. М. Возрастная физиология (физиология развития ребенка) / М. М. Безруких, В. Д. Сонькин, Д. А. Фарбер. – Москва, 2009. – 480 с.
4. Безруких, М. М. Актуальные проблемы физиологии развития ребенка / М. М. Безруких, Д. А. Фарбер // Новые исследования. – 2014. – № 3 (40). – С. 4-19.
5. Кольцова, М. М. Двигательная активность и развитие функций мозга ребенка роль двигательного анализатора в формировании высшей нервной деятельности ребенка / М. М. Кольцова. – Москва: Педагогика, 1973. – 142 с.
6. Руководство по детской неврологии / под редакцией В. И. Гузевой. – Москва: МИА, 2009. – 640 с.
7. Smith, A. Speech motor development: Integrating muscles, movements, and linguistic units/ A. Smith // J. Commun Disord. – 2006. – Vol. 39. – Issue 5. – pp. 331-349. DOI: 10.1016/j.jcomdis.2006.06.017.



8. Systematic review of the relationships between sedentary behaviour and health indicators in the early years (0-4 years) / Poitras V. J., Gray C. E., Janssen X. [et al] // *BMC Public Health*. – 2017. – № 17 (Suppl 5). – Art № 868. – pp. 65-89. DOI: 10.1186/s12889-017-4849-8.
9. Barnett, L. M. More active pre-school children have better motor competence at school starting age: an observational cohort study / L. M. Barnett, J. Salmon, K. D. Hesketh // *BMC Public Health*. – 2016. – № 16. – Art. № 1068. DOI: 10.1186/s12889-016-3742-1
10. Longitudinal Physical Activity, Body Composition, and Physical Fitness in Preschoolers / Leppänen M. H., Henriksson P., Delisle Nyström C. [et al] // *Med Sci Sports Exerc.* – Oct 2017. – № 49(10). – pp. 2078-2085. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001313.
11. Поликлиническая педиатрия / Доскин В. А., Косенкова Т. В., Авдеева Т. Г. [и др.]. – М.: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ. – 2002. – 503 с.
12. Сухарев, А. Г. Двигательная активность и здоровье детей и подростков / А. Г. Сухарев, В. И. Теленчи, О. А. Шилонина. – М.: Медицина, 1988. – 73 с.
13. Кучма, В. Р. Гигиена детей и подростков: учебник / В. Р. Кучма. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 480 с.
14. Janssen, I. Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth / I. Janssen, A. G. LeBlanc // *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. – 2010. – Vol. 7. – Art. № 40. DOI: 10.1186/1479-5868-7-40.
15. Paterson, D. H. Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada's Physical Activity Guidelines / D. H. Paterson, D. E. Warburton // *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. – 2010. – Vol. 7. – Art. № 38. DOI: 10.1186/1479-5868-7-38.
16. Warburton, D. E. Health benefits of physical activity: the evidence / D. E. Warburton, C. W. Nicol, S. S. Bredin // *CMAJ*. – Mar 14, 2006. – № 174(6). – pp. 801-809. DOI: 10.1503/cmaj.051351
17. Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants / R. Guthold, G. A. Stevens, L. M. Riley, F. C. Bull // *Lancet Glob Health*. – Oct 2018. – № 6(10). – pp. e1077-e1086. DOI: 10.1016/S2214-109X(18)30357-7.
18. Рекомендации ВОЗ по вопросам физической активности и малоподвижного образа жизни: краткий обзор. URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/336656/9789240032170-rus.pdf?sequence=34&isAllowed=y> (дата обращения 24.01.2023)
19. Physical Activity Guidelines Advisory Committee. – 2018. URL: [https://health.gov/sites/default/files/201909/PAG\\_Advisory\\_Committee\\_Report.pdf](https://health.gov/sites/default/files/201909/PAG_Advisory_Committee_Report.pdf) (дата обращения 24.01.2023)
20. Xue, Y. Effects of chronic exercise interventions on executive function among children and adolescents: a systematic review with meta-analysis / Y. Xue, Y. Yang, T. Huang // *Br J Sports Med*. – Nov 2019. – № 53(22) – pp. 1397-1404. DOI: 10.1136/bjsports-2018-099825.
21. Голубева, Г. Н. Параметры двигательной активности детей 3-6 лет / Г. Н. Голубева, Г. Ф. Агеева // *Современные проблемы науки и образования*. – 2017. – № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26138> (дата обращения: 24.01.2023).
22. Физиологическое обоснование сохранения и укрепления физического здоровья детей / В. В. Колпаков, Е. А. Томилова, А. А. Ткачук, Е. В. Сапоженкова. – Тюмень, 2022. – 180 с.

## REFERENCES

1. Arshavskij I.A. Physiological mechanisms and regulations of individual development. The basis of negentropy, ontogeny theories. Moscow: Nauka, 1982. 270 p. (in Russ.)
2. Sonk'ın V.D., Tambovtseva R.B. The development of muscle energy and efficiency in ontogeny. Moscow: Librokom, 2011. 368 p. (in Russ.)
3. Bezrukikh M.M., Sonkin V.D., Farber D.A. Developmental physiology (physiology of child's development). Moscow, 2009. 480 p. (in Russ.)
4. Bezrukikh, M.M., Farber D.A. Relevant issues of child's development physiology. *Novye Issledovaniya*, 2014, no. 3 (40), pp. 4-19. (in Russ.)
5. Kol'tsova, M.M. Motor activity and development of child's brain functions. The role of motor analyzer for formation of child's higher nervous activity. Moscow: Pedagogika, 1973. 142 p. (in Russ.)
6. Guide for children neurology. Ed. by V.I. Guzeva. Moscow: Medical News Agency, 2009. 640 p. (in Russ.)
7. Smith A. Speech motor development: Integrating muscles, movements, and linguistic units. *J. Commun Disord*, 2006, vol. 39, issue 5, pp. 331-349. DOI: 10.1016/j.jcomdis.2006.06.017.
8. Poitras V.J., Gray C.E., Janssen X., Aubert S., Carson V., Faulkner G., Goldfield G.S., Reilly J.J., Sampson M., Tremblay M.S. Systematic review of

the relationships between sedentary behaviour and health indicators in the early years (0-4 years). *BMC Public Health*, 2017, no. 17 (suppl. 5), art. no. 868, pp. 65-89. DOI: 10.1186/s12889-017-4849-8.

9. Barnett L.M., Salmon J., Hesketh K.D. More active pre-school children have better motor competence at school starting age: an observational cohort study. *BMC Public Health*, 2016, no.16, art. no. 1068. DOI: 10.1186/s12889-016-3742-1

10. Leppänen M.H. Henriksson P., Delisle Nyström C., Henriksson H., Ortega F.B., Pomeroy J., Ruiz J.R., Cadenas-Sanchez C., Löf M. Longitudinal Physical Activity, Body Composition, and Physical Fitness in Preschoolers. *Med Sci Sports Exerc*, Oct 2017, no. 49(10), pp. 2078-2085. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001313.

11. Doskin, V.A. Kosenkova T.V., Avdeeva T.G. Outpatient pediatrics. Moscow: All-Russian Educational, Scientific and Methodological Center for Continuing Medical and Pharmaceutical Education, 2002. 503 p. (in Russ.)

12. Sukharev A.G., Telenchi B.I., Shilonina O.A. Motor activity and health of children and teenagers. Moscow: Meditsina, 1988. 73 p. (in Russ.)

13. Kuchma, B.R. Hygiene of children and teenagers: a textbook. Moscow: GEOTAR-Media, 2010. 480 p.

14. Janssen I., LeBlanc A.G. Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2010, vol. 7, art. no. 40. DOI: 10.1186/1479-5868-7-40.

15. Paterson D.H., Warburton D.E. Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada's Physical Activity

Guidelines. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2010, vol. 7, art. no. 38. DOI: 10.1186/1479-5868-7-38.

16. Warburton D.E., Nicol C.W., Bredin S.S. Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ*, Mar 14, 2006, no. 174(6), pp. 801-809. DOI: 10.1503/cmaj.051351

17. Guthold R., Stevens G.A., Riley L.M., Bull F.C. Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants. *Lancet Glob Health*, Oct 2018, no. 6(10), pp. e1077-e1086. DOI: 10.1016/S2214-109X(18)30357-7.

18. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour: at a glance. Available at: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240014886> (accessed 24.01.2023)

19. Physical Activity Guidelines Advisory Committee. 2018. Available at: [https://health.gov/sites/default/files/2019-09/PAG\\_Advisory\\_Committee\\_Report.pdf](https://health.gov/sites/default/files/2019-09/PAG_Advisory_Committee_Report.pdf) (accessed 24.01.2023)

20. Xue Y., Huang T. Effects of chronic exercise interventions on executive function among children and adolescents: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*, Nov 2019, no. 53(22), pp. 1397-1404. DOI: 10.1136/bjsports-2018-099825.

21. Golubeva G.N., Ageeva G.F. Characteristics of physical activity for children 3-6 years. *Modern problems of science and education*, 2017, no. 1. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26138> (accessed 24.01.2023).

22. Kolpakov V.V., Tomilova E.A., Tkachuk A.A., Sapozhenkova E.V. Physiological basis for maintaining and development of children's physical health. Tyumen, 2022. 180 p. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Евгения Александровна Томилова** – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, Тюмень, e-mail: tomilovaea@mail.ru.

**Виктор Васильевич Колпаков** – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, Тюмень, e-mail: kolpakov661@rambler.ru.

**Анна Анатольевна Ткачук** – кандидат медицинских наук, доцент, профессор кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, Тюмень, e-mail: ponchik117@mail.ru.

**Людмила Петровна Пашенко** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, Тюмень, e-mail: lraschenko@rambler.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Evgenia Aleksandrovna Tomilova** – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Normal Physiology, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: tomilovaea@mail.ru.

**Viktor Vasil'evich Kolpakov** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Normal Physiology, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: kolpakov661@rambler.ru.

**Anna Anatol'evna Tkachuk** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Normal Physiology, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: ponchik117@mail.ru.

**Lyudmila Petrovna Pashchenko** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: lpaschenko@rambler.ru.

**Для цитирования:** Индивидуально-типологические особенности двигательной активности детей раннего возраста / Е. А. Томилова, В. В. Колпаков, А. А. Ткачук, Л. П. Пашенко // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_23

**For citation:** Tomilova E.A., Kolpakova V.V., Tkachuk A.A., Pashchenko L.P. Individual and typological features of motor activity in toddlers. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_23

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_24  
УДК 615.214

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_24  
UDC 615.214

## **ВЛИЯНИЕ ГЛИПРОЛИНОВЫХ НЕЙРОПЕПТИДОВ НА УРОВЕНЬ ТИРЕОИДНЫХ ГОРМОНОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ГИПЕРТИРЕОЗА**

**А.А. Цибизова, М.У. Сергалиева, О.А. Башкина, М.А. Сомотруева**

Астраханский государственный медицинский университет, г. Астрахань, Россия

**Аннотация.** Цель исследования – изучение влияния нейропептидов глипролинового ряда на уровень тиреоидных гормонов в условиях экспериментального гипертиреоза. Гипертиреоидное состояние у животных моделировали с помощью внутрижелудочного введения пентагидрата натриевой соли L-тироксина. Лабораторных животных делили на 4 группы: интактные животные (контроль); животные, получавшие пентагидрат натриевой соли L-тироксина (гипертиреоз); крысы, получавшие Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro (селанк) и крысы, получавшие Pro-Gly-Pro, в дозах 87 и 33 мкг/кг/сут соответственно, внутривентрально ежедневно в течение 21 дня. Установлено, что изучаемые глипролиновые пептидные соединения способствовали коррекции уровня тиреоидных гормонов и тиреотропного гормона, восстанавливая также поведение животных, массу тела, частоту сердечных сокращений и ректальную температуру. Таким образом, результаты, полученные при изучении влияния глипролиновых нейропептидных соединений Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro и Pro-Gly-Pro на уровень тиреоидных гормонов в условиях экспериментального гипертиреоза, свидетельствуют о наличии антигипертиреоидного эффекта указанных пептидов, что проявлялось в коррекции физиологических показателей и концентраций трийодтиронина, тироксина и тиреотропного гормона.

**Ключевые слова:** гипертиреоз, глипролины, селанк, Pro-Gly-Pro, трийодтиронин, тироксин, тиреотропный гормон.

## **EFFECT OF GLIPROLINE NEUROPEPTIDES ON THYROID HORMONE LEVELS IN EXPERIMENTAL HYPERTHYROIDISM**

**A.A. Tsibizova, M.Yu. Sergaliev, O.A. Bashkina, M.A. Samotrueva**

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia

**Annotation.** The aim of the study was to examine the effect of glyproline neuropeptides on the level of thyroid hormones in experimental hyperthyroidism. Hyperthyroid state in animals was modeled by intragastric administration of L-thyroxine sodium salt pentahydrate. Laboratory animals were divided into 4 groups: intact animals (control); animals receiving L-thyroxine sodium salt pentahydrate (hyperthyroidism); rats treated with Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro (selank) and rats treated with Pro-Gly-Pro at doses of 87 and 33 mcg/kg/day respectively, intraperitoneally, daily for 21 days. It was found that the studied glyproline peptide compounds contributed to the correction of the level of thyroid hormones and thyroid-stimulating hormone, also restoring animal behavior, body weight, heart rate and rectal temperature. Thus, the results obtained when studying the effect of glyproline neuropeptide compounds Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro and Pro-Gly-Pro on the level of thyroid hormones in experimental hyperthyroidism indicate the presence of an antithyroid effect of these peptides, which was manifested in the correction of physiological parameters and concentrations of triiodothyronine, thyroxine and thyroid-stimulating hormone.

**Keywords:** hyperthyroidism, glyprolins, selank, Pro-Gly-Pro, triiodothyronine, thyroxine, thyroid-stimulating hormone.

**Введение.** Заболевания щитовидной железы (ЩЖ) занимают одно из ведущих мест по распространенности эндокринной патологии [1]. Известно, что ЩЖ является важнейшей эндокринной железой, регулирующей оптимальное функционирование всех органов и тканей путем выработки тиреоидных гормонов, основными из которых являются трийодтиронин ( $T_3$ ) и тироксин ( $T_4$ ) [2]. Доказано, что тиреоидные гормоны оказывают влияние на трофические и метаболические процессы, в том числе на все виды обмена (белковый, жировой, водно-солевой, энергетический, углеводный). Кроме того, оптимальная концентрация тиреоидных гормонов является необходимым критерием развития центральной нервной системы. В исследованиях показано, что тироксин оказывает непосредственное влияние на процессы деления и дифференциации нервных клеток (нейробластов, нейронов, астроцитов и т.д.), а также синхронизирующее действие на миелинизацию и рост аксонов [3].

Производство и высвобождение тиреоидных гормонов контролируется системой обратной связи, которая включает гипоталамус, переднюю долю гипофиза и ЩЖ. Клетки гипоталамуса секретируют тиреотропин-рилизинг гормон, стимулирующий выработку тиреотропного гормона (ТТГ) в гипофизе. С другой стороны, секреция ТТГ находится под жестким тормозным контролем со стороны уровня  $T_3$  и  $T_4$ , снижение которых повышает синтез ТТГ, и наоборот, их повышение быстро снижает концентрацию ТТГ [4]. Нарушения продукции тиреоидных гормонов могут привести к развитию гипо- и гипертиреоза, сопровождающихся изменением со стороны центральной нервной, сердечно-сосудистой, антиоксидантной и др. систем [5]. Доказано, что гиперпродукция тироксина оказывает влияние на процесс окислительного фосфорилирования через изменение активации цепи тканевого дыхания, в результате чего высвобождающаяся энергия не переходит в

аденозинтрифосфорную кислоту (АТФ), и наблюдается ее дефицит, приводящий к усилению катаболизма. Гипертиреоидное состояние способствует развитию миокардиодистрофии за счет прямого воздействия тироксина на клетки миокарда, а также за счет увеличения потребления миокардом кислорода в условиях дефицита АТФ [6]. В экспериментах показано, что одним из молекулярных механизмов воздействия  $T_4$  на функции центральной нервной системы являются изменения в серотониновой системе мозга. Установлено, что гипотиреоидное состояние вызывает снижение уровня мРНК и плотности 5-HT<sub>2d</sub> рецепторов в коре головного мозга крыс [7].

На сегодняшний день актуальным и важным направлением является поиск и изучение средств коррекции тиреопатий. В качестве таких средств могут быть предложены соединения на основе эндогенных регуляторных пептидов, обладающих широким спектром активностей (психомодулирующая, иммуностропная, эндотелиопротективная, антиоксидантная и др.) и минимальными побочными эффектами [8]. Наиболее известным регуляторным пептидом является широко внедренный в клиническую практику зарегистрированный препарат Селанк. Установлено, что на фоне введения данного средства отмечается компенсация нарушенных психических функций и гомеостатических параметров. Доказано наличие цитокин-регулирующих эффектов, обеспечивающих иммуномодулирующую активность пептидного соединения [9]. Одним из представителей этого класса соединений является синтетический пептид Pro-Gly-Pro, синтезированный учеными Института молекулярной генетики Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». В исследованиях показано, что данный регуляторный пептид оказывает обширный спектр биологической активности. Установлено наличие протективных свойств в отношении желудочно-кишечного тракта и

нервной системы, стабилизирующего влияния на тучные клетки, антиоксидантной активности, а также стресспротекторного действия [10]. Однако исследований фармакологических свойств в условиях эндокринной патологии, а именно гипертиреоза, проведено недостаточно.

В связи с этим целью настоящего исследования явилось изучение влияния глипролиновых нейропептидных соединений Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro и Pro-Gly-Pro на уровень тиреоидных гормонов в условиях экспериментального гипертиреоза.

**Методы и организация исследования.** Изучение влияния глипролиновых соединений на уровень тиреоидных гормонов проводилось на 40 белых крысах-самцах 6–8-месячного возраста в соответствии с Приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации № 199н от 01.04.2016г. «Об утверждении Правил лабораторной практики», ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными». Гипертиреоидное состояние у животных моделировали с помощью внутрижелудочного введения пентагидрата натриевой соли L-тироксина (“Sigma”; США) в дозе 150 мкг/кг в течение 21 дня. Доза пентагидрата натриевой соли L-тироксина выбрана в результате предварительных исследований как наиболее активная доза. Лабораторных животных делили на 4 группы (n=10): контрольная группа – интактные животные (контроль); животные, получавшие пентагидрат натриевой соли L-тироксина (гипертиреоз); животные, получавшие Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro (селанк) и Pro-Gly-Pro (в дозах 87 и 33 мкг/кг/сут соответственно). Изучаемые соединения вводили внутривентрально ежедневно в течение 21 дня, начиная на следующий день после последнего введения пентагидрата натриевой соли L-тироксина. Глипролиновые соединения вводили в дозе 1/10 от их молекулярной массы.

Развитие тиреопатологии подтверждали, оценивая концентрацию свободных T<sub>4</sub>, T<sub>3</sub>, ТТГ в сыворотке крови, а также

поведение животных, измеряя массу тела, частоту сердечных сокращений (ЧСС), ректальную температуру.

Статистическую обработку результатов исследования проводили, вычисляя среднее арифметическое значение (M), ошибку среднего арифметического значения (m), и представляли в виде M±m. Различия между группами оценивали с помощью t-критерия Стьюдента с последующими множественными сравнениями по методу Бонферрони. Статистически значимыми считали различия при p<0,05. Проверка на нормальность распределения выборки осуществлялась с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Связь между различными признаками в исследуемой выборке определялась с помощью корреляционного анализа величиной коэффициента корреляции Спирмена (r).

**Результаты исследования и их обсуждение.** Доказано, что при развитии гипертиреоза происходит истощение запасов гликогена и липидов, кровь перенасыщается три- и тетраiodтиронином, что ведет к снижению массы и повышению температуры тела, ускорению метаболизма, быстрому росту волос, их старению и выпадению. Кроме того, избыток тиреоидных гормонов в крови, в частности повышение уровня T<sub>4</sub> и, как следствие, увеличение содержания катехоламинов в миокарде, приводит к учащению сердечного ритма. В нашем исследовании введение пентагидрата натриевой соли L-тироксина привело к следующим изменениям: увеличению в сравнении с интактным контролем уровней T<sub>3</sub> в 1,6 раза (p<0,01) и T<sub>4</sub> – в 2,4 раза (p<0,001); снижением уровня ТТГ в 2,6 раза (p<0,05); поведением животных становилось агрессивным, что проявлялось в формировании межсамцовых конфронтаций; отмечались видимые изменения шерсти; происходило снижение массы тела на 30% (p<0,05); отмечалось увеличение ЧСС на 42% (p<0,01) и повышение ректальной температуры (достигала 39,3±0,2 °С) по отношению к интактным крысам (табл. 1).

Таблица 1

Влияние глипролинов на массу тела крыс-самцов, частоту сердечных сокращений и ректальную температуру в условиях экспериментального гипертиреоза, М±m

Экспериментальные группы	Показатели	Масса тела животного, г	ЧСС, уд/мин	Ректальная температура, °С
Контроль (n=10)		215,3±23,1	345,2±24,6	37,0±0,1
Гипертиреоз (n=10)		151,0±9,8*	493,1±41,4**	39,3±0,2
Гипертиреоз + Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro (n=10)		188,6±13,4#	342,5±28,7#	37,0±0,1
Гипертиреоз + Pro-Gly-Pro (n=10)		169,8±10,1	362,8±27,5#	37,2±0,1

Примечание: ЧСС – частота сердечных сокращений; \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$  – относительно контроля; # –  $p < 0,05$  – относительно гипертиреоза

Установлено, что Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro и Pro-Gly-Pro способствовали восстановлению шерстяного покрова и поведению лабораторных животных. Выявлено, что применение Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro в условиях экспериментального гипертиреоза привело к повышению массы тела крыс на 25% и уменьшению ЧСС на 30% ( $p < 0,05$ ) по отношению к группе «гипертиреоз». Введение субстанции Pro-Gly-Pro животным с экспериментальным гипертиреозом привело к увеличению массы тела на 12% ( $p > 0,05$ ) и снижению

ЧСС на 26% ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контрольной группой (табл. 1).

Доказано, что гипертиреоз определяется как состояние, сопровождающееся повышенным производством  $T_3$  и  $T_4$ , приводящее к снижению уровня ТТГ в крови, что ведет к гиперметаболической активности. Гипертиреоидное состояние животных было подтверждено повышением уровней тиреоидных гормонов:  $T_3$  – в 1,6 ( $p < 0,01$ ) и  $T_4$  – в 2,4 ( $p < 0,001$ ) раза; уровень ТТГ снизился в 2,6 ( $p < 0,05$ ) раза в сравнении с контрольной группой животных (табл. 2).

Таблица 2

Влияние глипролинов на уровень  $T_3$ ,  $T_4$  и тиреотропного гормона в условиях экспериментального гипертиреоза, М±m

Экспериментальные группы	Показатели	$T_3$ , Ед/мл	$T_4$ , Ед/мл	ТТГ, Ед/мл
Контроль (n=10)		5,23±0,46	32,65±1,92	0,36±0,09
Гипертиреоз (n=10)		8,65±0,76**	78,25±6,43***	0,14±0,03*
Гипертиреоз + Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro (n=10)		6,21±0,57#	41,67±3,65##	0,32±0,03#
Гипертиреоз + Pro-Gly-Pro (n=10)		6,69±0,63	53,64±5,89#	0,27±0,02#

Примечание: ТТГ – тиреотропный гормон; \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$  – относительно контроля; # –  $p < 0,05$ ; ## –  $p < 0,01$  – относительно гипертиреоза

Установлено, что у крыс, получавших Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro, на фоне экспериментального гипертиреоза статистически значимо уменьшался по отношению к группе «гипертиреоз» уровень  $T_3$  и  $T_4$  в

1,4 ( $p < 0,05$ ) и 1,9 ( $p < 0,01$ ) раза; концентрация ТТГ увеличилась в 2,3 раза ( $p < 0,05$ ) (табл. 2).

При введении соединения Pro-Gly-Pro отмечалось понижение  $T_3$  и  $T_4$  в 1,3 ( $p > 0,05$ )

и 1,4 ( $p < 0,05$ ) раза соответственно, повышение ТТГ в 1,9 ( $p < 0,05$ ) раза по отношению к крысам с гипертиреозом.

Таким образом, изучаемые глипролиновые пептидные соединения способствовали восстановлению ЧСС и ректальной температуры, а также коррекции уровня тиреоидных гормонов и ТТГ, что свидетельствует о наличии антитиреоидного эффекта у изучаемых веществ.

Анализ научных источников показал, что пептиды, в частности селанк, реализуют механизм действия за счет нейроспецифического воздействия на структуры среднего мозга, в том числе гипоталамус, а также воздействуют на активность ферментов головного мозга, а именно тирозингидроксилазы, принимающей участие в синтезе

аминокислоты тирозин, которая является основой тиреоидных гормонов. Кроме того, при воздействии на гипоталамус наблюдается изменение экспрессии нейрогормонов, регулирующих выделение гормонов эндокринными железами [11-12].

**Заключение.** Таким образом, результаты, полученные при изучении влияния глипролиновых нейропептидных соединений Thr-Lys-Pro-Arg-Pro-Gly-Pro (селанк) и Pro-Gly-Pro на уровень тиреотропных гормонов в условиях экспериментального гипертиреоза, свидетельствуют о наличии антитиреоидного эффекта указанных пептидов, что проявлялось в коррекции физиологических показателей и концентраций трийодтиронина, тироксина и тиреотропного гормона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Йододефицитные заболевания щитовидной железы в Российской Федерации: современное состояние проблемы. Аналитический обзор публикаций и данных официальной государственной статистики (Росстат) / Мельниченко Г. А., Трошина Е. А., Платонова Н. М. [и др.] // *Consilium medicum*. – 2019. – Т. 21. – № 4. – С. 14-20.
2. Thyroid gland dysfunction and its effect on the cardiovascular system: a comprehensive review of the literature / Ahmadi N., Ahmadi F., Sadiki M. [et al] // *Endocrinology Poland*. – 2020. – Vol. 71. – № 5. – pp. 466-478. DOI: 10.5603/EP.a2020.0052.
3. Cellular and molecular bases of thyroid autoimmunity / Y. Boguslavskaya, M. Godlewska, E. Gaida, A. Pekelko-Vitkovska // *European Journal of the Thyroid Gland*. – 2022. – Vol. 11. – № 1. – Art. № e210024. DOI: 10.1530/ETJ-21-0024.
4. Galton, V. A. Thyroid hormone metabolism: a historical perspective / V. A. Galton, A. Hernandez // *Thyroid gland*. – 2023. – Vol. 33. – № 1. – pp. 24-31.
5. The role of thyroid hormones in heart failure / Vale C., Novus J. S., von Hafe M. [et al] // *Cardiovascular drugs and therapy*. – 2019. – Vol. 33. – pp. 179-188.
6. Energy metabolism and oxidative status of rat liver mitochondria under conditions of experimentally induced hyperthyroidism / Venediktova N. I., Mashchenko O. V., Talanov E. Yu. [et al] // *Mitochondria*. – 2020. – Vol. 52. – pp. 190-196.
7. Overexpression of the serotonin 5-HT7 receptor in the region of the rafe nuclei has an antidepressant effect and affects the serotonin system of the brain in male mice / Native A. Yu., Kandaurova E. M., Basovkina D. V. [et al] // *Journal of Microbiological Research*. – 2022. – Vol. 100. – № 7. – pp. 1506-1523.
8. Therapeutic peptides: current applications and future directions / Wang L., Wang N., Zhang V. [et al] // *Signal transduction and targeted therapy*. – 2022. – Vol. 7. – № 1. – P. 48.
9. Влияние глипролиновых нейропептидов на уровень интерлейкинов и нейротрофических факторов в условиях стрессогенного воздействия / Ясенявская А. Л., Цибизова А. А., Андреева Л. А. [и др.] // *Иммунология*. – 2022. – Т. 43. – № 2. – С. 166-173.
10. Samotrueva, M. Influence of neuropeptides ACTH(4-7)-pro-gly-pro and ACTH(6-9)-pro-gly-pro on the intensity of redox reactions under experimental depression / M. Samotrueva, A. Yasenyavskaya, A. Tsibizova // *Archiv Euro-Medica*. – 2020. – Vol. 10. – № 3. – P. 29.
11. A new understanding of the protective properties of the ACTH (4-7)pgp (semax) peptide at the transcriptome level after cerebral ischemia-reperfusion in rats / Filippenkov I. B., Stavchansky V. V., Denisova A. E. [et al] // *Genes*. – 2020. – Vol. 11. – № 6. – P. 681.



12. Нейропротекторные эффекты пептидов / Миронова Е. С., Линькова Н. С., Попович И. Г. [и др.] // Успехи геронтологии. – 2020. – Т. 33. – № 2. – С. 299-306.

#### REFERENCES

1. Mel'nichenko G.A., Troshina E.A., Platonova N.M., Panfilova E.A., Rybakova A.A., Abdulkhabirova F. M., Bostanova F.A. Iodine deficiency thyroid disease in the Russian Federation: the current state of the problem. Analytical review of publications and data of official state statistics (Rosstat). *Consilium medicum*, 2019, vol. 21, no. 4, pp. 14-20. (in Russ.)
2. Ahmadi N., Ahmadi F., Sadiki M., Zemnitska K., Minzykowski A. Thyroid gland dysfunction and its effect on the cardiovascular system: a comprehensive review of the literature. *Endocrinology Poland*, 2020, vol. 71, no. 5, pp. 466-478. DOI: 10.5603/EP.a2020.0052.
3. Boguslavskaya Y., Godlewska M., Gaida E., Pekelko-Vitkovska A. Cellular and molecular bases of thyroid autoimmunity. *European Journal of the Thyroid Gland*, 2022, vol. 11, no. 1, art. no. e210024. DOI: 10.1530/ETJ-21-0024.
4. Galton V.A., Hernandez A. Thyroid hormone metabolism: a historical perspective. *Thyroid gland*, 2023, vol. 33, no. 1, pp. 24-31.
5. Vale C., Novus J.S., von Hafe M., Borges-Canha M., Late-Moreira A. The role of thyroid hormones in heart failure. *Cardiovascular drugs and therapy*, 2019, vol. 33, pp. 179-188.
6. Venediktova N.I., Mashchenko O.V., Talanov E.Yu., Belosludtseva N.V., Mironova G.D. Energy metabolism and oxidative status of rat liver mitochondria under conditions of experimentally induced hyperthyroidism. *Mitochondria*, 2020, vol. 52, pp. 190-196.
7. Native A.Yu., Kandaurova E.M., Basovkina D.V., Kulikova E.A., Ilchibaeva T.V., Kavetskaya A.I., Naumenko V.S. Overexpression of the serotonin 5-HT7 receptor in the region of the rafe nuclei has an antidepressant effect and affects the serotonin system of the brain in male mice. *Journal of Microbiological Research*, 2022, vol. 100, no. 7, pp. 1506-1523.
8. Wang L., Wang N., Zhang V., Chin X., Yan Z., Zhao G., Fu C. Therapeutic peptides: current applications and future directions. *Signal transduction and targeted therapy*, 2022, vol. 7, no. 1, pp. 48.
9. Yasenyavskaya A.L., Tsibizova A.A., Andreeva L.A., Myasoedov N.F., Bashkina O.A., Samotrujeva M.A. Effect of glyproline neuropeptides on the level of interleukins and neurotrophic factors under stress. *Immunologiya*, 2022, vol. 43, no. 2, pp. 166-173. (in Russ.)
10. Samotrujeva M., Yasenyavskaya A., Tsibizova A. Influence of neuropeptides ACTH(4-7)-pro-gly-pro and ACTH(6-9)-pro-gly-pro on the intensity of redox reactions under experimental depression. *Archiv EuroMedica*, 2020, vol. 10, no. 3, pp. 29.
11. Filippenkov I.B., Stavchansky V.V., Denisova A.E., Yuzhakov V.V., Sevankaeva L.E., Sudarkina O.Yu., Dergunova L.V. A new understanding of the protective properties of the ACTH (4-7)p<sub>gp</sub> (semax) peptide at the transcriptome level after cerebral ischemia-reperfusion in rats. *Genes*, 2020, vol. 11, no. 6, pp. 681.
12. Mironova E.S., Linkova N.S., Popovich I.G., Kozina L.S., Khavinson V.H. Neuroprotective effects of peptides. *Advances in Gerontology*, 2020, vol. 33, no. 2, pp. 299-306. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Александра Александровна Цибизова** – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, e-mail: sasha3633@yandex.ru.

**Мариям Утежановна Сергалиева** – кандидат биологических наук, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, e-mail: charlina\_ast@mail.ru.

**Ольга Александровна Башкина** – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой факультетской педиатрии, Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, e-mail: post@astgmu.ru.

**Марина Александровна Самотруева** – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, e-mail: ms1506@mail.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Aleksandra Aleksandrovna Tsibizova** – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of Pharmacognosy, Pharmaceutical Technology and Biotechnology, Astrakhan State Medical University, Astrakhan, e-mail: sasha3633@yandex.ru.

**Mariam Utezhanovna Sergalieva** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Pharmacognosy, Pharmaceutical Technology and Biotechnology, Astrakhan State Medical University, Astrakhan, e-mail: charlina\_astr@mail.ru.

**Olga Aleksandrovna Bashkina** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Faculty Pediatrics, Astrakhan State Medical University, Astrakhan, e-mail: post@astgmu.ru.

**Marina Aleksandrovna Samotrueva** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Pharmacognosy, Pharmaceutical Technology and Biotechnology, Astrakhan State Medical University, Astrakhan, e-mail: ms1506@mail.ru.

**Для цитирования:** Влияние глипролиновых нейропептидов на уровень тиреоидных гормонов в условиях экспериментального гипертиреоза / А. А. Цибизова, М. У. Сергалиева, О. А. Башкина, М. А. Самокруева // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_24

**For citation:** Tsibizova A.A., Sergalieva M.Yu., Bashkina O.A., Samotrueva M.A. Effect of gliproline neuropeptides on thyroid hormone levels in experimental hyperthyroidism. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_24

## ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_25  
УДК 612.821

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_25  
UDC 612.821

### НЕКОТОРЫЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИЦ, СКЛОННЫХ К ПЕРФЕКЦИОНИЗМУ

Н.А. Бурова<sup>1</sup>, Д.С. Громова<sup>1</sup>, Ю.В. Мякишева<sup>1</sup>, С.И. Павленко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Самара, Россия

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара, Россия

**Аннотация.** На основании проведённых исследований в статье рассматриваются некоторые психофизиологические особенности лиц, демонстрирующих перфекционистские черты в личностном типе. Изучается взаимосвязь таких черт с уровнем тревожности. Приводится анализ риска развития нарушений пищевого поведения у молодых людей. Цель настоящего обзора – изучить зависимость между перфекционизмом, уровнем тревожности и риском развития нарушений пищевого поведения у студентов.

**Ключевые слова:** перфекционизм, тип личности, тревожность, нарушение пищевого поведения.

### SOME PSYCHOPHYSIOLOGICAL FEATURES OF PEOPLE PRONE TO PERFECTIONISM

N.A. Burova<sup>1</sup>, D.S. Gromova<sup>1</sup>, Yu.V. Myakisheva<sup>1</sup>, S.I. Pavlenko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Samara State Medical University, Samara, Russia

<sup>2</sup>Samara University, Samara, Russia

**Annotation.** On the basis of the conducted research, the article discusses some psychophysiological features of people demonstrating perfectionist traits in their personality type. The authors examined the association of such traits with the level of anxiety. An analysis of the risk of developing eating disorders in young people was carried out. The purpose of this review is to study the association of perfectionism, the level of anxiety and the risk of developing eating disorders in students.

**Keywords:** perfectionism, personality type, anxiety, eating disorders.

**Введение.** В современном мире ежегодно нарастает уровень конкуренции, как в профессиональной, так и во многих других сферах жизни. Уровень успешности человека измеряется конкретными показателями, достигать которые зачастую приходится в условиях жёсткого дефицита времени. Всё это создаёт среду, в которой нарастает уровень тревожности, возникает высокий риск срыва процессов высшей нервной деятельности и развития дезадаптации. На фоне психического напряжения в обществе наблюдается учащение развития

различных расстройств поведения, вызванных изменениями нейробиологических и гуморальных механизмов регуляции.

Цель нашего исследования: изучить зависимость между перфекционизмом, уровнем тревожности и риском развития нарушений пищевого поведения у молодых людей.

**Методы и организация исследования.** В исследовании принимали участие 80 человек обоего пола, проживающих на территории Самарской области. Средний возраст испытуемых составил 18 лет.

Все участники исследования являются студентами очной формы обучения по медицинским специальностям. Сбор данных осуществлялся анонимно, с помощью дистанционных технологий, что значительно снижало вероятность ложных ответов. Обязательным условием включения в исследование было добровольное письменное информированное согласие респондентов.

Оценку перфекционизма осуществляли по методу Хьюитта-Флетта. Методика описывает три составляющих перфекционизма: личностно-ориентированный, объектно-ориентированный и социально предписанный. Шкала состоит из трёх субшкал, каждая из которых измеряет степень выраженности одной из составляющих перфекционизма у испытуемого [1]. Уровень тревожности оценивали с помощью стандартного опросника Спилбергера-Ханина, используя только шкалу личностной тревожности [2]. Вероятность развития расстройств пищевого поведения оценивали с помощью теста, разработанного Институтом психиатрии Кларка университета Торонто (EAT-26) [3].

Коэффициент корреляции рассчитывали с помощью статистической программы SigmaStat 2.0.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Результаты проведённого исследования показали, что 25% опрошенных молодых людей имеют высокий уровень социально предписанного перфекционизма (табл.). По данным литературы, лица с высоким уровнем перфекционизма имеют чрезмерно высокие личностные стандарты, склонны к постоянной самооценке и цензурированию собственного поведения, отличаются мышлением в терминах «все или ничего», которое допускает только два варианта выполнения деятельности – полное соответствие высоким стандартам или полный крах. В связи с этим перфекционизм является значимой психологической характеристикой для развития стресса и невротических

расстройств [4-5]. Нейробиологи отмечают, что неоптимальное состояние головного мозга у лиц с перфекционистскими установками вносит десинхронизацию во все структуры головного мозга. Имеются чёткие данные об изменении работы дефолт-системы мозга у людей с высоким уровнем перфекционизма, что проявляется в том числе и в снижении альфа-ритма на электроэнцефалограмме (ЭЭГ) [5].

На развитие патологической тяги к совершенству во многом оказывает влияние дофаминергическая нейромедиаторная система. Исследователи предполагают, что определенные генетически предопределенные варианты рецепторов дофаминергической системы могут лежать в основе перфекционизма [6].

Вероятно, это в некоторой степени объясняет также полученные нами данные по распределению уровня личностной тревожности в исследуемой выборке. Так, было отмечено, что более чем у половины респондентов (52,5%) регистрируется высокий уровень тревожности. Этиология тревожности во многом обусловлена биохимическими и гормональными предпосылками, влияющими на работу центральной нервной системы [7]. Нейроанатомический субстрат формирования тревоги включает в себя множество структур, ключевой среди которых является миндалина [8].

В развитии тревожности значимую роль играет серотонинергическая система мозга. Одним из наиболее активно изучаемых генетических маркеров широкого спектра тревожных расстройств является серотониновый транспортер (5-НТТ). Серотониновый транспортер осуществляет регуляцию силы и продолжительности действия серотонина на специфические рецепторы посредством обратного захвата нейротрансмиттера из синаптической щели. 5-НТТ человека кодируется геном (SLC6A4), локализованным на 17-й хромосоме. У человека промотор гена 5-НТТ содержит расположенные в -1000 п.н. от сайта

инициации транскрипции переменные повторы элементов длиной 22 п.н. (5-HTTLPR полиморфизм). Длинный аллель (L) состоит из 16, а короткий (S) – из 14 повторов. Было показано, что S-аллель связан с более высокой активностью миндалевидного тела в ответ на эмоциональные стимулы. Также значимую роль в развитии тревожности отводят 5-HT1A – серотониновым рецепторам. Это подтверждается анксиолитическим, т.е. противотревожным действием селективных агонистов 5-HT1A рецепторов [9-10].

Проведённый нами корреляционный анализ показал значимую взаимосвязь между перфекционизмом и уровнем тревожности ( $p=0,0003$ ). Вероятно, это указывает на значимые психофизиологические особенности функционирования мозга людей с акцентуациями личности, в том числе при перфекционизме.

Многие учёные также признают перфекционизм чертой личности, присущей больным с расстройствами пищевого поведения. В нашем исследовании также отмечена прямая положительная

корреляция между данными показателями ( $p=0,00001$ ). Однако настоящий эксперимент указывает, что среди молодых людей встречается малый процент респондентов, имеющих повышенный риск развития нарушений пищевого поведения (2,5%). Тем не менее, наличие прямой корреляции может использоваться в целях профилактики нарушений поведенческих программ и выступать в качестве раннего предиктора возможных проблем.

Интересным представляются данные, указывающие на отсутствие корреляции между уровнем тревожности и риском возникновения расстройств пищевого поведения ( $p=0,103$ ). По данным литературы, высокий уровень личностной тревожности способствует увеличению риска развития различных видов нарушений пищевого поведения [11]. Однако в нашем исследовании результаты противоположны общепринятым, что требует дальнейшего обсуждения и поиска более детальных механизмов психофизиологических основ поведенческих паттернов (табл.).

Таблица

Уровень перфекционизма, личностной тревожности и риска развития расстройств пищевого поведения у молодых людей

Уровень перфекционизма, сумма баллов по всем вопросам	Уровень тревожности, сумма баллов по всем вопросам	Риск развития нарушений пищевого поведения, сумма баллов по всем вопросам
179,71±4,10	46,81±1,58	9,93±1,30

**Заключение.** В настоящее время поиск факторов, провоцирующих нарушения психоэмоциональной сферы и развитие поведенческих расстройств, является одной из приоритетных задач когнитивной биологии. Проведённое исследование показывает, что существует прямая зависимость между уровнем перфекционизма, тревожностью и

риском развития расстройств пищевого поведения. Вероятно, нейрофизиологические особенности, определяющие индивидуальные черты в личностном типе, могут провоцировать ряд значительных нарушений со стороны высшей нервной деятельности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щипицына, А. С. Методики измерения перфекционизма / А. С. Щипицына // Вестник ПГПУ: Психологические и педагогические науки. – 2014. – С. 235-245.
2. Брагин, Д. Б. Оценка ситуационной тревожности в клинической практике / Д. Б. Брагин,

- А. А. Астахов, А. Ю. Турчанинов // Вестник интенсивной терапии. – 2017. – № 4. – С. 47-52.
3. Psychometric properties of the 26-item eating attitudes test (EAT-26): an application of Rasch analysis / Papini N. M., Jung M., Cook A. [et al] // Journal of Eating Disorders. – 2022. – № 10. DOI: 10.1186/s40337-022-00580-3.

4. Мозг как мишень для стресса и артериальной гипертензии / Акарачкова Е. С., Артеменко А. Р., Беляев А. А. [и др.] // *Русский медицинский журнал*. – 2019. – № 4. – С. 59-64.
5. Жукова, Д. И. Роль ассоциативной и проекционной коры головного мозга в формировании индивидуального стиля деятельности при невротических расстройствах / Д. И. Жукова, В. Д. Балин, Л. В. Джанаева // *Медицинская психология в России*. – 2017. – № 2. – С. 5-12.
6. Дофаминергическая система мозга / О. И. Колотилова, И. И. Кореньюк, Д. Р. Хусаинов, И. В. Черетаев // *Вестник Брянского государственного университета*. – 2014. – № 4. – С. 97-106.
7. Григорова, О. В. Современные представления о патогенетической терапии тревожных расстройств / О. В. Григорова, Р. В. Ахаккин, Ю. А. Александровский // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. – 2019. – № 119. – С. 111-120.
8. Нехорошкова, А. Н. Нейробиологические предпосылки формирования тревожных состояний / А. Н. Нехорошкова, И. Л. Большевидцева // *Вестник САФУ*. – 2016. – № 3. – С. 24-36.
9. Науменко, В. С. 5-HT<sub>1A</sub> рецептор: роль в регуляции различных видов поведения / В. С. Науменко, Е. Г. Понимаскин, Н. К. Попова // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2016. – № 20. – С. 180-190. DOI: 10.18699/VJ16.135.
10. Взаимосвязь уровня тревожности с полиморфными вариантами гена серотонинового транспортера у русских и тувинцев / Савостьянов А. Н., Науменко В. С., Синякова Н. А. [и др.] // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2014. – № 4/3. – С. 1268-1280.
11. Проскурякова, Л. А. Нарушения пищевого поведения и риск его развития у студентов в зависимости от уровня личностной тревожности / Л. А. Проскурякова // *Вестник Кемеровского государственного университета*. – 2019. – № 1. – С. 121-129. DOI: 10.21603/2078-8975-2019-21-1-121-129.
1. Shchipitsyna A.S. The methods for measuring perfectionism. *Vestnik PGGPU: Psikhologicheskie i pedagogicheskie nauki*, 2014, pp. 235-245. (in Russ.)
2. Bragin D.B., Astakhov A.A., Turchaninov A.Yu. State Anxiety Assessment in Clinical Practice. *Annals of Critical Care*, 2017, no. 4, pp. 47-52. (in Russ.)
3. Papini N.M., Jung M., Cook A., Lopez N.V., Ptomey L.T., Herrmann S.D., Kang M. Psychometric properties of the 26-item eating attitudes test (EAT-26): an application of Rasch analysis. *Journal of Eating Disorders*, 2022, no. 10. DOI: 10.1186/s40337-022-00580-3.
4. Akarachkova E.S., Artemenko A.R., Belyaev A.A., Kadyrova L.R., Kerimova K.S., Kotova O.V., Lebedeva D.I., Orlova A.S., Radchenko I.A., Ryabokon' O.V., Travnikova E.V., Tsareva E.V., Yakovlev O.N. The brain as a target for stress and arterial hypertension. *RMJ*, 2019, no. 4, pp. 59-64. (in Russ.)
5. Zhukova D.I., Balin V.D., Dzhanaeva L.V. Role of associative and projection cortex in the formation of individual style of activity in neurotic disorders. *Med. Psihol. Russ.*, 2017, no. 2, pp. 5-12. (in Russ/Eng.)
6. Kolotilova O.I., Korenyuk I.I., Khusainov D.R., Cheretaev I.V. Dopaminergic brain system. *The Bryansk State University Herald*, 2014, no. 4, pp. 97-106. (in Russ.)
7. Grigорова O.V., Akharkin R.V., Aleksandrovskij Yu.A. Modern concepts of pathogenetic therapy of anxiety disorders. *Zhurnal Nevrologii i Psikhiiatrii imeni S.S. Korsakova*, 2019, no. 119, pp. 111-120. (in Russ.)
8. Nekhoroshkova A.N., Bolshevidtseva I.L. Neurobiological background of anxiety formation. *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University*, 2016, no. 3, pp. 24-36. (in Russ.)
9. Naumenko V.S., Ponimaskin E.G., Popova N.K. 5-HT<sub>1A</sub> receptor: its role in the regulation of different kinds of behavior. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2016, no. 20, pp. 180-190. DOI: 10.18699/VJ16.135. (in Russ.)
10. Savost'yanov A.N., Naumenko V.S., Sinyakova N.A., L'vova M.N., Levin E.A., Zaleshin M.S., Kavaj-ool Yu.N., Mordvinov V.A., Kolchanov N.A., Aftanas L.I. Association of anxiety level with polymorphic variants of the serotonin transporter gene in Russians and Tuvinians. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2014, no. 4/3, pp. 1268-1280. (in Russ.)
11. Proskuryakova L.A. Eating Disorders and the Risk of their Development in Students according to the Level of Personal Anxiety. *SibScript (The Bulletin of the Kemerovo State University)*, 2019, no. 1, pp. 121-129. DOI: 10.21603/2078-8975-2019-21-1-121-129. (in Russ.)

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Нина Александровна Бурова** – студентка института клинической медицины, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, Самара, e-mail: grmvadarja@rambler.ru.

**Дарья Сергеевна Громова** – старший преподаватель кафедры общей и молекулярной биологии, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, Самара, e-mail: d.s.gromova@samsmu.ru.

**Юлия Валерьевна Мякишева** – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой общей и молекулярной биологии, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России, Самара, e-mail: yu.v.myakisheva@samsmu.ru.

**Снежанна Ивановна Павленко** – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии с курсом безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф, ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; доцент кафедры физиологии человека и животных, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», Самара, e-mail: pavlenko.snezhanna@mail.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Nina Aleksandrovna Burova** – Student of the Clinical Medicine Institute, Samara State Medical University, Samara, e-mail: grmvadarja@rambler.ru.

**Daria Sergeevna Gromova** – Senior Lecturer of the Department of General and Molecular Biology, Samara State Medical University, Samara, e-mail: d.s.gromova@samsmu.ru.

**Yulia Valer'evna Myakisheva** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of General and Molecular Biology, Samara State Medical University, Samara, e-mail: yu.v.myakisheva@samsmu.ru.

**Snezhanna Ivanovna Pavlenko** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology with the Life Safety and Emergency Medicine Course, Samara State Medical University; Associate Professor of the Department of Human and Animal Physiology, Samara University, e-mail: pavlenko.snezhanna@mail.ru.

**Для цитирования:** Некоторые психофизиологические особенности лиц, склонных к перфекционизму / Н. А. Бурова, Д. С. Громова, Ю. В. Мякишева, С. И. Павленко // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_25

**For citation:** Burova N.A., Gromova D.S., Myakisheva Yu.V., Pavlenko S.I. Some psychophysiological features of people prone to perfectionism. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_25

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_26  
УДК 796.01; 159.9

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_26  
UDC 796.01; 159.9

## НЕГАТИВНАЯ МОТИВАЦИЯ КАК ГЛАВНЫЙ СТИМУЛ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ СПОРТОМ СРЕДИ ЛИЦ СРЕДНЕГО И СТАРШЕГО ВОЗРАСТА В РОССИИ

Т.Р. Габитов<sup>1</sup>, А.Л. Ясенявская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, г. Астрахань, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Астрахань, Россия

**Аннотация.** Одной из важных задач в сфере физической культуры является изучение запросов и потребностей населения, готовности к занятиям спортом, интересов лиц различных возрастных групп к определенным видам спорта и т.д. В качестве рассматриваемого предмета в данной статье выступает мотивация, объект же представлен в виде ее формы, а именно негативной мотивации. Негативная мотивация вызывает интерес в контексте вопроса о главной движущей силе и стимуле, дающих необходимый толчок людям среднего и старшего возраста для начала занятий спортом. Предприятие субъектом действия или бездействия есть итоговый компонент в структуре формирования человеком негативной мотивации.

**Ключевые слова:** мотивация, негативная мотивация, спорт, физическая культура, психология, средний и старший возраст.

## NEGATIVE MOTIVATION AS THE MAIN INCENTIVE TO ENGAGE IN SPORT AMONG MIDDLE-AGED AND OLDER PEOPLE IN RUSSIA

T.R. Gabitov<sup>1</sup>, A.L. Yasenyavskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia

<sup>2</sup>Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia

**Annotation.** One of the important tasks in the field of physical culture is the study of the needs of the population, willingness to engage in sport, the interests of people of different age groups in certain sports, etc. Motivation acts as the subject matter in this article, while the object is one of its forms, namely – negative motivation. Negative motivation is of interest in the context of the main driving force and incentive that give the necessary impetus to middle-aged and older people to start engaging in sports. Taking an action or no action at all is the final component in the structure of the negative motivation formation.

**Keywords:** motivation, negative motivation, sport, physical culture, psychology, middle and older age.

**Введение.** Одной из важных задач как для теории, так и для практики занятия спортом различных возрастных групп является определение мотивационной составляющей с учетом возможностей конкретной группы с целью подбора адекватных средств достижения целей [1-8].

Конец XX века для России ознаменован двумя знаковыми событиями: с одной стороны это развитие нового политического и социального вектора, который взят государством с целью «осовременить»

строй и общество, с другой – потеря вектора старого, который наряду с консервативной направленностью обладал весьма прогрессивными элементами, являющимися актуальными и на сегодняшний день. Главным образом, речь идет о физической культуре и спорте как основных составляющих общества, их роли, а также об отношении к занятиям спортом как со стороны государства, так и со стороны самого общества и отдельного человека [9-10]. На сегодняшний день заметны



положительные изменения в вопросах спорта и физической культуры, которые происходят в нашей стране.

По данным Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ), отмечено увеличение доли россиян, занимающихся спортом с той или иной периодичностью – с 38% в 2006 году до 60% в 2018 году. Наряду с этим, спорт становится все более доступным, что находит свое отражение в повсеместном строительстве различных спортивных объектов, начиная от открытых спортивных площадок и заканчивая крупными спортивно-зрелищными комплексами. Возрождаются оздоровительные государственные инициативы, например такие, как всероссийский физкультурно-спортивный комплекс, отражающий нормативную основу физического воспитания населения страны, нацеленную на развитие спорта и оздоровление (ГТО). Реабилитация данного комплекса способствует улучшению физической подготовки населения и в целом благотворно влияет на развитие массового спорта, а в качестве позитивной мотивационной составляющей для подростков предлагает такие привилегии, как получение дополнительных баллов к ЕГЭ при поступлении в вуз. Переход к новой форме государственного правления, несомненно, наложил свой отпечаток на роль и место спорта и физической культуры в стране. Сбитые ценностные ориентиры и пошатнувшиеся жизненные приоритеты отодвинули занятия спортом среди населения на далекий задний план. Данные процессы негативно сказались не только на здоровье нации, но и на имиджевой репутации самого спорта в лице общества. Данный переходный период в истории нашей страны сформировал человека с определенным типом психологии, который уже сегодня активно начал приходить к пониманию и осознанию факта необходимости присутствия спорта и физической культуры в своей жизни.

Целью работы явился теоретический анализ негативной мотивации как главного

стимула для занятия спортом среди лиц среднего и старшего возраста в России.

#### **Методы и организация исследования.**

Проведен анализ литературных данных отечественных и зарубежных источников с использованием метода деконструкции, основанного на оценке текста и толкования прочитанного; аспектного анализа, позволяющего исследовать проблему мотивационной составляющей как основного стимула для занятия спортом с возможностью обоснования своего суждения; дискриптивного метода, позволяющего основываться на «дескриптах» (мотивация, спорт, физическая культура, средний и старший возраст) и конкретизировать ход мысли, делая акцент на наиболее важных аспектах объекта исследования.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В качестве рассматриваемого предмета в данной статье выступает мотивация, объект же представлен в виде ее формы, а именно негативной мотивации. Негативная мотивация интересует нас в контексте вопроса о главной движущей силе и стимуле, дающей необходимый толчок людям среднего и старшего возраста для начала занятий спортом. Во вступлении была обозначена некая переходная точка во времени, пришедшаяся на период перестройки. Эта временная точка образовала культурную яму, выразившуюся в формировании поколения, отчужденного от привычки занятиями физической культурой и спортом. Следует отметить, что потребность человеческого организма в определенной дозе физического движения есть потребность естественная, детерминированная самой природой, следовательно приход к пониманию и осознанию необходимости присутствия движения в жизни конкретного человека не может быть осуществлен иначе, чем через призму последствий, выраженных снижением дееспособности и вызванных отсутствием этого самого движения [11-13]. В свою очередь, эти последствия находят свой единственный выход в виде формирований

противолежащих потребностей посредством негативной мотивации.

Для начала необходимо рассмотреть сам термин «мотивация». Отталкиваясь от мнения Платонова К.К., мотивация есть некая совокупность человеческих мотивов [14]. Мотив же, в свою очередь, есть некий динамический процесс, управляющий поведением человека [15]. То есть мотивация представляется нам в виде комплекса или группы процессов, которые движут человеческим поведением и корректируют его. Сама мотивация имеет ряд видовых подразделений, из которых нас интересует классификация, определяющая две ее формы: мотивацию позитивную и негативную. Для того, чтобы ближе рассмотреть объект статьи, а именно негативную мотивацию, дадим определение мотивации позитивной. Позитивная мотивация основывается на методе поощрения, выражающимся в ожидании получения награды или ощущения удовольствия от процесса занятия тем или иным родом деятельности. Позитивная мотивация это сложно формируемая мотивационная форма. Про нее можно сказать, что это мотивация высшего порядка. Часто она является трансформировавшейся негативной мотивацией, выходящей на качественно новый уровень. К примерам проявления позитивной мотивации в спортивной жизни человека можно отнести следующие ситуации: посещение старой забытой спортивной секции (часто целью такого поведения может служить стремление получить удовольствие, соприкоснувшись с приятными воспоминаниями из прошлого), добровольная подготовка к участию в спортивных соревнованиях (вызванная желанием посоревноваться с целью получения вознаграждения и признания), бытовое спортивное любопытство (желание сформировать новые навыки и умения в интересном для себя хобби).

В отличие от позитивной мотивации, негативная мотивация представляет собой метод побуждения, который основан исключительно на страхе. Данное побуждение

вызывается чувством страха перед потенциальными последствиями, к которым может привести действие или бездействие со стороны субъекта. Негативная форма проявления мотивации практически во всех случаях является первичным побудителем к изменению качества жизни человека. Это так называемый первый мотивационный «пинок», в ходе которого запускается весь трансформационный процесс. Ниже мы более конкретно рассмотрим генезис появления данной мотивации среди людей среднего и старшего возраста в ситуациях, затрагивающих их взаимоотношения со спортом и физической культурой.

Согласно данным федеральной службы государственной статистики РФ, за период с 1958 г. и по 2007 г., самый низкий уровень продолжительности жизни среди населения России пришелся на 1994 год. Тогда средняя продолжительность жизни у женщин составила 71 год, а у мужчин – 57 лет [16]. Период 90-ых годов заслуженно принято считать временем с высоким уровнем социальных проблем (в том числе выраженных в высоком уровне потребляемых спиртных напитков) и низким уровнем пропаганды здорового образа жизни. Как описывалось выше, этот временной период сформировал максимально отчужденное от занятий спортом поколение. Вследствие этого, в наши дни население в возрасте от 45 до 60 лет неизбежно сталкивается с проблемами здоровья (артериальная гипертензия, сахарный диабет II типа, ожирение, остеохондроз, артрит и артроз), часть из них побуждают предпринимать определенные профилактические меры, в том числе и физкультурного характера.

Сталкиваясь с острой проблемой здоровья, человек формирует для себя особый поведенческий паттерн, который определяется его субъективным страхом последствий собственного действия или бездействия. Структура данного паттерна состоит из трех компонентов:

1. Причина страха и его осознание субъектом;

2. Осознание субъектом последствий собственного действия или бездействия;

3. Предприятие субъектом действия или бездействия.

В качестве причины страха мы обозначили проблемы здоровья. Несмотря на очевидные физические формы проявления данных проблем, они также могут носить и психический характер. Уже ни для кого не секрет, что физическая активность помогает бороться с такими психическими проблемами, как тревожные расстройства, депрессия, посттравматические стрессовые расстройства и др. [17]. Поэтому современные психологи все чаще советуют наряду с методами классической психотерапии использовать средства физкультурного и спортивного воздействия на организм (утренние пробежки, езда на велосипеде, фитнес, плавание в бассейне). Деструктивное воздействие на человека проблем с его здоровьем всегда находит свое отражение в нарушении комфортного течения его жизни, что неизбежно приводит к его осознанию и пониманию сути проблемы и формирует следующую ступень в трехкомпонентной структуре негативной мотивации.

Осознание субъектом последствий собственного действия или бездействия помогает составить целостную картину его потенциального будущего. Данный этап в мотивационной структуре представляется самым сложным, трудоемким и переломным. В этот момент мотивация рождается как таковая, ставя человека перед фактом выбора – «Хочешь изменений? Будь добр, изменись!». На данном этапе человек сталкивается со всем «грузом ответственности» за свои дальнейшие действия, но не всегда он оказывается способен этот «груз» превозмочь. Именно в этот период человек находится в наиболее уязвимом положении и отчаянно нуждается в сторонней поддержке. В связи с этим наиболее действенными будут для него коллективные формы занятия физкультурой и спортом, например такие, как персональные тренировки с тренером, совместные занятия с другом или товарищем, занятия в группе с

лицами, имеющими схожие проблемы и потребности. При правильном целеполагании и грамотной расстановке приоритетов человек формирует в себе мотив, выраженный в потребности достичь (или избежать) определенной цели, переходя к заключительному этапу структуры.

Предприятие субъектом действия или бездействия есть итоговый компонент в структуре формирования человеком негативной мотивации. Несмотря на то, что данный компонент представлен последним в списке, человек доходит до него во всех случаях. Разница лишь в том, что избирая путь «изменений», человек предпринимает действия или бездействия на сложном и трудоемком пути по направлению к достижению/избеганию цели. В случае, если человек решает не предпринимать попыток измениться, его действия или бездействия не будут нести в себе характерной трудоемкости, так как не будут выбиваться из привычного для человека образа жизни. В этом случае можно предположить, что степень воздействия первой ступени на формирование мотивации во второй ступени не была достаточно сильной. Возможно впоследствии неизбежно нарастающее и усиливающееся воздействие проблемы из первой ступени запустит данный механизм формирования негативной мотивации снова, и человек вернется к своей старой проблеме, но в уже более худшем положении.

**Заключение.** Подводя итог вышенаписанному, отметим главное: люди среднего и старшего возраста (от 45 до 60 лет) все чаще сталкиваются с проблемами физического и психологического здоровья, что подвигает их к занятию спортом и физической культурой как одной из форм решения этих проблем [18-20]. Формирующаяся мотивация, которая дает толчок к изменениям в жизни этих лиц, носит негативный характер, выражаясь в желании человека избежать негативных последствий действия или бездействия. Но следует ли говорить о том, что негативная мотивация является единственной мотивационной формой, которая

всегда первая запускает механизмы трансформации человека и его личности? Вероятно, что да. Как тогда ответить на вопрос, где находится та индивидуальная точка перелома у субъекта, определяющая формирование его мотивации и находящее свое выражение в переходе от концепции «старой» жизни к «новой»? Возможно, что ответ на этот вопрос кроется в общем уровне развитости личности,

в его культурной и интеллектуальной образованности, в степени его претензий на самого себя и на свое личностное достоинство. Понимание мотивов, влияющих на участие в физической активности, имеет решающее значение для разработки мероприятий, способствующих повышению уровня вовлеченности, что является одной из главных целей нацпроекта «Демография».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fomicheva, T. V. The physical culture and sport as perceived by the youth in Russia / T. V. Fomicheva, E. M. Kryukova // *Probl Sotsialnoi Gig Zdravookhranennii Istor Med.* – 2022. – Vol. 30. – № 6. – pp. 1245-1248.
2. Гогунев, Е. Н. Профессиональная направленность спортивной деятельности / Е. Н. Гогунев // *Вестник Оренбургского государственного университета.* – 2005. – Т. 42. – № 4. – С. 39-42.
3. Лукин, Ю. Л. Психология физической культуры и спорта: учеб. пособие / Ю. Л. Лукин, Т. В. Шелкунова. – Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, 2018. – 99 с.
4. Мартынова, В. А. Мотивация к спортивно-тренировочной деятельности легкоатлетов различной квалификации / В. А. Мартынова, О. А. Корнев, А. В. Корнева // *Современные проблемы науки и образования.* – 2021. – № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31388> (дата обращения: 05.03.2023).
5. Чередниченко, М. В. Факторы реализации тренировочного процесса с учетом индивидуализации специальной подготовки высококвалифицированных легкоатлетов / М. В. Чередниченко, В. А. Мартынова // *Современные достижения молодежной науки: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, 2021.* – С. 80-88.
6. Казанцев, С. А. Сравнительная (интегральная) оценка жизнеспособности людей среднего и старшего возраста, занимающихся спортивным ориентированием / С. А. Казанцев // *Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта.* – 2010. – Т. 59. – № 1. – С. 38-40.
7. Глухова, М. Ю. Исследование мотивации к занятиям физической культурой у обучающихся старшего школьного возраста / М. Ю. Глухова // *Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта.* – 2021. – Т. 202. – № 12. – С. 101-104.
8. Psychological, social and contextual factors across recovery stages following a sport-related knee injury: a scoping review / Truong L. K., Mosewich A. D., Holt C. J. [et al] // *Br J Sports Med.* – 2020. – Vol. 54(19). – pp. 1149-1156.
9. Culture in Physical Activity: The Contribution of Basic Psychological Needs and Goal Orientation / D. Gurleyik, C. K. N. Sen, J. L. Etnier, I. H. Acar // *Int J Environ Res Public Health.* – 2022. – Vol. 19(24). – P. 16691.
10. van Lankveld, W. Motivation for Physical Activity: Validation of the Dutch Version of the Physical Activity and Leisure Motivation Scale (PALMS) / W. van Lankveld, F. Linskens, N. Stolwijk // *Int J Environ Res Public Health.* – 2021. – Vol. 18(10). – P. 5328.
11. Sport Motivation from the Perspective of Health, Institutional Embeddedness and Academic Persistence among Higher Educational Students / Kovács K. E., Kovács K., Szabó F. [et al] // *Int J Environ Res Public Health.* – 2022. – Vol. 19(12). – P. 7423.
12. Understanding Levels and Motivation of Physical Activity for Health Promotion among Chinese Middle-Aged and Older Adults: A Cross-Sectional Investigation / Rahman M. M., Liang C. Y., Gu D. [et al] // *J Healthc Eng.* – 2019. – P. 9828241.
13. Motivation behind running among older adult runners / P. León-Guereño, H. Galindo-Domínguez, Balerdi-Eizmendi E. [et al] // *BMC Sports Sci Med Rehabil.* – 2021. – Vol. 13(1). – P. 138.
14. Платонов, К. К. Занимательная психология. Издание. 5-е, исправленное / К. К. Платонов. – СПб.: Питер Пресс, 1997. – 288 с.
15. Слепченко, А. Л. Мотивация как компонент занятий физической культурой / А. Л. Слепченко, Р. К. Краснов, В. В. Вольский // *Молодой ученый.* – 2019. – № 19 (257). – С. 388-390.
16. Сайт федеральной службы государственной статистики РФ // Интернет статья – “Смертность и продолжительность жизни населения России: современные тенденции и региональные особенности” – 2007. – URL:

[https://www.gks.ru/bgd/regl/b07\\_04/IssWWW.exe/Stg/d090/4-demogr.htm](https://www.gks.ru/bgd/regl/b07_04/IssWWW.exe/Stg/d090/4-demogr.htm) (дата обращения: 01.03.2023)

17. Сайт Всемирной Организации Здравоохранения // Презентация: «Рекомендации ВОЗ по вопросам физической активности и малоподвижного образа жизни». – 2020. – URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/337001/9789240014909-rus.pdf> (дата обращения: 01.03.2023)

18. Гилазиева, С. Р. Отношение взрослого населения к занятиям физической культурой (на примере г. Оренбурга) / С. Р. Гилазиева // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2012. – Т. 163. – № 2. – С. 38-43.

19. Psychological Effects of Motivational Aquatic Resistance Interval Training and Nutritional Education in Older Women / A. Martínez-Rodríguez, B. Cuestas-Calero, J. García-De Frutos, P. Marcos-Pardo // *Healthcare (Basel)*. – 2021. – Vol. 9(12). – P. 1665.

20. The physical activity of elderly persons and its effect on somatic and psychological health / V. A. Tarasov, S. V. Tsvetov, A. B. Borisov, M. Narvatov // *Probl Sotsialnoi Gig Zdravookhranennii i Istor Med*. – 2022. – Vol. 30(1). – pp. 39-44.

## REFERENCES

1. Fomicheva T.V., Kryukova E.M. The physical culture and sport as perceived by the youth in Russia. *Probl Sotsialnoi Gig Zdravookhranennii i Istor Med*, 2022, vol. 30, no 6, pp. 1245-1248.

2. Gogunov E.N. Professional orientation of sports activity. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2005, vol. 42, no. 4, pp. 39-42. (in Russ.)

3. Lukin Yu.L., Shelkunov T.V. Psychology of physical culture and sports: a textbook. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2018, 99 p. (in Russ.)

4. Martynova V.A., Kornev O.A., Korneva A.V. Motivation for sports and training activities of athletes of various qualifications. *Modern problems of science and education*, 2021, no. 6. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31388> (accessed 05.03.2023) (in Russ.)

5. Cherednichenko M.V., Martynova V.A. Factors of the implementation of the training process, taking into account the individualization of the special training of elite athletes. *Modern Achievements of Youth Science: collection of articles of the International Research Competition*, 2021. pp. 80-88. (in Russ.)

6. Kazantsev S.A. Comparative (integral) assessment of viability of middle- and old age people going for orienteering. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2010, vol. 59, no. 1, pp. 38-40. (in Russ.)

7. Glukhova M.Yu. Study of motivation for physical education among the higher school students. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2021, vol. 202, no. 12, pp. 101-104. (in Russ.)

8. Truong L.K., Mosewich A.D., Holt C.J., Le C.Y., Miciak M., Whittaker J.L. Psychological, social and contextual factors across recovery stages following a sport-related knee injury: a scoping review. *Br J Sports Med*, 2020, vol. 54(19), pp. 1149-1156.

9. Gurleyik D., Sen C.K.N., Etnier J.L., Acar I.H. Culture in Physical Activity: The Contribution of Basic Psychological Needs and Goal Orientation. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, vol. 19(24), pp. 16691.

10. van Lankveld, W., Linskens F., Stolwijk N. Motivation for Physical Activity: Validation of the Dutch Version of the Physical Activity and Leisure Motivation Scale (PALMS). *Int J Environ Res Public Health*, 2021, vol. 18(10), pp. 5328.

11. Kovács K.E., Kovács K., Szabó F., Dan B.A., Szakál Z., Moravec M., Szabó D., Olajos T., Csukonyi C., Papp D., Órsi B., Pusztai G. Sport Motivation from the Perspective of Health, Institutional Embeddedness and Academic Persistence among Higher Educational Students. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, vol. 19(12), pp. 7423.

12. Rahman M.M., Liang C.Y., Gu D., Ding Y., Akter M. Understanding Levels and Motivation of Physical Activity for Health Promotion among Chinese Middle-Aged and Older Adults: A Cross-Sectional Investigation. *J Healthc Eng*, 2019, p. 9828241.

13. León-Guereño P., Galindo-Domínguez H., Balardi-Eizmendi E., Rozmiarek M., Malchrowicz-Moško E. Motivation behind running among older adult runners. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2021, vol. 13(1), p. 138.

14. Platonov K.K. Entertaining psychology. 5<sup>th</sup> ed., with corrections. St. Petersburg: Piter Press, 1997, 288 p. (in Russ.)

15. Slepchenko A.L., Krasnov R.K., Vol'skij V.V. Motivation as a component of physical education. *Young Scientist*, 2019, vol. 19 (257), pp. 388-390. (in Russ.)

16. Website of the Federal State Statistics Service of the Russian Federation. Mortality and life expectancy of the population of Russia: current trends and regional features (article). 2007. Available at:

[https://www.gks.ru/bgd/regl/b07\\_04/IssWWW.exe/Stg/d090/4-demogr.htm](https://www.gks.ru/bgd/regl/b07_04/IssWWW.exe/Stg/d090/4-demogr.htm) (accessed 01.03.2023)

17. Website of the World Health Organization. WHO guidelines on physical activity and sedentary behavior (presentation). 2020. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/337001/9789240014909-rus.pdf> (accessed 01.03.2023)

18. Gilazieva S.R. The attitude of the adult population to physical education (on the example of Orenburg). *Vestnik of the Orenburg State University*, 2012, vol. 163, no. 2, pp. 38-43. (in Russ.)

19. Martínez-Rodríguez A., Cuestas-Calero B.J., García-De Frutos J.M., Marcos-Pardo P.J. Psychological Effects of Motivational Aquatic Resistance Interval Training and Nutritional Education in Older Women. *Healthcare (Basel)*. 2021, vol. 9(12), pp. 1665.

20. Tarasov V.A., Tsvetov S.V., Borisov A.B., Narvatov M.I. The physical activity of elderly persons and its effect on somatic and psychological health. *Probl Sotsialnoi Gig Zdravookhranennii i Istor Med*, 2022, vol. 30(1), pp. 39-44.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Тимур Рашидович Габитов** – студент II курса факультета физической культуры и спорта, ФГБОУ ВО «АГУ имени В. Н. Татищева» Минобрнауки России, Астрахань, Россия, e-mail: [gabi.tim1990@gmail.com](mailto:gabi.tim1990@gmail.com).

**Анна Леонидовна Ясенявская** – кандидат медицинских наук, доцент, руководитель Научно-исследовательского центра, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, ФГБОУ ВО «Астраханский ГМУ» Минздрава России, Астрахань, Россия, e-mail: [yasen\\_9@mail.ru](mailto:yasen_9@mail.ru).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Timur Rashidovich Gabitov** – 2nd year student of the Faculty of Physical Culture and Sports, Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia, e-mail: [gabi.tim1990@gmail.com](mailto:gabi.tim1990@gmail.com).

**Anna Leonidovna Yasenyavskaya** – Candidate of Medical Science, Associate Professor, Head of the Research Center, Associate Professor of the Pharmacognosy, Pharmaceutical Technology and Biotechnology Department, Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia, e-mail: [yasen\\_9@mail.ru](mailto:yasen_9@mail.ru).

**Для цитирования:** Габитов, Т. Р. Негативная мотивация как главный стимул для занятия спортом среди лиц среднего и старшего возраста в России / Т. Р. Габитов, А. Л. Ясенявская // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_26

**For citation:** Gabitov T.R., Yasenyavskaya A.L. Negative motivation as the main incentive to engage in sport among middle-aged and older people in Russia. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_26

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_27  
УДК 37.015.324.2

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_27  
UDC 37.015.324.2

## ОСОБЕННОСТИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО И ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЮНОШЕЙ И ДЕВУШЕК Г. ТЮМЕНИ В ПРЕДЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

Н.И. Кошкарлова, Е.И. Завертаная

ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень, Россия

**Аннотация.** Влияние образовательной среды повышается перед экзаменами, и целью данного исследования является изучение характерного для этого периода времени уровня психического и физического истощения (эмоционального выгорания). Результаты проведенного исследования эмоционального выгорания показали, что чаще всего у учащихся встречаются проявления резистентной фазы на ступени формирования. Преобладающим симптомом данной фазы является проявление избирательного эмоционального реагирования неадекватного типа. Фазы истощения и напряжения, разделившие второе место по частоте проявления симптомов, встречаются реже, чем симптомы фазы резистенции. В фазе истощения отмечается доминирование проявлений эмоционального истощения. Для анализа уровня эмоционального выгорания применялась методика диагностирования, разработанная В.В. Бойко.

**Ключевые слова:** юноши и девушки, симптомы эмоционального выгорания, синдром эмоционального выгорания, психоэмоциональное состояние.

## PSYCHOEMOTIONAL STATE OF YOUNG GIRLS AND BOYS IN TYUMEN DURING THE PRE-EXAMS PERIOD

N.I. Koshkarova, E.I. Zavertanaya

Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

**Annotation.** The influence of the educational environment increases before exams, and the purpose of this study is to examine the level of mental and physical exhaustion (emotional burnout) typical of this period. The results of the study have revealed that most often students have signs of the resistant phase at the formation stage. The predominant symptom of this phase is the sign of an inadequate selective emotional response. The phases of exhaustion and tension, which shared the second place in terms of symptom frequency, are less common than the resistance phase symptoms. In the exhaustion phase, the signs of emotional exhaustion remain dominant. To analyze the level of emotional burnout, we have used a diagnostic technique developed by V.V. Wojko.

**Keywords:** young boys and girls, emotional burnout symptoms, emotional burnout syndrome, psychoemotional state.

**Введение.** Та социально-демографическая категория, к которой относятся молодые люди в возрасте от 16 до 27 лет, является самой многочисленной и составляет почти третью часть населения Земли. Именно они испытывают на себе усиленное влияние неблагоприятных обстоятельств и факторов, носящих как внешний, так и внутренний характер. На процесс общественной адаптации учащихся и на степень их приспособляемости к психологическим и физическим нагрузкам значительное воздействие оказывает учебная среда, и

наибольшую выраженность ее влияние приобретает в период экзаменов, когда учащиеся испытывают дополнительное давление, которому сопутствуют сильные переживания относительно оценок и экзаменационных результатов.

На старшекласников в исследуемый временной период воздействует множество стресс-факторов. Они прощаются с детством, перед ними появляются перспективы взрослой жизни, а вместе с ними – и обязательства, диктующие повышенные требования. К этому добавляются стресс-

факторы учебного процесса, связанные с оцениванием успехов старшеклассников учителем и экзаменующими лицами, а также с принятием учащимися таких судьбоносных решений, как выбор профессии, подготовка к трудоустройству либо к поступлению в высшее учебное заведение. В связи со всем вышеперечисленным меняются ценности и интересы старшеклассников, что негативно влияет на их психоэмоциональное состояние. К стресс-факторам, оказывающим влияние на старших школьников, также стоит добавить перестройку гормональной системы, соответствующую возрасту испытуемых.

По причине увеличения информационной нагрузки и влияния перечисленных выше факторов у старшеклассников растет уровень эмоционального и психического напряжения, обусловленного учебным стрессом. Следствием психоэмоционального напряжения может стать ухудшение способности адаптироваться к условиям социальной среды, что в свою очередь может привести к снижению уровня приспособляемости функционального состояния учащихся [1].

Выявленные у старшеклассников психологические и физиологические симптомы снижения способности адаптироваться к условиям социальной среды соответствуют параметрам стресса. Физиологическое влияние механизмов стресса приводит к снижению у исследуемой группы способности реализовывать накопившуюся энергию, что в свою очередь способствует повышению разрушительного воздействия этой энергии на человеческий организм [2]. Следствием этого являются снижение качества усвоения информации, ухудшение работоспособности и выработки практических способностей и навыков, применяемых в учебной деятельности, а также внешне заметные поведенческие проявления, носящие негативный характер, к которым относятся повышенная раздражительность, грубость по отношению к окружающим, внутреннее беспокойство, высокая тревожность, недовольство собой.

Уже в школьном возрасте все вышеперечисленное может привести к развитию СЭВ – синдрома эмоционального выгорания, представляющего собой истощение психического, эмоционального, физического состояния по причине долговременного участия в ситуациях, характеризующихся высоким уровнем напряжения эмоций.

Вопрос о нарушении эмоциональной адаптации в качестве синдрома эмоционального выгорания впервые был поднят еще в 1974 г. психиатром Дж. Фрейденбергером. Сегодня СЭВ рассматривается исследователями как продолжительная реакция организма, которая появляется из-за длительных среднеинтенсивных стрессов.

По мнению ряда ученых, к которым относится и В.В. Бойко [3], синдром эмоционального выгорания представляет собой механизм психологической защиты, который проявляется в виде частичного либо полного выключения эмоций, и вырабатывается индивидом в качестве ответа на определенное травмирующее психику влияние. Под выгоранием подразумевается пример поведения (профессионального и/или эмоционального), который дает возможность индивиду более бережливо тратить свою энергию. Впрочем, рациональность использования механизма СЭВ вызывает вопросы, так как их действие приводит к ухудшению эффективности осуществляемой деятельности, снижению качества близких отношений, ухудшению коммуникации с другими людьми, нарушению способности приспособляться к условиям окружающей среды.

Синдром эмоционального выгорания на стадии сформированности выражается в развитии психосоматических и невротических расстройств, а также в значительном и заметном снижении качества жизни. В качестве основных типов симптомов синдрома эмоционального выгорания определены следующие: эмоциональные, физические, социальные, поведенческие, интеллектуальные [4].



Точка зрения о том, что синдром эмоционального выгорания присущ только лицам зрелого возраста, идет вразрез с практическими данными, которые свидетельствуют о том, что те или иные симптомы СЭВ могут проявляться и у людей более юного возраста.

Учащийся, обладающий симптомами СЭВ, не имеет возможности полноценно воспринимать новые знания и навыки, что ставит под сомнение его дальнейшие успехи в получении профессии. Этим объясняется значимость диагностирования синдрома эмоционального выгорания на ранней стадии и предупреждения дальнейшего развития СЭВ, что представляет собой эффективный способ подготовить учащихся к тем сложностям, которые могут возникнуть у них в дальнейшем обучении либо в профессиональной деятельности в будущем [5].

Так как симптомы эмоционального выгорания проявляются не только у взрослых людей, но и у представителей более молодых возрастных групп, необходимо осуществлять работу по определению уровня СЭВ у учащихся, чтобы иметь возможность как можно раньше приступить к реализации мероприятий по профилактике СЭВ и тем самым повысить их эффективность. На данной точке зрения основывается позиция целесообразности исследования, базирующегося на анализе эмоциональных и психических состояний, которые испытывают старшеклассники в период экзаменов.

**Методы и организация исследования.** Для проведения исследования был выбран период окончания учебного года, характеризующийся близостью экзаменов. В группу испытуемых вошли проходящие курсы подготовки к поступлению на базе высшего медицинского учебного заведения старшеклассники в количестве 61 человека, из которых 27 респондентов – юноши, 34 – девушки.

Критериями включения в исследовательскую группу стало наличие у респондентов группы здоровья I и средний возраст в пределах  $16,81 \pm 1,31$  года.

Все испытуемые имели примерно одинаковый уровень образования и дали информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

Диагностика эмоционального выгорания производилась на основе опросника по методике В.В. Бойко, разработанного для определения симптомов СЭВ и степени их проявленности на основе трех измерительных шкал:

- Фаза напряжения (давление психотравм и переживание травмирующих обстоятельств, которым сопутствует повышенная тревожность, ощущение безвыходности, чувство неудовлетворенности собой и собственными действиями);

- Резистентная фаза (не соответствующее ситуации эмоциональное реагирование, минимизация расхода эмоций и потеря ориентации в нравственно-эмоциональной сфере, а также ослабление профессиональных способностей);

- Фаза истощения (нехватка эмоций, отстраненность эмоциональная и личностная, диссоциативные расстройства, нарушения психической, соматической, вегетативной деятельности).

Оценка фаз производится в баллах в пределах 0-120. Результаты оценки позволяют определить сформированность каждой из фаз:

- 0-36 баллов – несформированная фаза;

- 37-60 баллов – фаза в состоянии формирования;

- 61-120 баллов – сформированная фаза.

С помощью опросника В.В. Бойко можно исследовать синдром эмоционального выгорания и его симптоматику достаточно подробно. Выраженность проявлений СЭВ колеблется в пределах 0-30 баллов, что позволяет определить сформированность каждого из симптомов:

- 0-9 баллов – несформированный симптом;

- 10-15 баллов – симптом в стадии формирования;

- 16-30 баллов – сформированный симптом.

Использование опросника В.В. Бойко дает возможность увидеть доминирующие симптомы эмоционального выгорания и определить, к какой из фаз стресса они относятся.

Обработка статистических данных по результатам работы с опросником производилась при помощи программного обеспечения STATISTICA 10, Microsoft Excel 2016. Исследование показателей

нормальности распределения осуществлялось на основе теста Шапиро-Уилка с применением непараметрического статистического критерия независимых выборок Манна-Уитни и принятым в пределах  $p < 0,05$  предельным уровнем значимости различий.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Данные анализа степени эмоционального выгорания испытуемых отражены на рисунке 1.

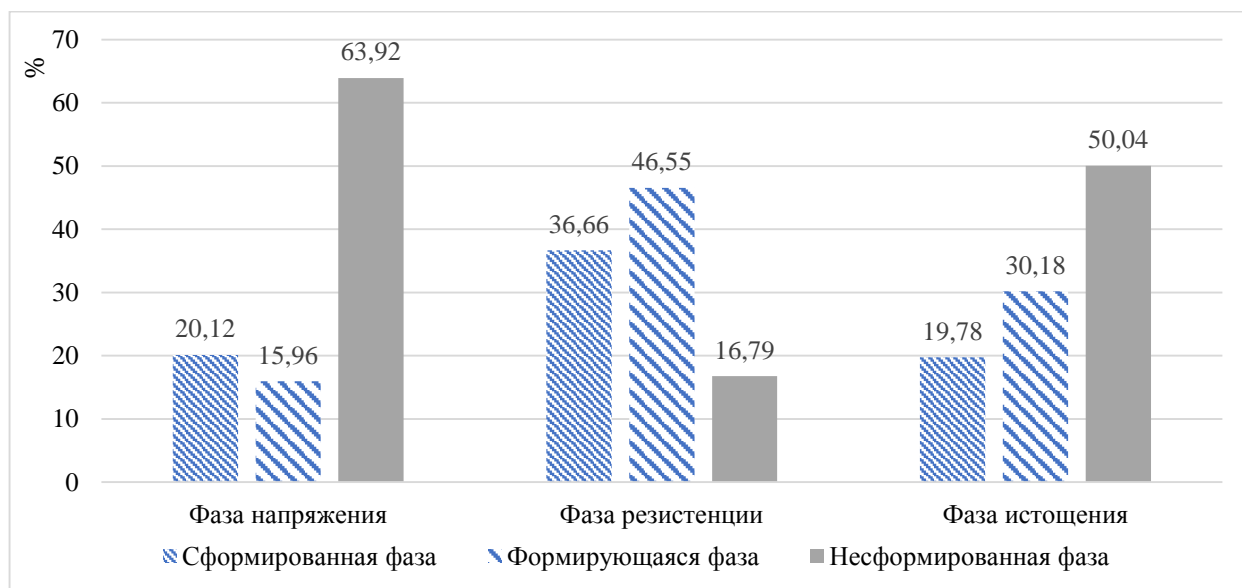


Рис. 1. Степень сформированности фаз синдрома эмоционального выгорания у респондентов, %

Наибольшая выраженность отмечена у проявлений фазы резистенции СЭВ: формирующаяся фаза выявлена у 46,55% респондентов, а сформированная – у 36,66%. Несформированной данная фаза является у 16,79% исследованных юношей и девушек.

Менее выраженными являются фазы напряжения и истощения (20,12% и 19,78%

соответственно) в сформированной стадии СЭВ. Формирующаяся фаза напряжения выражена менее, чем формирующаяся фаза истощения (15,96% и 30,18% соответственно).

Наибольшая выраженность фазы резистенции подтверждается оценкой статистически значимых отличий показателей (табл.).

Таблица

Показатели оценки фаз синдрома эмоционального выгорания у респондентов, Me [Q1; Q3], баллы

	Фаза напряжения	Фаза резистенции	Фаза истощения
Me	58,68*	81,57*,**	55,69**
Q1-Q3	29,34-88,02	40,78-109,85	27,84-83,53

Примечание: \*, \*\* – статистически значимые отличия показателей ( $p < 0,05$ ) фаз резистенции, напряжения и истощения

Способность противостоять влиянию стресс-факторов у большого числа респондентов находится на резистентном уровне. Вместе с тем нервное истощение уже находится на стадии формирования либо сформировано (30,18% и 19,78% соответственно).

Среди испытуемых выявлено достаточно много учащихся с симптомами эмоционального выгорания в стадиях

истощения и резистенции. Наличие сразу всех трех сформированных фаз и, соответственно, синдрома эмоционального выгорания определено только у 1/10 респондентов.

На рисунке 2 приведены результаты исследования степени выраженности симптоматики резистентной фазы, дающие возможность отследить степень сформированности симптомов.

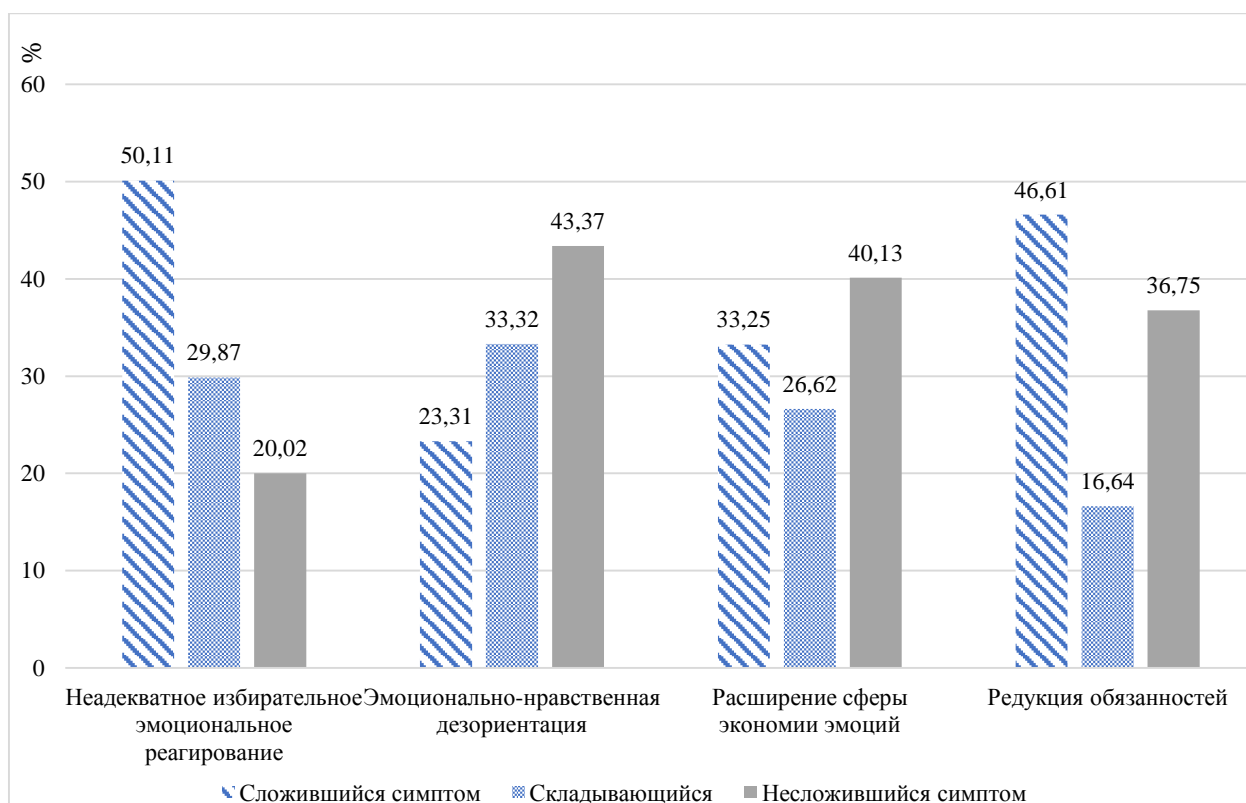


Рис. 2. Степень выраженности симптомов резистентной фазы, %

В резистентной фазе синдром эмоционального выгорания часто выражается в качестве эмоционального реагирования, неадекватного обстоятельствам. Данное проявление отмечается у большинства респондентов (50,11%); симптом не обнаружен у 20,02% испытуемых и находится в формирующейся фазе у 29,87% (рис. 2). Высокая степень сформированности симптома неадекватного эмоционального реагирования свидетельствует о том, что респондент теряет возможность отличать снижение эмоциональных затрат от реагирования, не соответствующего обстоя-

ствам. Экономное проявление эмоций позволяет выборочно реагировать в ходе рутинной деятельности, и индивид испытывает ощущение адекватности своего реагирования, хотя для субъекта коммуникации оно выглядит как неуважительное, равнодушное, безэмоциональное.

На втором месте по степени проявленности находится симптом упрощения обязанностей, который на сформированной стадии выражается в качестве попыток избавиться от требующих эмоционального реагирования задач. Сформирован данный симптом у 46,61% респондентов, на стадии

формирования он находится у 16,64%, не выявлен у 36,75% опрошенных.

Третье место по уровню проявленности занимает симптом, выражающийся в расширении области экономии знаний, где защитные механизмы начинают действовать в процессе социальной коммуникации: в учебной сфере поведение обладателя данного симптома находится в пределах нормы, за ее же пределами личность прибегает к отстранению либо замыканию в себе. Симптом в сформированной стадии определен у 33,35% опрошенных, в процессе формирования – у 26,62% респондентов. Не выявлен данный симптом у 40,13% участников исследования.

Наиболее низкая проявленность определена у симптома нравственно-эмоциональной дезориентации, особенность которого состоит в том, что субъективные характеристики (предпочтения, настроение, интерес) определяют отношение к обязанностям и

влиять на их выполнение. В сформированной фазе данный симптом выявлен у 23,31% респондентов, в процессе формирования – у 33,32%, 43,37% опрошенных показывают отсутствие данного симптома.

Результаты исследования, приведенные выше, демонстрируют адаптационный механизм к преодолению стресса: ответ на влияние стресс-факторов у опрошенных осуществляется в первую очередь благодаря увеличению избирательности осознания травмирующих обстоятельств и ситуации, что приводит к снижению адекватности эмоционального реагирования. Кроме этого, опрошенные юноши и девушки используют для уменьшения уровня эмоционального и психического напряжения редукцию обязанностей, снижение уровня эмоционального реагирования, уменьшение собственной чувствительности и нравственно-моральную дезориентацию.

Степень выраженности симптомов фазы представлена на рисунке 3.

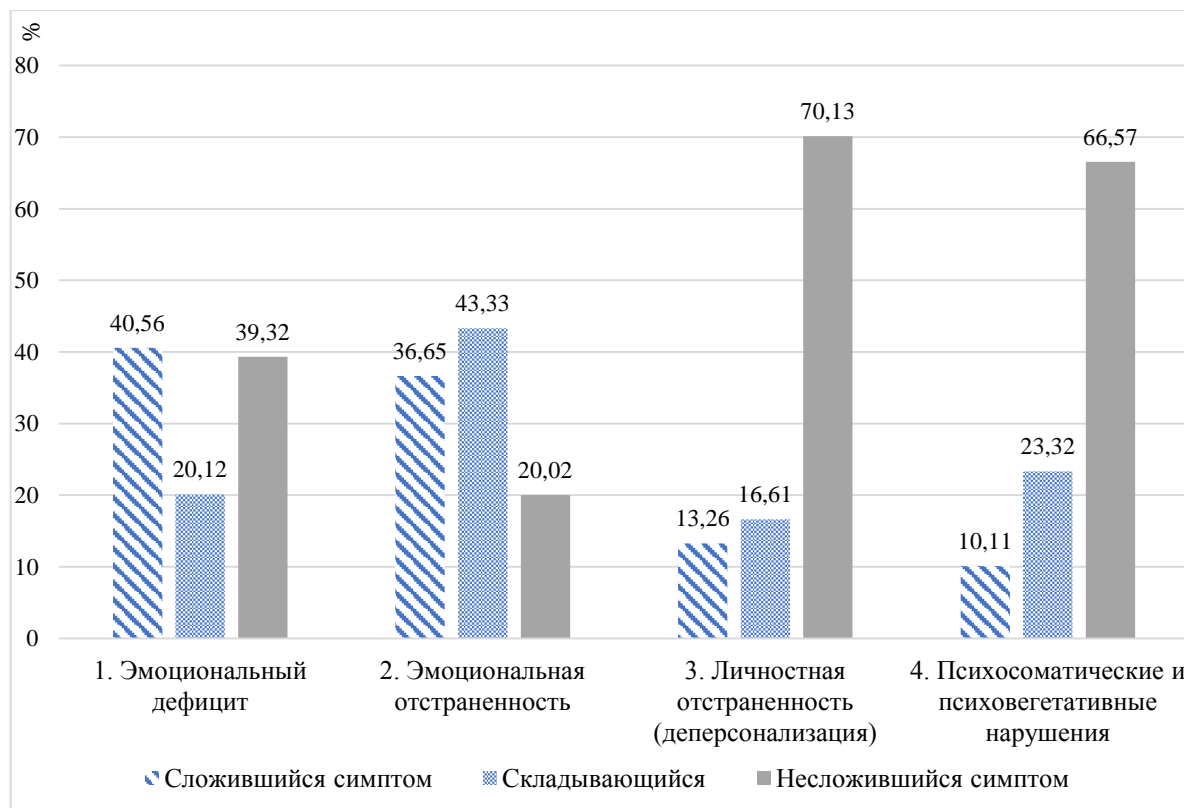


Рис. 3. Степени выраженности симптомов фазы истощения, %

Наиболее часто встречающимся симптомом стадии истощения у респондентов стал симптом эмоционального дефицита, который выявлен у 40,56% респондентов и выражается в неспособности к проявлению эмпатии, невозможности «войти в положение» субъектов собственной деятельности; прогрессирование симптома определяется тем, что увеличиваются раздражительность, обидчивость и грубость, количество позитивных эмоций начинает снижаться, а количество отрицательных растет. Несформированность данного симптома отвечена у 20,12% опрошенных, не выявлен эмоциональный дефицит у 39,32%.

Примерно на таком же уровне находится выраженность симптомов эмоционального отстранения, который заставляет опрошенных в контексте учебной деятельности абстрагироваться от эмоций и не проявлять никакой эмоциональной реакции ни на положительные, ни на отрицательные ситуации. На сформированной стадии симптом выявлен у 36,65% опрошенных, в фазе формирования – у 43,33%, не определен данный симптом у 20,02% респондентов.

Наименьшими являются проявления двух последних симптомов – психовегетативных и психосоматических проблем и расстройств персонализации, которые выявлены в сформированной фазе у 10,11% и 13,26% соответственно. Первый симптом находит свое отражение в психическом и физическом самочувствии, способствуя появлению негативных условных рефлексов. Второй представляет собой утрату интереса к окружающему миру и

концентрацию внимания на себе и своих проблемах.

**Заключение.** Проведенное исследование показало, что наиболее часто у респондентов встречаются симптомы СЭВ в стадии резистенции: сформированное состояние определяется у 36,66% учащихся, тогда как находящееся в процессе формирования – у 46,55%. Фазы истощения и напряжения по степени выраженности делят между собой второе место. Наличие всех стадий синдрома эмоционального выгорания выявлено только у десятой части опрошенных.

В резистентной фазе чаще других симптомов проявляется неадекватное эмоциональное реагирование, и его сформированность свидетельствует о том, что респондент теряет возможность отличать неадекватное реагирование от экономного расходования эмоций. Реже всего в данной фазе проявляется симптом потери нравственно-эмоциональной ориентации, который выявлен у 23,31% опрошенных. Это говорит о том, что адаптация личности респондентов к влиянию стресс-факторов в первую очередь осуществляется путем увеличения избирательности осознания наносящих травму ситуаций и обстоятельств, что вызывает искажение адекватности эмоциональной реакции.

В стадии истощения преобладает симптом нехватки эмоций, который определен у 40,56% респондентов. Испытывающие дефицит эмоций опрошенные практически целиком исключают эмоциональное реагирование из сферы своей учебной деятельности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бусел-Кучинская, Е. Н. Эмоциональное выгорание у старшеклассников на примере ГУО «Гимназия № 9 г. Витебска» / Е. Н. Бусел-Кучинская, С. В. Лабусова // Сборник научных статей под ред. Орловой А.П. на тему повышения качества проф. подготовки специалистов социальной и образовательной сфер. Витебский государственный университет им. П.М. Машерова. – Витебск, 2019. – С. 78-81.
2. Бабанов, С. А. Профессия и стресс: синдром эмоционального выгорания / С. А. Бабанов // Справочник поликлинического врача. – 2010. – № 1. – С. 12-16.
3. Бойко, В. В. Синдром «эмоционального выгорания» в профессиональном общении / В. В. Бойко. – СПб., 1999. – 434 с.
4. Илюхин, А. Г. Факторы эмоционального выгорания в учебной деятельности старших

школьников / А. Г. Илюхин // Психолого-педагогический журнал Гаудеамус. – 2020. – Т. 19. – № 4 (46). – С. 106-113.

5. Сидоров, Д. Г. Влияние синдрома эмоционального выгорания на показатели качества жизни студентов / Д. Г. Сидоров, А. С. Большев, О. В. Сидорова // Ялта: Гуманитарные науки. – 2019. – № 3 (47). – С. 113-117.

#### REFERENCES

1. Busel-Kuchinskaya, E.N., Labusova S.V. Emotional burnout among high school students on the example of the Gymnasium No. 9 in Vitebsk. Collection of scientific articles under the editorship of Orlova A.P. on the topic of improving the quality of professional training in social and educational

fields. Vitebsk State University named after P.M. Masherov. Vitebsk, 2019. pp. 78-81. (in Russ.)

2. Babanov S.A. Profession and stress: emotional burnout syndrome. *Spravochnik poliklinicheskogo vracha*, 2010, no. 1. pp. 12-16. (in Russ.)

3. Bojko V.V. The emotional burnout syndrome in professional communication. St. Petersburg, 1999. 434 p. (in Russ.)

4. Plyukhin A.G. Factors of emotional burnout in the educational activities of high school students. *Psychological-Pedagogical Journal "Gaudeamus"*, 2020, vol. 19, no. 4(46), pp. 106-113. (in Russ)

5. Sidorov D.G., Bol'shev A.S., Sidorova O.V. Influence of burnout syndrome on indicators of students' quality of life. *The Humanities*, 2019, no. 3(47), pp. 113-117. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Наталья Игоревна Кошкарлова** – старший преподаватель кафедры биологии, ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, Тюмень, e-mail: Koshkarovani@yandex.ru.

**Елена Ивановна Завертаная** – кандидат биологических наук, доцент кафедры гигиены, экологии и эпидемиологии, ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, Тюмень, e-mail: nauka.uk@yandex.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Natal'ya Igorevna Koshkarova** – Senior Lecturer of the Department of Biology, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: Koshkarovani@yandex.ru.

**Elena Ivanovna Zavertanaya** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Hygiene, Ecology and Epidemiology, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: nauka.uk@yandex.ru.

**Для цитирования:** Кошкарлова, Н. И. Особенности психологического и эмоционального состояния юношей и девушек г. Тюмени в предэкзаменационный период / Н. И. Кошкарлова, Е. И. Завертаная // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_27

**For citation:** Koshkarova N.I., Zavertanaya E.I. Psychoemotional state of young girls and boys in Tyumen during the pre-exams period. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_27

## КУРОРТОЛОГИЯ И РЕАБИЛИТАЦИЯ

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_28  
УДК 612; 616.12-008.4

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_28  
UDC 612; 616.12-008.4

### СКАНДИНАВСКАЯ ХОДЬБА КАК МЕТОД РЕАБИЛИТАЦИИ У БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА, ПЕРЕНЕСШИХ COVID-19

Е.Н. Августа<sup>1</sup>, С.В. Соловьева<sup>1</sup>, Н.Я. Прокопьев<sup>2</sup>, Н.И. Кошкарлова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

**Аннотация.** Нами изучены показатели частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), диастолического (ДАД, мм рт. ст.) и систолического (САД, мм рт. ст.) артериального давления, коэффициента выносливости (КВ, усл.ед.), и коэффициента экономичности кровообращения (КЭК, усл.ед.) в 8, 12, 16 и 20 часов в различные дни недели в состоянии физиологического покоя и после дозированной физической нагрузки в виде скандинавской ходьбы (СХ). Результаты изучения недельной динамики ЧСС свидетельствовали о том, что показатели до нагрузки в виде СХ не превышали нормативных значений, свойственных каждому возрастному периоду, т.е. не выходили за пределы 90 уд/мин, что явилось основанием для систематических занятий СХ. У всех обследованных людей после окончания СХ присутствовал нормотонический тип реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку, так как ЧСС не превышала 100% от исходного значения, а САД не повышалось более чем на 35 мм рт. ст., что расценивается нами как благоприятная (нормотоническая) реакция центральной гемодинамики на дозированную физическую нагрузку.

**Ключевые слова:** скандинавская ходьба, ишемическая болезнь сердца, центральная гемодинамика, второй зрелый возраст, пожилой возраст.

### NORDIC WALKING AS A REHABILITATION METHOD FOR PATIENTS WITH CORONARY HEART DISEASE WHO HAD COVID-19

E.N. Augusta<sup>1</sup>, S.V. Solov'eva<sup>1</sup>, N.Ya. Prokop'ev<sup>2</sup>, N.I. Koshkarova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

<sup>2</sup>Tyumen State University, Tyumen, Russia

**Annotation.** In a state of physiological rest and after controlled physical activity in the form of Nordic walking (NW), we have examined the indicators of heart rate (HR, beats/min), systolic (sBP, mm Hg) and diastolic (dBP, mm of Hg) blood pressure, coefficient of endurance (CE, c.u.) and coefficient of blood circulation efficiency (BCE, c.u.) at 8, 12, 16 and 20 hours on different days of the week. The results of the study of the heart rate's weekly dynamics indicated that it did not exceed the normative values common for each age period before the exercise, i.e. did not go beyond 90 beats/min, which was the basis for systematic studies of NW. After the end of NW sessions, all the examined people had a normotonic type of reaction of the cardiovascular system to physical activity, because the heart rate did not exceed 100% of the initial value, and the sBP did not increase by more than 35 mm of Hg, which is considered as a favorable (normotonic) reaction of central hemodynamics to controlled physical activity.

**Keywords:** Nordic walking, coronary heart disease, central hemodynamics, second adulthood, old age.

**Введение.** По оценке Росстата, на 1 января 2022 года в Российской Федерации проживало 145 478 097 постоянных жителей, из них около 42 млн. – гражданские пенсионеры. По данным прогноза ООН

в 2050 году в России будет проживать около 98 млн. человек, при этом каждый третий из них будет старше 60 лет. Существенный урон численности населения различных стран мира, включая РФ, внесла пандемия

COVID-19. Данные отечественных исследователей свидетельствуют о том, что за последние десятилетия заболеваемость ишемической болезнью сердца (ИБС) увеличилась [1-2].

В этой связи сохранение здоровья лиц зрелого возраста с заболеваниями сердечно-сосудистой системы (ССС) связано с необходимостью применения таких форм организации лечения и профилактики, которые будут учитывать ряд факторов, таких как уровень его здоровья и функционального состояния [3-4]. Все это будет способствовать не только формированию ценностного отношения к здоровому образу жизни и здоровью в целом, но и улучшению качества жизни [5-6].

В последние годы в комплексе профилактики и восстановительного лечения заболеваний, в том числе ССС, широкое распространение получила скандинавская ходьба (СХ) [7-9].

В оценке функциональных систем организма человека, в том числе занимающегося СХ оздоровительной направленности, следует применять физиологически обоснованные и проверенные функциональные нагрузочные пробы [10-11]. СХ необходимо рассматривать как метод активной функциональной терапии, так как регулярная дозированная физическая тренировка активизирует деятельность органов и систем, что обеспечивает функциональную адаптацию человека к физическим нагрузкам [12-13].

Несмотря на масштабные научные разработки, касающиеся центральной гемодинамики при ИБС, не было обнаружено её хронобиологических исследований у женщин периода второго зрелого возраста в доступной нам литературе.

Цель исследования: проследить недельные показатели центральной гемодинамики у больных периода второго зрелого и пожилого возраста после COVID-19, болеющих ИБС, занимающихся скандинавской ходьбой.

**Методы и организация исследования.** В исследовании приняли участие 45 человек, из них 26 представителей периода

второго зрелого возраста ( $46,1 \pm 2,3$  лет) и 19 человек пожилого возраста ( $69,1 \pm 2,7$  лет).

Тренировочные занятия и обучение СХ проводились на свежем воздухе в сквере 3 раза в неделю продолжительностью один час. Обязательным условием каждого занятия считаем проведение инструктажа по методике и технике СХ.

Нами были использованы простые и легкодоступные каждому человеку методы контроля функционального состояния ССС. До занятия СХ, а затем через 5 и 10 минут после физической нагрузки у занимающихся подсчитывалась ЧСС, что принято в научных исследованиях. САД (систолическое артериальное давление) и ДАД (диастолическое артериальное давление) измерялись по стандартной методике Н.С. Короткова. КВ (коэффициент выносливости) определялся по формуле Квааса:

$$КВ = ЧСС \text{ (в мин)} / ПД,$$

где ЧСС – частота сердечных сокращений; ПД – пульсовое давление.

КЭК (коэффициент экономичности кровообращения) высчитывался по формуле:

$$КЭК = (САД - ДАД) \times ЧСС.$$

Анализ материала проводился на персональном компьютере с использованием Microsoft Excel 2016, Statistica 10. Для анализа характера распределения данных был использован метод оценки дисперсии Шапиро-Уилка. Рассчитывались среднее арифметическое ( $M$ ), ошибка средней арифметической ( $m$ ). Оценка достоверности различий осуществлялась при помощи t-критерия Стьюдента. Статистически значимыми считали результаты при  $p < 0,05$ .

Исследования соответствовали этическим стандартам комитетов по биомедицинской этике, разработанной в соответствии с Хельсинской декларацией, принятой Всемирной медицинской ассоциацией (ВМА). Соблюдены принципы добровольности, прав и свобод личности, гарантированных статьями 21 и 22 Конституции РФ.



**Результаты исследования и их обсуждение.** Изучение недельной динамики ЧСС свидетельствовало о том, что до нагрузки она, во-первых, не превышала нормативных значений, свойственных каждому возрастному периоду, т.е. не выходила за пределы 90 уд/мин. Во-вторых, через 5 минут после окончания СХ у всех обследованных людей имел место нормотонический тип реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку. Нами установлено, что у каждого обследуемого ЧСС после СХ не превышала 100% от исходного значения, что расценивается нами как благоприятная (нормотоническая) реакция центральной гемодинамики на дозированную физическую нагрузку. В то же время, с одной стороны, высокая ЧСС может ассоциироваться с прогрессированием ИБС, с другой – с появлением различной степени выраженности симптомами хронической сердечной недостаточности. САД повышалось не более 35 мм рт. ст. по отношению к величине САД до СХ. В-третьих, не выявлено изменений ДАД после физической нагрузки. В-четвертых, период восстановления ЧСС до исходного уровня после нагрузки СХ не превышал 10 минут.

*Динамика КВ (табл. 1, рис. 1)*

В пожилом возрасте у мужчин КВ был снижен на 0,34 усл.ед. через 5 мин после нагрузки и составил  $1,27 \pm 0,08$  усл.ед., что

расценивается как увеличение функциональных возможностей ССС после занятий СХ.

У женщин пожилого возраста КВ увеличился на 0,24 усл.ед. через 5 мин после физической нагрузки к последнему дню занятий. Если сравнивать недельную динамику значений КВ мужчин и женщин различных возрастных периодов онтогенеза, то он отличается незначительно и не имеет достоверных различий ( $p > 0,05$ ).

*Динамика недельных значений КЭК* свидетельствует о напряжении ССС у лиц периода второго зрелого и пожилого возраста (табл. 2, рис. 2). Исследование не установило достоверных ( $p > 0,05$ ) изменений КЭК в течение недели у всех исследуемых.

*Динамическое исследование двойного произведения (ДП)*

ДП у женщин II зрелого возраста увеличивается на 7,82 усл.ед. после нагрузки и составляет  $100,2 \pm 2,65$  усл.ед., но через 10 минут принял значение ДП в состоянии покоя –  $97,01 \pm 3,81$  усл.ед. (табл. 3, рис. 3). Значение ДП у лиц второго зрелого и пожилого возраста оценивается как ниже среднего ( $ДП > 90$  усл.ед.).

Были обнаружены статистически недостоверные изменения ( $p > 0,05$ ) до нагрузки и через 10 минут после нагрузки у лиц второго зрелого и пожилого возраста.

Таблица 1

Динамика коэффициента выносливости у лиц периода второго зрелого и пожилого возраста,  $M \pm m$

Значения	Понедельник	Среда	Пятница	Понедельник
Представители II зрелого возраста, коэффициент выносливости, усл.ед.				
до нагрузки	$1,53 \pm 0,07$	$1,45 \pm 0,07$	$1,64 \pm 0,1$	$1,79 \pm 0,2$
через 5 мин после нагрузки	$1,61 \pm 0,06$	$1,69 \pm 0,99$	$1,79 \pm 0,08$	$1,77 \pm 0,24$
через 10 мин после нагрузки	$1,59 \pm 0,06$	$1,71 \pm 0,09$	$1,69 \pm 0,08$	$1,76 \pm 0,21$
Представители пожилого возраста, коэффициент выносливости, усл.ед.				
до нагрузки	$1,54 \pm 0,06$	$1,56 \pm 0,07$	$1,64 \pm 0,10$	$1,62 \pm 0,12$
через 5 мин после нагрузки	$1,59 \pm 0,04$	$1,68 \pm 0,05$	$1,72 \pm 0,06$	$1,83 \pm 0,11$
через 10 мин после нагрузки	$1,53 \pm 0,04$	$1,65 \pm 0,07$	$1,59 \pm 0,08$	$1,71 \pm 0,08$

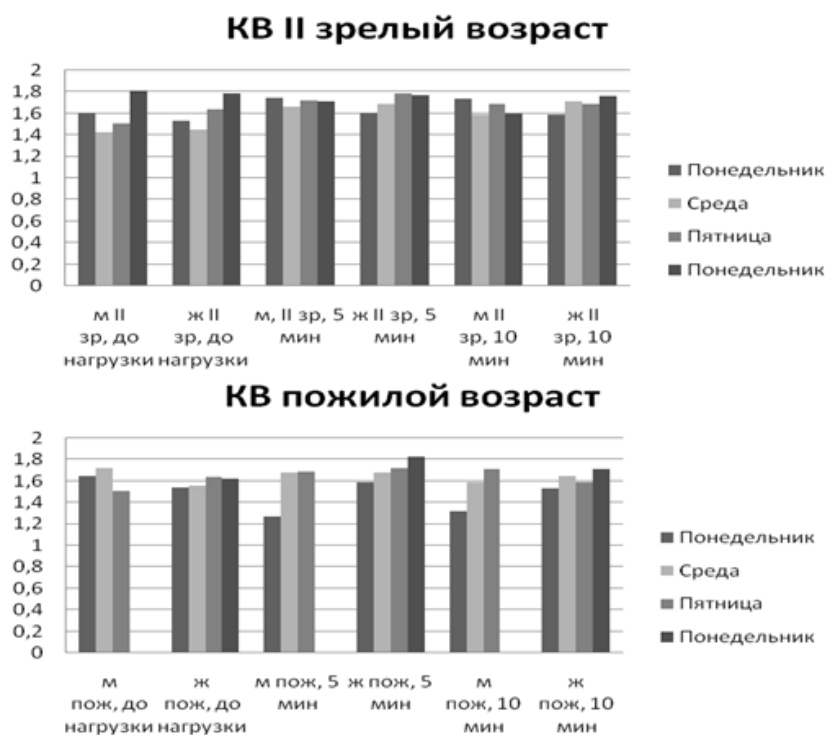


Рис. 1. Динамика коэффициента выносливости у лиц периода второго зрелого и пожилого возраста

Примечание: КВ – коэффициент выносливости; м II зр – мужчины второго зрелого возраста; м пож – мужчины пожилого возраста; ж II зр – женщины второго зрелого возраста; ж пож – женщины пожилого возраста

Таблица 2

Динамика коэффициента экономичности кровообращения у лиц периода второго зрелого и пожилого возраста,  $M \pm m$

Пол	Период исследования	Понедельник	Среда	Пятница	Понедельник
Представители II зрелого возраста, коэффициент экономичности кровообращения, усл.ед.					
м	до нагрузки	3583±199,5	3942±275	4274±769,5	3500±100
ж		3620±189,5	3525±224,6	3642±228,6	3545±407,1
м	через 5 мин после нагрузки	4027±325,2	4081±360,3	4188±305,8	4275±425
ж		3867±168,8	3630±206,6	3707±344	3767,5±339,7
м	через 10 мин после нагрузки	3725±284,6	3816±257,9	3898±176,4	4000±400
ж		3557±142,9	3345,8±217,3	3528,2±282,4	3252,5±288,3
Представители пожилого возраста, коэффициент экономичности кровообращения, усл.ед.					
м	до нагрузки	3510±657,5	3825±312,1	3680±880	–
ж		3538,84±135,7	3636,57±184	3251,05±204,5	3374,55±327,1
м	через 5 мин после нагрузки	4458±314,8	3582±137,7	3748±707,5	–
ж		3895,66±102,54	3759,37±117,8	3735,82±195,1	3634,21±177,5
м	через 10 мин после нагрузки	3920,00±178,1	3478,00±189,8	3430,01±470,0	–
ж		3629,94±108,9	3515,21±115,8	3445,01±173,9	3517,45±224,3

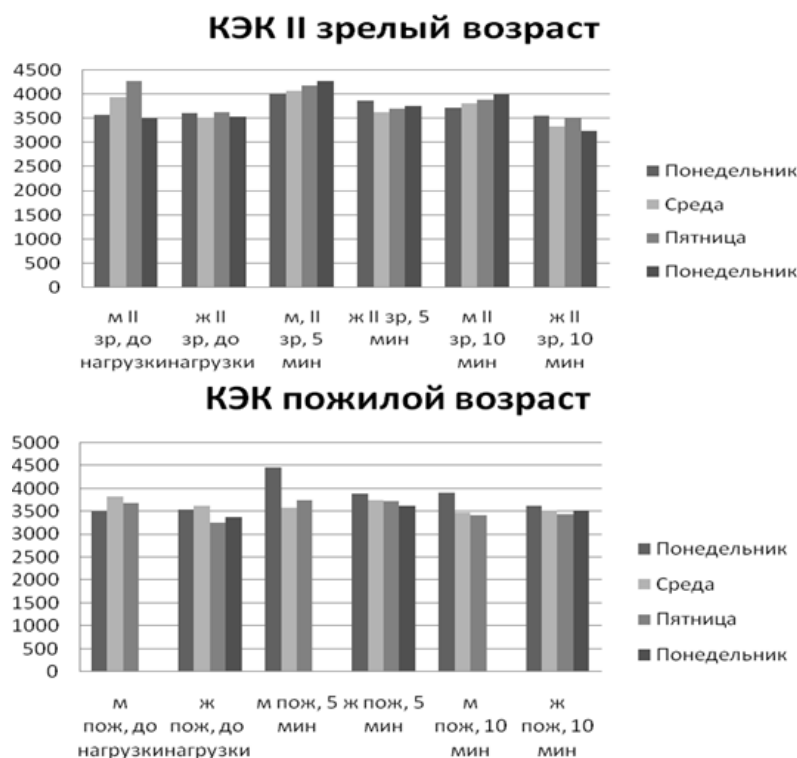


Рис. 2. Динамика коэффициента экономичности кровообращения у лиц периода второго зрелого и пожилого возраста

Примечание: КЭВ – коэффициент экономичности кровообращения; м II зр – мужчины второго зрелого возраста; м пож – мужчины пожилого возраста; ж II зр – женщины второго зрелого возраста; ж пож – женщины пожилого возраста

Таблица 3

Динамика двойного произведения у лиц второго зрелого и пожилого возраста,  $M \pm m$

Пол	Период исследования	Понедельник	Среда	Пятница	Понедельник
Представители II зрелого возраста, двойное произведение, усл.ед.					
м	до нагрузки	94,09±2,93	99,65±5,02	104,9±6,9	106,1±10,9
ж		92,38±2,5*	89,27±3,2*	94,32±4,43*	99,55±5,99*
м	через 5 мин после нагрузки	104,3±4,49	109,6±8,26	109,08±4,68	111,2±11,05
ж		100,2±2,65*	97,45±3,64*	99,66±5,87*	100,2±4,3*
м	через 10 мин после нагрузки	97,01±3,81	102,3±6,15	103,38±3,41	104±10,4
ж		93,4±2,19	91,27±3,42	93,59±4,64	90,75±4,07
Представители пожилого возраста, двойное произведение, усл.ед.					
м	до нагрузки	89,5±12,87	98,25±4,4	95,2±11,2	–
ж		90,16±2,03	92,87±2,87	89,53±3,23	87,49±4,4
м	через 5 мин после нагрузки	108,5±6,71	94,42±3,18	104,08±5,28	–
ж		99,49±1,56	100,5±2,11	100,3±3,38	99,48±2,63
м	через 10 мин после нагрузки	95±6,59	89,5±5,44	98,8±2,6	–
ж		93,03±1,62	95,41±2,15	93,01±3,14	93,69±3,59

Примечание: \*статистически достоверны различия ( $p < 0,05$ ) между значениями двойного произведения до нагрузки и через 5 мин после нагрузки

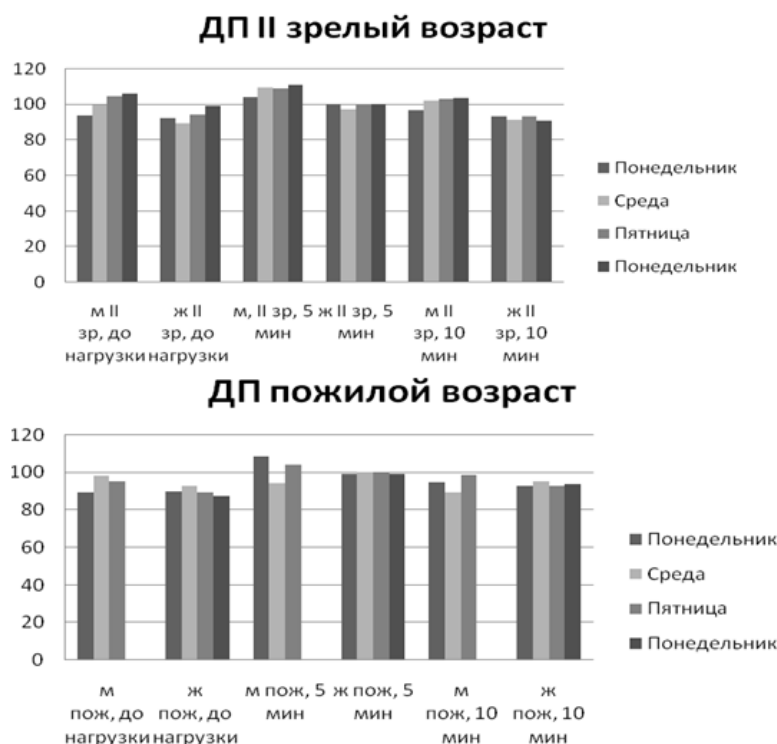


Рис. 3. Динамика двойного произведения у лиц периода второго зрелого и пожилого возраста, усл.ед.

Примечание: ДП – двойное произведение; м II зр – мужчины второго зрелого возраста; м пож – мужчины пожилого возраста; ж II зр – женщины второго зрелого возраста; ж пож – женщины пожилого возраста

Результаты наших исследований подтверждают данные А.П. Красновой с соавт. [14], которые показали, что применение программ реабилитации у лиц пожилого возраста с ассоциированными заболеваниями кардиореспираторной системы позволит уменьшить дозы лекарственных препаратов и уменьшить число обострений заболеваний.

**Заключение.** Установлено напряжение в работе ССС у лиц периода второго зрелого и пожилого возраста. Под влиянием занятий СХ в динамике недели показатели ССС значительно меняются у лиц пожилого возраста.

В исследовании динамики коэффициента выносливости у мужчин пожилого возраста после занятий СХ увеличились

функциональные возможности ССС, у женщин этой возрастной категории такой результат наблюдается к последнему дню занятий.

**Практические рекомендации:**

1. При построении тренировочного процесса с пожилыми людьми необходимо учитывать, что показатели, характеризующие функциональное состояние ССС меняются у них сильнее по сравнению с лицами второго зрелого возраста. Для определения эффективности занятий СХ необходимо регулярно проводить измерение основных показателей, характеризующих функциональное состояние ССС.

2. Ведение дневника самонаблюдения для самостоятельных занятий и врачебного контроля над тренировками.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапунова, И. Д. Частота встречаемости факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний по результатам проспективного наблюдения / И. Д. Сапунова, И. Е. Колтунов,

Г. В. Погосова // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2009. – Т. 8. – № 4 S2. – С. 22.  
2. Мамедов, М. Н. Международные клинические исследования в кардиологии (2010-2016

- годы) / М. Н. Мамедов, С. Г. Канорский // М.: Кардиопрогресс. – 2017. – С. 147.
3. Зволинская, Е. Ю. Частота факторов риска и вероятность развития фатальных сердечно-сосудистых заболеваний у мужчин 42-44 лет / Е. Ю. Зволинская // *CardioСоматика*. – 2017. – Т. 8. – № 1. – С. 29-30.
4. Дуров, А. М. Оценка биологического возраста у мужчин зрелого возраста, проживающих на севере и юге Тюменской области / А. М. Дуров, Н. Я. Прокопьев // *Бюллетень сибирской медицины*. – 2012. – Т. 11. – № 6. – С. 191-194.
5. Нагрузочные пробы в оценке функционального состояния физкультурников и спортсменов / Н. Я. Прокопьев, Е. Т. Колунин, М. Н. Гуртовая, А. П. Комаров // *Вестник Шадринского государственного педагогического института*. – 2014. – № 4 (24). – С. 63-71.
6. Преимущество хронобиологического подхода в оценке уровня функциональных, адаптационных возможностей и биологического возраста человека / А. М. Дуров, Н. Я. Прокопьев, Л. Н. Шатилович, В. И. Назмутдинова // *Теория и практика физической культуры*. – 2016. – № 12. – С. 93-95.
7. Гуртовая, М. Н. Физиологическое понятие «качество жизни» и критерии его оценки / М. Н. Гуртовая, Н. Я. Прокопьев // *Апробация*. – 2013. – № 4(7). – С. 77-82.
8. Влияние скандинавской ходьбы на психологические потребности и качество жизни пожилых женщин / С. И. Логинов, А. Ю. Николаев, М. Н. Мальков, С. М. Обухов // *Теория и практика физической культуры*. – 2019. – № 9. – С. 87-89. EDN: HJRZWJ
9. Голубева, И. А. Скандинавская ходьба как эффективное средство физической активности людей пожилого и старшего возраста / И. А. Голубева, Ю. А. Соколова, Т. С. Гришина // *Олимпизм: истоки, традиции и современность: сборник Всероссийской с международным участием научно-практической конференции / редколлегия: Г. В. Бугаев [и др.]; ФГОУ ВО ВГИФК*. – Воронеж: Научная книга, 2019. – С. 160-164. EDN: IGCJOG
10. Ачкасов, Е. Е. Реабилитация пациентов, перенесших острый коронарный синдром, методом скандинавской ходьбы / Е. Е. Ачкасов, К. А. Володина // *Премия города Москвы в области медицины: сборник тезисов научных работ, представленных на присуждение премии в 2019 году / под редакцией А. И. Хрипуна*. – Москва: Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы. – 2019. – С. 17. EDN: NPBPQL
11. Волков, А. В. Влияние северной ходьбы на здоровье женщин пенсионного возраста / А. В. Волков, В. В. Дейнеко, И. В. Колесников // *Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения: труды IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Санкт-Петербург, 20-22 ноября 2014 г.)*. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». – 2014. – Т. 9. – № 1. – С. 428-430.
12. Никитина, Я. А. Влияние занятий скандинавской ходьбой на состояние здоровья женщин предпенсионного возраста / Я. А. Никитина, С. А. Хазова // *Физическая культура и спорт. Олимпийское образование. Материалы международной научно-практической конференции*. – Краснодар, 12 февраля 2020 года – С. 26-28.
13. Науменко Ю. В. Рекреационные возможности использования скандинавской ходьбы в системе оздоровительных занятий с женщинами / Ю. В. Науменко, А. С. Орлан // *Физическое воспитание и спортивная тренировка*. – 2015. – № 2 (12). – С. 50-52.
14. Краснова, А. П. Использование методов реабилитации в комплексном лечении пациентов старших возрастных групп / А. П. Краснова, М. А. Привалова, О. Н. Зуева // *Тюменский медицинский журнал*. – 2014. – Т. 16. – № 2. – С. 60.

## REFERENCES

1. Sapunova I.D., Koltunov I.E., Pogosova G.V. The frequency of occurrence of risk factors for cardiovascular diseases according to the prospective observation results. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 2009, vol. 8, no. 4, pp. 2-22. (in Russ.)
2. Mamedov M.N., Kanorskij S.G. International clinical trials in cardiology (2010-2016). Moscow: *Cardioprogress*, 2017, pp. 147. (in Russ.)
3. Zvolinskaya, E.Yu. The frequency of risk factors and the likelihood of developing fatal cardiovascular diseases in men aged 42-44 years. *CardioSomatics*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 29-30. (in Russ.)
4. Durov A.M., Prokop'ev N.Ya. Estimation of biological age in middle-age men living in the north

and south of the Tyumen region. *Bulletin of Siberian Medicine*, 2012, vol. 11, no. 6, pp. 191-194. (in Russ.)

5. Prokop'ev N.Ya., Kolunin E.T., Gurtovaya M.N., Komarov A.P. Load tests to assess functional status of athletes and sportsmen. *Journal of Shadrinsk State Pedagogical Institute*, 2014. no. 4 (24), pp. 63-71. (in Russ.)

6. Durov A.M., Prokop'ev N.Ya., Shatilovich L.N., Nazmutdinova V.I. The advantage of the chronobiological approach in assessing the level of functional, adaptive capabilities and biological age of a person. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2016, no. 12. pp. 93-95. (in Russ.)

7. Gurtovaya M.N., Prokop'ev N.Ya. Physiological concept of "quality of life" and criteria for its assessment. *Approbation*, 2013, no. 4(7). pp. 77-82. (in Russ.)

8. Loginov S.I., Nikolaev A.Yu., Malkov M.N., Obukhov S.M. Benefits of Nordic walking practices for senior women's psychological needs and life quality. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2019, no. 9, pp. 87-89. EDN: HJRZWI. (in Russ.)

9. Golubeva I.A., Sokolova Yu.A., Grishina T.S. Nordic walking as an effective means of physical activity of elderly and older people. *Olympism: Origins, Traditions and Modernity: collection of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*. Editorial board: Bugaev G.V. et al. Voronezh State Institute of Physical Culture. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2019. pp. 160-164. EDN: IGCJOG (in Russ.)

10. Achkasov E.E., Volodin K.A. Rehabilitation of patients after acute coronary syndrome using

the Nordic walking method. The Moscow Award in the field of medicine: a collection of abstracts of scientific papers submitted for the award in 2019. Ed. by A.I. Khripun. Moscow: Research Institute of Health Organization and Medical Management of the Moscow Department of Health, 2019, pp. 17. EDN: NBPQQL (in Russ.)

11. Volkov A.V., Deineko V.V., Kolesnikov I.V. Influence of northern walking on the health of women of retirement age. *Health is the Basis of Human Potential: Problems and Ways to Solve Them: Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation (November 20-22, 2014)*. St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2014, vol. 9, no. 1, pp. 428-430. (in Russ.)

12. Nikitina Ya.A., Khazova S.A. Influence of Nordic walking on the state of health of women of pre-retirement age. *Physical Culture and Sport. Olympic Education. Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Krasnodar, February 12, 2020. pp. 26-28. (in Russ.)

13. Naumenko Yu.V., Orlan A.S. The recreational opportunities of using Nordic walking in the health practice with women. *Physical Education and Sports Training*, 2015, no. 2 (12), pp. 50-52. (in Russ.)

14. Krasnova A.P., Privalova M.A., Zueva O.N. Use of rehabilitation methods in the comprehensive treatment of patients of older age groups. *Tyumen Medical Journal*, 2014, vol. 16, no. 2, p. 60. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Елена Николаевна Августа** – кандидат медицинских наук, доцент, ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, Тюмень, e-mail: orex22.07@yandex.ru.

**Светлана Владимировна Соловьева** – доктор медицинских наук, заведующая кафедрой биологии, проректор по молодежной политике и региональному развитию, ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, Тюмень, e-mail: svsolov@mail.ru.

**Николай Яковлевич Прокопьев** – доктор медицинских наук, профессор, Тюменский государственный университет, Тюмень, e-mail: pronik44@mail.ru.

**Наталья Игоревна Кошкарлова** – старший преподаватель, ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, Тюмень, e-mail: Koshkarovani@yandex.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Elena Nikolaevna Avgusta** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: orex22.07@yandex.ru.

**Svetlana Vladimirovna Solov'eva** – Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Biology, Vice-Rector for Youth Policy and Regional Development, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: svsolov@mail.ru.

**Nikolaj Yakovlevich Prokop'ev** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Tyumen State University, Tyumen, e-mail: pronik44@mail.ru.

**Natal'ya Igorevna Koshkarova** – Senior Lecturer of the Department of Biology, Tyumen State Medical University, Tyumen, e-mail: Koshkarovani@yandex.ru.

**Для цитирования:** Скандинавская ходьба как метод реабилитации у больных ишемической болезнью сердца, перенесших COVID-19 / Е. Н. Августа, С. В. Соловьева, Н. Я. Прокопьев, Н. И. Кошкарлова // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_28

**For citation:** Avgusta E.N., Solov'eva S.V., Prokop'ev N.Ya., Koshkarova N.I. Nordic walking as a rehabilitation method for patients with coronary heart disease who had COVID-19. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_28

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_29  
УДК 612.063

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_29  
UDC 612.063

## ТЕХНОЛОГИИ МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ КОСМОНАВТОВ В САНАТОРНО-КУРОРТНЫХ УСЛОВИЯХ

Ю.В. Корягина, С.М. Абуталимова, А.Ш. Абуталимов, С.В. Нопин

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

**Аннотация.** Разработана программа эффективной медицинской реабилитации опорно-двигательного аппарата и нервной системы космонавтов в санаторно-курортных условиях, включающая питье минеральной воды, прием минеральных ванн, грязелечение, гидромассаж, ручной массаж, магнитотерапию, гидрокинезиотерапию, баротерапию, биоуправляемую механотерапию на роботизированных комплексах. Для оценки влияния лечебного курса были проведены денситометрия, исследование variability сердечного ритма, пульсоксиметрия и судомоторной реакции, динамометрия мышц нижних конечностей и автохтонных мышц туловища, стабилотетрия, биохимический и клинический анализы крови и общий анализ мочи. Данные, полученные в результате исследования, показали, что включение в программу реабилитации таких высокотехнологичных методов лечения, как роботизированная механотерапия, позволяет не только корректировать уже имеющиеся нарушения, но и повысить функциональное состояние опорно-двигательного аппарата и нервной системы за счет оптимизации мышечного баланса, увеличения проприоцептивной чувствительности и формирования правильных двигательных стереотипов.

**Ключевые слова:** космонавты, реабилитация, восстановление, санаторно-курортное лечение, механотерапия.

## MEDICAL REHABILITATION TECHNOLOGIES FOR THE MUSCULOSKELETAL AND NERVOUS SYSTEMS OF ASTRONAUTS IN SANATORIUM-RESORT CONDITIONS

Yu.V. Koryagina, S.M. Abutalimova, A.Sh. Abutalimov, S.V. Nopin

FSBI "North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency", Essentuki, Russia

**Annotation.** The authors have developed a program of effective medical rehabilitation of the musculoskeletal and nervous systems of astronauts in sanatorium-resort conditions, including drinking mineral water, taking mineral baths, mud treatment, hydromassage, massage, magnet therapy, hydrokinesiotherapy, barotherapy, biofeedback mechanotherapy on robotic sets. To assess the therapeutic course's effect, we have applied densitometry, heart rate variability, pulse oximetry and sudomotor response measurement, dynamometry of lower limbs' muscles and autochthonous trunk muscles, stabilometry, blood biochemical and clinical test and urine complete test. The received data have revealed that inclusion of such cutting-edge therapeutic methods as the robot-assisted mechanotherapy allows not only to correct the already existing disorders, but also to enhance the functional state of the musculoskeletal and nervous systems by optimizing muscle balance, increasing proprioceptive sensitivity and forming correct motor stereotypes.

**Keywords:** astronauts, rehabilitation, recovery, sanatorium-resort treatment, mechanotherapy.

**Введение.** Воздействие негативных сосудистой, дыхательной, кроветворной, костно-мышечной, нервной систем, возникающие в результате этих воздействий. Под действием негативных факторов изменяется минеральный обмен и метаболизм



в целом [3-5]. При этом на восстановление нарушенных функций затрачивается достаточно длительное время, и реабилитация космонавтов делится на 2 этапа, включающие пребывание в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (3 недели) и следующий за ним санаторно-курортный этап реабилитации (30-40 дней) [6-8]. Учитывая, что для полноценного восстановления нарушенных функций требуется гораздо больше времени в сравнении с регламентированным, существует необходимость разработки максимально эффективной программы реабилитации, включающей как действие природных лечебных факторов (бальнео-, спелео-, пелоидотерапии) и немедикаментозных методов лечения (физиопроцедуры, лечебная физическая культура (ЛФК), массаж), так и самые современные аппаратно-программные технологии (роботизированные системы с биологической обратной связью).

Кроме того, необходимо учитывать, что ранее второй этап реабилитации проводился как в условиях отечественных санаториев, расположенных на территориях Кавказских минеральных вод (КМВ), Краснодарского края, Верхнего Поволжья, предгорья Урала, Камчатки, так и в санаториях и «спа-отелях» зарубежных стран (Испания, Греция, Чехия, Черногория, Италия) [9-12]. В нынешних условиях сложной внешней политической обстановки, актуальность разработки реабилитационной программы, доступной на отечественных курортах, многократно увеличивается.

Цель исследования: разработать программу эффективной медицинской реабилитации опорно-двигательного аппарата и нервной системы космонавтов в санаторно-курортных условиях.

**Методы и организация исследования.** Исследование проводилось научными сотрудниками центра медико-биологических технологий при участии космонавтов на базе санатория им. С.М. Кирова ФФГБУ СКФНКЦ ФМБА России,

расположенного в курортной зоне г. Пятигорска на высоте 630 метров над уровнем моря. Космонавтами было подписано информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

Для исследования состояния опорно-двигательного аппарата (ОДА) и нервно-мышечной системы космонавтов до и после проведения программы медицинской реабилитации применялись функциональные и лабораторные методы. Функциональные методы исследования включали проведение денситометрии (Hologic Inc., США), определение variability сердечного ритма, пульсоксиметрии и судомоторной реакции на аппарате ESTECK System Complex (LD Technology, USA), динамометрии мышц туловища (CON-TREX TP, CENTAUR), нижних конечностей (CON-TREX MJ). Исследование баланса проводилось на многофункциональной платформе для диагностики и тренировки опорно-двигательных навыков и когнитивных нарушений с биологической обратной связью КОБС (Physiomed, Германия).

В качестве лабораторных методов применялись общий анализ крови с определением лейкоцитарной формулы и скорости оседания эритроцитов (СОЭ), общий анализ мочи, биохимическое исследование крови (мочевая кислота, общий белок и его фракции, калий, натрий, кальций, магний, фосфор, железо, аспартатаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза, щелочная фосфатаза, С-реактивный белок, ревмофактор).

**Результаты исследования и их обсуждение.**

*Разработка программы реабилитации и восстановления космонавтов*

Разработанная программа реабилитации и восстановления космонавтов включала как высокотехнологичные методы лечения (роботизированная механотерапия с биологической обратной связью), так и лечение природными факторами (бальнео-, пелоидотерапия).

Программа медицинской реабилитации включала процедуры:

1. Источник Славяновская до 1 ст 3 раза в день за 30 мин до еды;
2. УСВ-ванна 37 °С 15 мин № 8 через день;
3. Грязелечение «общая грязь» 39 °С 15 мин №8 через день;
4. Гидромассаж № 10, ежедневно;
5. Гидрокинезотерапия № 15;
6. Свободное плавание № 15, ежедневно;
7. Ручной массаж вдоль позвоночника №10;
8. Магнитотерапия «Мультмаг», программа «Антистресс» № 10, ежедневно;
9. Баротерапия № 12, ежедневно;
10. CONTREX-TP № 10, ежедневно – активное и пассивное сгибание и разгибание туловища в изокинетическом баллистическом режиме;
11. CONTREX-MJ № 10, ежедневно – активное и пассивное сгибание и разгибание коленных и голеностопных суставов с эксцентрическим и концентрическим сопротивлением в изокинетическом баллистическом режиме тренировки;
12. CENTAUR № 10, тренировка на вращение со стабилизацией туловища в разных плоскостях с заданными углами наклона.

Бальнеотерапия заключалась в применении углекислосероводородных ванн, лечебное воздействие которых направлено на костно-мышечную и нервную систему. Для питьевого приема была выбрана минеральная вода «Славяновская», которая обладает комплексным лечебным эффектом, так как относится и к группе сульфатно-гидрокарбонатных вод (терапевтическое воздействие на органы желудочно-кишечного тракта), и к группе кальциево-натриевых вод (эффективность при заболеваниях опорно-двигательного аппарата и нервной системы). Лечебные эффекты физиотерапевтических процедур также были направлены на восстановление функционального состояния ОДА и нервной системы космонавтов.

Исследование функционального состояния и коррекция нарушенных функций ОДА проводились с помощью роботизированного биомеханического комплекса с биологической обратной связью CON-TREX (модули MJ – мышцы и связки суставов нижних конечностей и TP – мышцы туловища) (Physiomed, Германия) и роботизированной диагностическо-реабилитационной системы CENTAUR (диагностика и тренировка автохтонных мышц туловища) (BFMS, Германия).

Механотерапия на CON-TREX проводилась в режимах:

- «кон-кон» – космонавт самостоятельно выполняет движения сгибания-разгибания;
- «кон-экс» – космонавт постоянно прикладывает силу в направлении разгибания в суставе;
- «экс-кон» – космонавт постоянно прикладывает силу в направлении сгибания в суставе;
- «экс-экс» – режим постоянного сопротивления, при движении аппарата на сгибание или разгибание в суставе космонавт совершает противоположное действие.

Для сеансов механотерапии был выбран синусоидальный профиль, когда скорость увеличивается по синусоиде до ограничивающего значения, а затем снижается до нуля. Из-за плавного увеличения и уменьшения скорости именно этот тип движения максимально приближен к движениям, совершаемым в реальной жизни. Наличие технологии биологической обратной связи позволяет аппарату искусственно регулировать сопротивление, пропорциональное приложенному космонавтом усилию. До и после работы в активном режиме проводилась пассивная мобилизация без активного сокращения мышц – СРМ-терапия (20 повторений).

Оптимизация баланса мышечного корсета позвоночника проводилась путем воздействия статической нагрузки на автохтонную мускулатуру туловища на роботизированном комплексе с биологической обратной связью CENTAUR.

Тренировочная программа была построена в режимах «круговой импульс» и «космическое вращение» с отклонением от вертикальной оси на 45° в заданных ротационных углах (0°; 45°; 90°; 135°; -45°; -90°; -135°; 180°).

*Результаты внедрения программы реабилитации и восстановления космонавтов*

Для оценки функционального состояния вегетативной нервной системы был проанализирован динамический ряд кардиоинтервалов. Исследование variability сердечного ритма (ВСР) показало, что у всех исследуемых космонавтов преобладал нормотонический тип вегетативной регуляции (табл. 1). Анализируя показатели ВСР на протяжении 3-х недель пребывания в санатории, необходимо отметить незначительное повышение значений

стандартного отклонения длительности кардиоинтервалов R-R и ЧСС. Оценивая мощность ВСР в диапазоне высоких (0,15-0,4 Гц) и низких частот (0,04-0,15 Гц), а также и их соотношение, было выявлено, что в первые сутки пребывания в санатории волны высокой частоты преобладали над низкими. Последующее тестирование показало увеличение показателя соотношения волн низкой частоты к высоким, что свидетельствует о повышении активности симпатического отдела вегетативной нервной регуляции. Динамика изменения показателя индекса напряжения имела тенденцию к повышению в конце санаторно-курортного лечения. Анализ суммарной кожно-гальванической реакции позволил выявить незначительное повышение показателей во время второго тестирования.

Таблица 1

Параметры variability сердечного ритма, сатурации и кожногальванической реакции у космонавтов до и после курса процедур

Испытуемые	ЧСС, уд/мин		SDNN, мс		LF/HF		ИН, усл.ед		SpO <sub>2</sub> , %		КГР, усл.ед	
	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после	до	после
Космонавт 1	55	56	54	60	0,8	1,0	51	76	98	96	48	52
Космонавт 2	61	66	65	69	0,9	1,0	45	59	95	95	50	52
Космонавт 3	65	66	65	66	0,9	1,0	74	76	95	95	54	58

Примечание: ЧСС – частота сердечных сокращений; SDNN – стандартное отклонение длительности кардиоинтервалов R-R; LF/HF – отношение низкочастотных волн к высокочастотным; ИН – индекс напряжения; SpO<sub>2</sub> – насыщение крови кислородом; КГР – суммарная кожно-гальваническая реакция

Таким образом, не было выявлено значимых отклонений параметров функционального состояния нервной системы от физиологической нормы, однако прослеживается тенденция повышения показателей ВСР и судомоторной реакции в конце санаторно-курортного лечения, что может являться результатом адаптации центральной и вегетативной нервной системы к изменившимся климатическим и температурным условиям окружающей среды.

При разработке реабилитационной программы были также учтены результаты лабораторных и функциональных

исследований ОДА. Данные лабораторных исследований выявили высокие значения параметров ферментов, содержащихся в клетках миокарда, печени, скелетных мышцах (АСТ, АЛТ), а также костной ткани (щелочная фосфатаза) у космонавта 1 до проведения курса лечебных процедур. После курса процедур все исследуемые показатели пришли в норму (рис. 1). Все остальные показатели биохимического и клинического анализов крови и мочи не выходили за пределы нормативных значений ни до, ни после реабилитационных процедур.

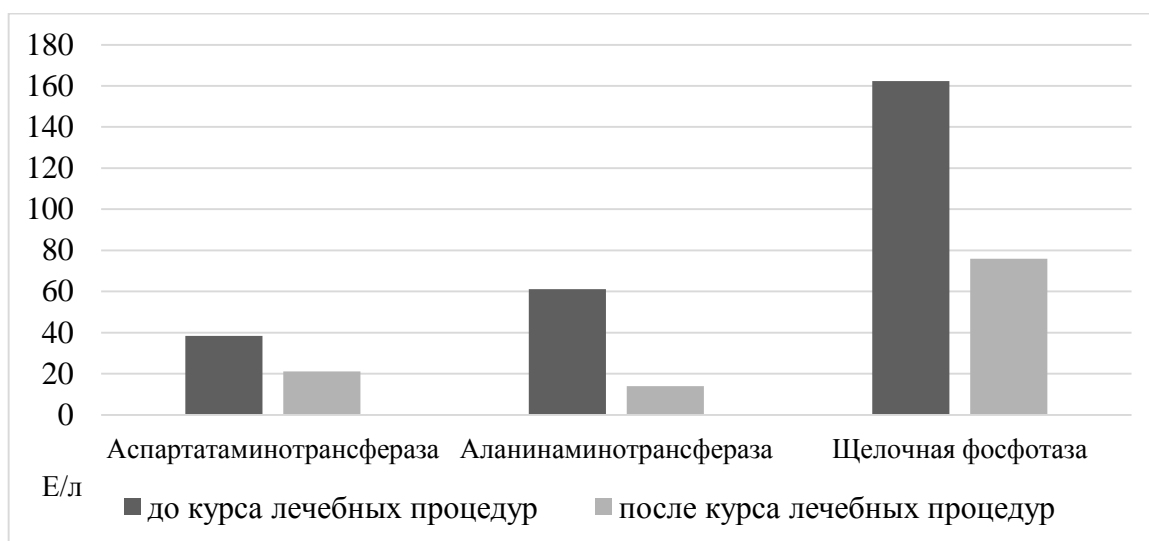


Рис. 1. Параметры аспартатаминотрансферазы, аланинаминотрансферазы и щелочной фосфотазы до и после проведения комплекса реабилитационных процедур

Проведение денситометрии показало, что значения Т-критерия у всех испытуемых были выше -1, что свидетельствует о том, что минеральная плотность структур скелета соответствует возрастной норме, а также об отсутствии у них патологических состояний, сопровождающихся развитием остеопении и остеопороза.

Восстановление функционального состояния ОДА проводилось с помощью роботизированных биомеханических комплексов с биологической обратной

связью. Выявление и коррекция дисбаланса мышц-сгибателей и разгибателей туловища, коленного сустава и стопы осуществлялось на основании проведенного динамометрического исследования на роботизированном комплексе CON-TREX (модуль MJ – коленный и голеностопный сустав, модуль TP – туловище) (рис. 2).

После курса механотерапии нами было выявлено снижение параметров крутящего момента и коэффициента утомления (рис. 3).

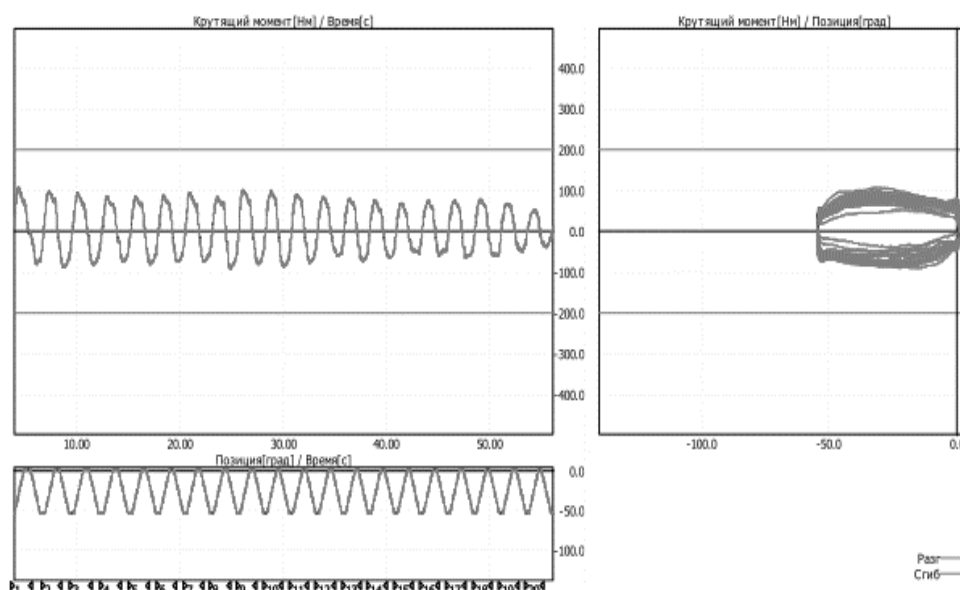


Рис. 2. Параметры крутящего момента мышц-сгибателей и разгибателей коленного сустава до проведения комплекса реабилитационных процедур и механотерапии

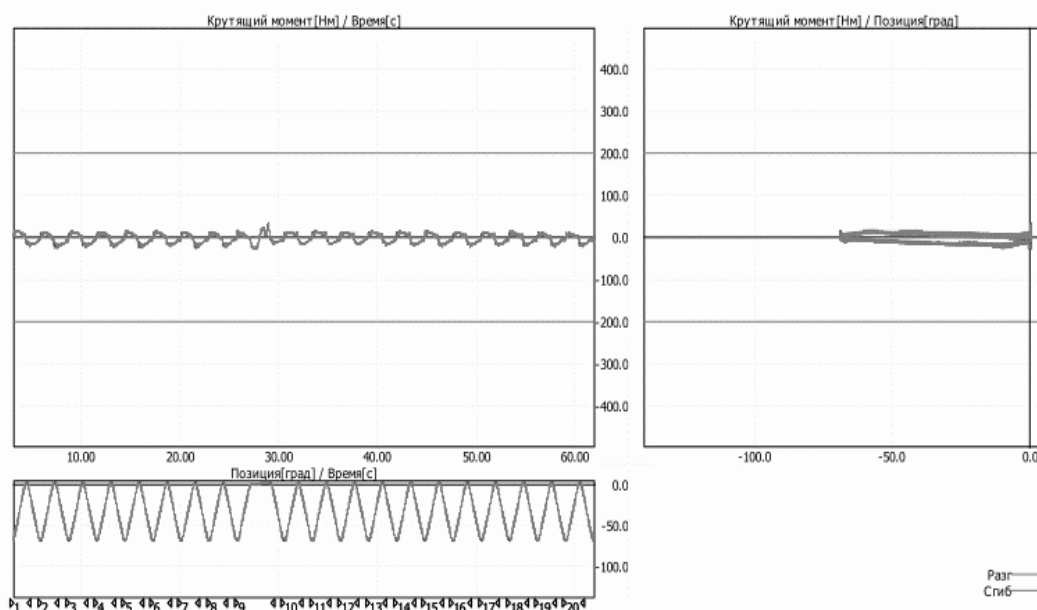


Рис. 3. Параметры крутящего момента мышц-сгибателей и разгибателей коленного сустава после проведения комплекса реабилитационных процедур и механотерапии

Длительность сеанса механотерапии на один сустав составляла 15-20 минут. При этом работа в изокINETическом баллистическом режиме позволяла совершать высокоамплитудные движения с приложением минимального усилия. Сравнение графиков крутящего момента на рисунках 1 и 2 наглядно служит примером того, как для осуществления движения после курса механотерапии происходит значительное снижение прикладываемой космонавтом силы, при этом, как следствие, снижается коэффициент утомления и оптимизируется работа мышечно-связочного аппарата.

Коррекция дисбаланса поверхностных мышц туловища во фронтальной анатомической плоскости проводилась также в изокINETическом баллистическом режиме на роботизированном комплексе CON-TREX TP. Хотя нагрузка при этом и была динамической, проводилась активная компенсация прилагаемого космонавтом усилия, в результате чего осуществлялся контроль за усилением слабых мышечных групп и расслаблением спазмированных

участков мышц. В результате такой нагрузки был сформирован правильный динамический стереотип движений, при этом сознательное управление мышечным напряжением способствует формированию правильных двигательных навыков в повседневной жизни.

Данные диагностического исследования, проведенные на аппаратно-программном комплексе CENTAUR, позволили построить программу тренировки в режиме «круговой импульс» на укрепление глубокой мускулатуры позвоночного столба путем отклонения от вертикальной оси на  $45^\circ$  в заданных ротационных углах ( $0^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $90^\circ$ ;  $135^\circ$ ;  $-45^\circ$ ;  $-90^\circ$ ;  $-135^\circ$ ;  $180^\circ$ ). Кроме того, тренировка включала режим «космического вращения» под углами  $45^\circ$ ;  $90^\circ$ ;  $-45^\circ$ ;  $-90^\circ$  с экспозицией в заданных плоскостях. Повторное динамометрическое исследование показало, что подобная статическая нагрузка способствует оптимизации и стабилизации общей мускулатуры спины, пресса и повышает координацию автохтонных мышц туловища.

Первичное исследование постурального баланса проводилось на многофункциональной платформе КОБС с биологической обратной связью в двух пробах – статической (положение стоя) и динамической (выполнение приседа). Выявленный дисбаланс (2%) между правой и левой половиной тела у космонавтов во время выполнения динамической пробы был полностью скорректирован после курса механотерапии на роботизированных комплексах CON-TREX и CENTAUR и лечебных тренировок на платформе КОБС.

**Заключение.** Таким образом, была разработана программа медицинской

реабилитации функционального состояния ОДА и нервной системы космонавтов в санаторно-курортных условиях, эффективность которой обусловлена, в первую очередь, комплексным подходом к восстановлению. Включение в программу реабилитации таких высокотехнологичных методов лечения, как роботизированная механотерапия, позволяет не только корректировать уже имеющиеся нарушения, но и повышать функциональное состояние ОДА и нервной системы за счет оптимизации мышечного баланса, увеличения проприоцептивной чувствительности и формирования правильных двигательных стереотипов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ретроспективный анализ состояния здоровья космонавтов после участия в космических полетах / Ушаков И. Б., Воронков Ю. И., Бухтияров И. В. [и др.] // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2016. – Т. 50. – № 2. – С. 14-20.
2. Аналитический обзор и систематизация данных перспективных исследований, связанных с изучением функционального состояния кардиореспираторной системы космонавтов / Корягина Ю. В., Ефименко Н. В., Тер-Акопов Г. Н. [и др.] // *Современные вопросы биомедицины*. – 2021. – Т. 5. – № 2 (15). – С. 103-118. DOI: 10.51871/2588-0500\_2021\_05\_02\_8.
3. Space-brain: The negative effects of space exposure on the central nervous system / Jandial R., Hoshide R., Waters J. D. [et al.] // *Surg Neurol Int*. – 2018 Jan 16. – № 9. – Art. № 9. DOI: 10.4103/sni.sni\_250\_17.
4. On-orbit sleep problems of astronauts and countermeasures / Wu B., Wang Y., Wu X. [et al.] // *Military Med Res*. – 2018. – № 5. – Art. № 17. DOI: 10.1186/s40779-018-0165-6.
5. Burkhart, K. Negative Effects of Long-duration Spaceflight on Paraspinal Muscle Morphology / K. Burkhart, B. Allaire, M. Bouxsein // *SPINE*. – June 15, 2019. – Vol. 44 – № 12. – pp. 879-886. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002959.
6. Состояние и развитие послеполетной реабилитации космонавтов / Почуев В. И. Богомолов В. В., Моргун В. В. [и др.] // *Пилотируемые полеты в космос*. – 2013. – Т. 9. – № 4. – С. 73-81.
7. Потапов, М. Г. Применение аппаратной физиотерапии на санаторно-курортном этапе реабилитации космонавтов / М. Г. Потапов, М. А. Скедина, А. А. Ковалёва // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2019. – Т. 53. – № 7. – С. 48-54.
8. Кан М. С. Исследование эффективности тренажеров для реабилитации космонавтов / М. С. Кан, И. В. Хромова // *Наука. Технологии. Инновации*. – 2019. – С. 197-199.
9. Потапов, М. Г. Санаторно-курортный этап реабилитации космонавтов после космических полетов на МКС – современное состояние вопроса / М. Г. Потапов, А. В. Васин, М. А. Скедина // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2018. – Т. 52. – № 9. – С. 4-9.
10. Хавкина, Е. Ю. Санаторно-курортный комплекс Федерального медико-биологического агентства Минздрава России / Е. Ю. Хавкина, Ю. Н. Билюкин // *Курортная медицина*. – 2012. – № 3. – С. 124-128.
11. Crenobalneotherapy in Russia / Persianova-Dubrova A. L., Badalov N. G., Lvova N. V. [et al.] // *La Presse thermale et climatique*. – 2012. – Vol. 149. – pp. 93-102.
12. Функциональные свойства нервно-мышечного аппарата космонавтов и их изменения после семисуточного космического полета на Международной космической станции / Коряк Ю., Гидзенко Ю., Шаттлуфорт М. [и др.] // *Успехи современного естествознания*. – 2007. – № 12. – С. 349-150.

## REFERENCES

1. Ushakov I.B., Voronkov Yu.I., Buhtiyarov I.V., Tikhonova G.I., Gorchakova T.Yu. Retrospective health assessment of cosmonauts after participation in space flights. *Aerospace and Environmental Medicine*, 2016, vol 50, no. 2, pp. 14-20. (in Russ.)
2. Koryagina Yu.V., Efimenko N.V., Ter-Akopov G.N., Nopin S.V., Abutalimova S.M. Analytical review and systematization of data from prospective studies related to the examination of the functional state of the cardiorespiratory system of astronauts. *Modern Issues of Biomedicine*, 2021, vol. 5, no. 2 (15), pp. 103-118. DOI: 10.51871/2588-0500\_2021\_05\_02\_8.
3. Jandial R., Hoshide R., Waters J.D., Limoli J.L. Space-brain: The negative effects of space exposure on the central nervous system. *Surg Neurol Int*, Jan 16, 2018, no. 9, art. no. 9. DOI: 10.4103/sni\_sni\_250\_17.
4. Wu B., Wang Y., Wu X., Liu D., Xu D., Wang F. On-orbit sleep problems of astronauts and countermeasures. *Military Med Res*, 2018. no. 5, art. no. 17. DOI: 10.1186/s40779-018-0165-6.
5. Burkhart K., Allaire B., Bouxsein M. Negative Effects of Long-duration Spaceflight on Paraspinal Muscle Morphology. *SPINE*, June 15, 2019, vol. 44, no. 12, pp. 879-886. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002959.
6. Pochuev V.I. Bogomolov V.V., Morgun V.V., Kaspranskij R.R., Savin S.N. The State and Progress of Post-Flight Rehabilitation of Cosmonauts (Organizational and Program-Methodical Aspects). *Manned Spaceflight*, 2013, vol. 9, no. 4, pp. 73-81. (in Russ.)
7. Potapov M.G., Skedina M.A., Kovalyova A.A. Application of hardware-based physiotherapy on the sanatorium-and-spa stage of cosmonauts' rehabilitation. *Aerospace and Environmental Medicine*, 2019, vol. 53, no. 7, pp. 48-54. (in Russ.)
8. Kan M.S., Khromova I.V. Investigation of the simulators' effectiveness for the rehabilitation of astronauts. *Nauka. Tekhnologii. Innovatsii*, 2019, pp. 197-199. (in Russ.)
9. Potapov M.G., Vasin A.V., Skedina M.A. Sanatorium-resort stage of rehabilitation of astronauts after space flights to the ISS – state of the issue. *Aerospace and Environmental Medicine*, 2018, vol. 52, no. 9, pp. 4-9.
10. Khavkina E.Yu., Bilyukin Yu.N. The spa sanatorium complex of FMBA of Russia. *Resort Medicine*, 2012, no. 3, pp. 124-128. (in Russ.)
11. Persianova-Dubrova A.L., Badalov N.G., Lvova N.V., Tupitsyna I.Yu., Uianaeva A.I., Krikorova S.A., Adilov V.B., Linok V.A., Povazhnaya E.L. Crenobalneotherapy in Russia. *La Presse thermale et climatique*, 2012, vol. 149, pp. 93-102.
12. Koryak Yu., Gidzenko Yu., Shattlufort M., Zaltin S., Lonchakov Yu. Shargin Yu. Functional properties of the neuromuscular system of astronauts and their changes after a seven-day space flight on the International Space Station. *Advances in current natural sciences* 2007, no. 12, pp. 149-150. (in Russ.)

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Юлия Владиславовна Корягина** – доктор биологических наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: nauka@skfmba.ru.

**Сабина Маликовна Абуталимова** – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник центра медико-биологических технологий, ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: sabina190989@yandex.ru.

**Али Шамильевич Абуталимов** – травматолог-ортопед, ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: abutalimov05@mail.ru.

**Сергей Викторович Нопин** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: work800@yandex.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Yulia Vladislavovna Koryagina** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Center of Biomedical Technologies, FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, e-mail: nauka@skfmba.ru.

**Sabina Malikovna Abutalimova** – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher of the Center of Biomedical Technologies, FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: sabina190989@yandex.ru.

**Ali Shamil'evich Abutalimov** – Orthopedic Traumatologist, FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of the FMBA of Russia”, Essentuki, e-mail: abutalimov05@mail.ru.

**Sergej Victorovich Nopin** – Candidate of Technical Sciences, Lead Researcher of the Center of Biomedical Technologies, FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, e-mail: work800@yandex.ru.

**Для цитирования:** Технологии медицинской реабилитации опорно-двигательного аппарата и нервной системы космонавтов в санаторно-курортных условиях / Ю. В. Корягина, С. М. Абуталимова, А. Ш. Абуталимов, С. В. Нопин // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_29

**For citation:** Koryagina Yu.V., Abutalimova S.M., Abutalimov A.Sh., Nopin S.V. Medical rehabilitation technologies for the musculoskeletal and nervous systems of astronauts in sanatorium-resort conditions. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_29



Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_30  
УДК [612.173+616.127]; 796.015

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_30  
UDC [612.173+616.127]; 796.015

## **ВЛИЯНИЕ СИЛОВЫХ ТРЕНИРОВОК НА УРОВЕНЬ ЛАКТАТА КРОВИ У МУЖЧИН С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ**

**В.В. Сверчков, Е.В. Быков**

Уральский государственный университет физической культуры, г. Челябинск, Россия

**Аннотация.** При метаболических заболеваниях лактат натощак повышен и может быть предиктором развития метаболического синдрома и сахарного диабета 2 типа. Образцы плазмы крови были проанализированы на содержание лактата натощак у мужчин с метаболическим синдромом и без него. Также у всех участников была оценена относительная мышечная сила верхних конечностей. После этого субъекты с метаболическим синдромом прошли 12-ти недельный курс силовых тренировок различной интенсивности. Были оценены данные о концентрации лактата плазмы натощак до и после курса силовых тренировок. Субъекты с метаболическим синдромом имели более высокий уровень лактата натощак ( $p=0,0001$ ). В группе с высокой относительной мышечной силой концентрация лактата натощак статистически значимо ( $p=0,012$ ) была ниже, чем в группе с низкой относительной мышечной силой. 12 недель силовых тренировок статистически значимо снизили концентрацию лактата натощак в группе высокоинтенсивных силовых упражнений ( $p=0,006$ ) и низкоинтенсивных силовых упражнений с ограничением кровотока ( $p=0,007$ ) у мужчин с метаболическим синдромом. Уровень лактата в плазме натощак был повышен у мужчин с метаболическим синдромом по сравнению со здоровыми мужчинами. Мышечная сила может быть защитным фактором против повышения концентрации лактата натощак. Концентрация лактата натощак была снижена за счет регулярного выполнения силовых тренировок.

**Ключевые слова:** лактат, метаболический синдром, силовая тренировка, тренировка с ограничением кровотока, митохондриальная дисфункция, мышечная сила.

## **INFLUENCE OF RESISTANCE TRAINING ON BLOOD LACTATE LEVEL IN MEN WITH METABOLIC SYNDROME**

**V.V. Sverchkov, E.V. Bykov**

Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia

**Annotation.** In metabolic diseases, fasting lactate is elevated and may be a predictor of the development of metabolic syndrome and type 2 diabetes mellitus. Plasma samples were analyzed for fasting lactate in men with and without metabolic syndrome. The relative muscle strength of the upper extremities was also assessed for all participants. Thereafter, subjects with metabolic syndrome completed a 12-week course of resistance training at varying intensities. Fasting plasma lactate concentration data were evaluated before and after a course of strength training. Subjects with metabolic syndrome had higher fasting lactate levels ( $p=0.0001$ ). In the group with high relative muscle strength, fasting lactate concentration was statistically significantly ( $p=0.012$ ) lower than in the group with low relative muscle strength. 12 weeks of resistance training significantly reduced fasting lactate concentrations in the high-intensity resistance exercise group ( $p=0.006$ ) and low-intensity resistance exercise with blood flow restriction ( $p=0.007$ ) in men with metabolic syndrome. Fasting plasma lactate levels were elevated in men with metabolic syndrome compared with healthy men. Muscle strength may be a protective factor against elevated fasting lactate levels. Fasting lactate concentration was reduced by regular resistance exercise.

**Keywords:** lactate, metabolic syndrome, resistance training, blood flow restriction training, mitochondrial dysfunction, muscle strength.

**Введение.** Использование глюкозы плазмы в качестве источника энергии включает ее транспортировку в клетки, где она метаболизируется в пируват в цитозоле перед поступлением в митохондрии для полного окисления в цикле трикарбоновых кислот. Пировиноградная кислота, не попавшая в митохондрии, превращается в лактат, который является продуктом незавершенного метаболизма глюкозы. В состоянии покоя концентрация лактата в плазме увеличивается, когда поток через гликолиз превышает скорость митохондриального окисления. Следовательно, увеличение лактата может быть индикатором нарушения метаболизма глюкозы. Действительно, уровень лактата натошак выше у людей с метаболическим синдромом (МС) [1], диабетом 2 типа [2] и гипертонией [3], чем у здоровых людей, а также лактат был связан с 10-летним риском сердечно-сосудистых заболеваний [4]. Увеличение лактата также может влиять на метаболизм глюкозы, нарушая передачу сигналов инсулина мышцами и опосредованное инсулином поглощение глюкозы мышцами [5]. Производство лактата увеличивается либо за счет увеличения расхода энергии, либо за счет уменьшения количества энергии, вырабатываемой при аэробном окислении. К тому же, лактирование скелетных мышц было повышено у тучных женщин по сравнению с худыми женщинами и ассоциировалось с резистентностью к инсулину [6]. Таким образом, повышенный уровень лактата может указывать на повышенную зависимость от гликолиза и использоваться в качестве нового биомаркера в клинических условиях для прогнозирования риска метаболических заболеваний.

В работающих мышцах лактат часто считается побочным продуктом метаболизма недостаточного снабжения кислородом. Однако теперь известно, что лактат вырабатывается даже в аэробных условиях [7]. В литературе по физическим

упражнениям производство, утилизация и клиренс лактата выше у хорошо тренированных велосипедистов, чем у здоровых лиц, ведущих малоподвижный образ жизни [8]. В другом исследовании элитных спортсменов сравнивали с людьми с МС [9]. Примечательно, что в состоянии покоя концентрация лактата в крови у лиц с МС приближалась к таковой у тренированных велосипедистов, тренирующихся с нагрузкой 300 Вт. Недавно было установлено, что 6-месячная программа аэробных тренировок умеренной интенсивности приводила к снижению концентрации лактата в плазме у лиц с МС [10]. Также известно, что такие вмешательства, как шунтирование желудка и аэробные упражнения умеренной интенсивности, которые улучшают метаболическое здоровье, снижают уровень лактата в плазме натошак [10].

Известно, что мышечная сила обратно пропорциональна тяжести МС [11]. Однако на данный момент отсутствует информация о связи между уровнем лактата плазмы натошак и мышечной силой, а также о влиянии упражнений с отягощениями на концентрацию лактата в плазме натошак у лиц с МС.

**Методы и организация исследования.** В исследовании, проводившемся на базе научно-исследовательского института Олимпийского спорта при Уральском государственном университете физической культуры, приняли участие 52 здоровых мужчины и 60 мужчин, имеющих МС. У всех участников была проведена оценка силы мышц верхних конечностей в упражнении «Жим штанги лежа». Были проанализированы факторы риска МС: уровень глюкозы, триглицеридов (ТГ), липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) в плазме, обхват талии (ОТ), систолического артериального давления (САД), z-показателя тяжести МС (tМС), а также концентрация лактата в плазме натошак. Характеристика участников представлена в табл. 1.

Таблица 1

Морфофункциональные и биохимические показатели участников,  $M \pm \sigma$

Переменные	Здоровый контроль (n=52)	Метаболический синдром (n=60)	P
Возраст, лет	32,85±7,24	33,45±6,71	0,787
Длина тела, см	177,05±6,32	178,81±6,79	0,406
Масса тела, кг	74,35±5,06	91,31±6,93	<b>0,0001</b>
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	23,76±1,81	28,62±2,52	<b>0,0001</b>
Обхват талии, см	85,51±5,79	98,35±4,46	<b>0,0001</b>
САД, мм рт. ст.	119,15±5,56	131,21±4,46	<b>0,0001</b>
ТГ, мг/дл	87,45±15,47	127,15±24,04	<b>0,0001</b>
Глюкоза, мг/дл	91,61±5,51	98,71±3,96	<b>0,0001</b>
ЛПВП, мг/дл	55,75±5,59	43,75±6,51	<b>0,0001</b>
z-показатель тМС	-0,57±0,39	0,33±0,31	<b>0,0001</b>
Лактат, ммоль/л	0,85±0,15	1,43±0,14	<b>0,0001</b>
Отн. сила, кг/кг	76,09±11,23	67,21±10,26	<b>0,012</b>

Примечание: ИМТ – индекс массы тела; САД – систолическое артериальное давление; ТГ – триглицериды; ЛПВП – липопротеины высокой плотности; тМС – тяжесть метаболического синдрома; жирным шрифтом выделены статистически значимые различия

*Оценка метаболического синдрома*

МС диагностировался в соответствии с комбинированным определением Международной диабетической федерации, Американской кардиологической ассоциации и Национального института сердца, легких и крови [12].

Для определения МС у обследуемых мужчин было необходимо наличие центрального ожирения (обхват талии от 94 см и выше) плюс два из ниже перечисленных критерия:

- 1) уровень триглицеридов крови от 150 мг/дл и выше или текущий прием препаратов, снижающих уровень триглицеридов;
- 2) содержание холестерина липопротеинов высокой плотности менее 40 мг/дл;
- 3) систолическое артериальное давление (САД) от 130 мм рт. ст. и выше, или диастолическое артериальное давление (ДАД) от 85 мм рт. ст. и выше, или текущий прием антигипертензивных препаратов;
- 4) уровень глюкозы плазмы крови более 100 мг/дл, или текущий прием сахароснижающих препаратов, или ранее диагностированный сахарный диабет 2 типа (СД2).

*Оценка факторов риска метаболического синдрома*

ОТ измерялся с помощью неэластичной ленты между самой верхней боковой границей правой подвздошной кости и самой верхней границей левой подвздошной кости с точностью до 0,1 см.

Образцы венозной крови натощак были взяты у участников после 12-14 ч ночного голодания. Оценивались уровни глюкозы, ТГ, ЛПВП, лактата. Оценка уровня лактата в плазме натощак проводилась также после 16-недельной программы тренировок с отягощениями у мужчин с МС.

Измерение артериального давления выполнялось в сидячем положении после 5 мин отдыха, на правой руке с использованием автоматического тонометра Omron M2 Eсо (Япония).

Расчет z-показателя тяжести МС проводился согласно методологии M.D. DeBoer, M.J. Gurka [13]. Более высокий z-показатель тяжести МС указывает на менее благоприятный метаболический профиль.

*Оценка мышечной силы*

В этом исследовании оценивался повторный максимум (1ПМ) в упражнении «Жим штанги лежа» (ЖШЛ). Тестирование проводилось по следующей схеме. Участники выполняли разминочный подход, после чего добавлялся вес отягощения (5 кг каждый шаг) до тех пор, пока испытуемые смогли выполнить 7-10 повторов до концентрического волевого отказа (7-10ПМ), после чего рассчитывался повторный максимум (1ПМ) по предложенной формуле В. Epley [14]. Затем рассчитывали относительную силу для упражнения ЖШЛ (1ПМ (кг)/вес тела (кг) × 100) для каждого участника.

*Протокол упражнений с отягощениями*

Участники с диагностированным МС были случайным образом разделены на три группы: первая группа выполняла низкоинтенсивные упражнения с отягощениями в сочетании с ограничением кровотока (НИОК;  $n=20$ ); вторая группа – высокоинтенсивные упражнения с отягощениями без ограничения кровотока (ВИ;  $n=20$ ); третья группа – низкоинтенсивные упражнения с отягощениями без ограничения кровотока (НИ;  $n=20$ ). В общей сложности испытуемые выполнили 24 тренировки (2 раза в неделю) на протяжении 12 недель.

Более подробно протокол силовых упражнений представлен в нашей публикации [15].

*Статистическая обработка результатов*

Для изучения влияния мышечной силы на уровень лактата в плазме натощак испытуемые были разделены на группу с высокой относительной мышечной силой 50% верхних результатов и группу с низкой относительной мышечной силой 50% нижних результатов на основе медианы 70,42 кг. Межгрупповые различия в среднем значении каждого элемента измерения были проанализированы с использованием независимого t-критерия Стьюдента (при  $\alpha=0,05$  и  $\alpha=0,01$ ). Затем мужчины с МС прошли курс силовых тренировок в течение 12 недель 2 раза в неделю. Внутригрупповые и межгрупповые различия до и после вмешательства производились с применением зависимого и независимого t-критерия Стьюдента (при  $\alpha=0,05$  и  $\alpha=0,01$ ).

**Результаты исследования и их обсуждение.** Среди 112 мужчин, принявших участие в данном исследовании, у 60 участников был обнаружен МС, а 52 участника были здоровы. Сравнение показателей обмена веществ и относительной силы мышц верхних конечностей у мужчин с МС и без него представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние относительной мышечной силы на критерии метаболического синдрома и уровень лактата в плазме,  $M \pm \sigma$

Переменные	Высокая мышечная сила ( $n=56$ )	Низкая мышечная сила ( $n=56$ )	P
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	24,84±2,31	27,53±3,59	<b>0,007</b>
Обхват талии, см	88,45±7,12	95,41±8,01	<b>0,006</b>
САД, мм рт. ст.	122,55±7,92	127,81±6,53	<b>0,027</b>
ТГ, мг/дл	92,25±19,78	122,35±27,91	<b>0,0003</b>
Глюкоза, мг/дл	93,41±6,27	97,05±4,98	<b>0,048</b>
ЛПВП, мг/дл	53,25±6,96	46,25±8,67	<b>0,007</b>
z-показатель тМС	-0,39±0,49	0,15±0,52	<b>0,0001</b>
Лактат, ммоль/л	0,99±0,31	1,29±0,29	<b>0,003</b>
Отн.сила, кг/кг	81,08±6,46	62,22±6,65	<b>0,0001</b>

Примечание: ИМТ – индекс массы тела; САД – систолическое артериальное давление; ТГ – триглицериды; ЛПВП – липопротеины высокой плотности; тМС – тяжесть метаболического синдрома; жирным шрифтом выделены статистически значимые различия

После разделения участников на группы с высокой и низкой относительной мышечной силой мы обнаружили статистически значимо более низкие показатели ИМТ ( $p=0,007$ ), ОТ ( $p=0,006$ ), САД ( $p=0,027$ ), ТГ ( $p=0,0003$ ), глюкозы ( $p=0,048$ ), z-показателя тМС ( $p=0,0001$ ), лактата ( $p=0,003$ ) и статистически значимо более высокие показатели ЛПВП ( $p=0,007$ ) в группе с высокой относительной мышечной силой (табл. 2).

В данном исследовании также изучалось влияние различных силовых протоколов на уровень лактата в плазме натошак. Было установлено, что 12 недель силовых тренировок в группах ВИ ( $p=0,006$ ) и НИОК ( $p=0,007$ ) приводили к статистически значимому снижению уровня лактата в плазме натошак, без статистически значимых изменений между этими группами ( $p=0,758$ ) (рис.). В группе НИ не наблюдалось статистически значимых изменений после исследования ( $p=0,463$ ).

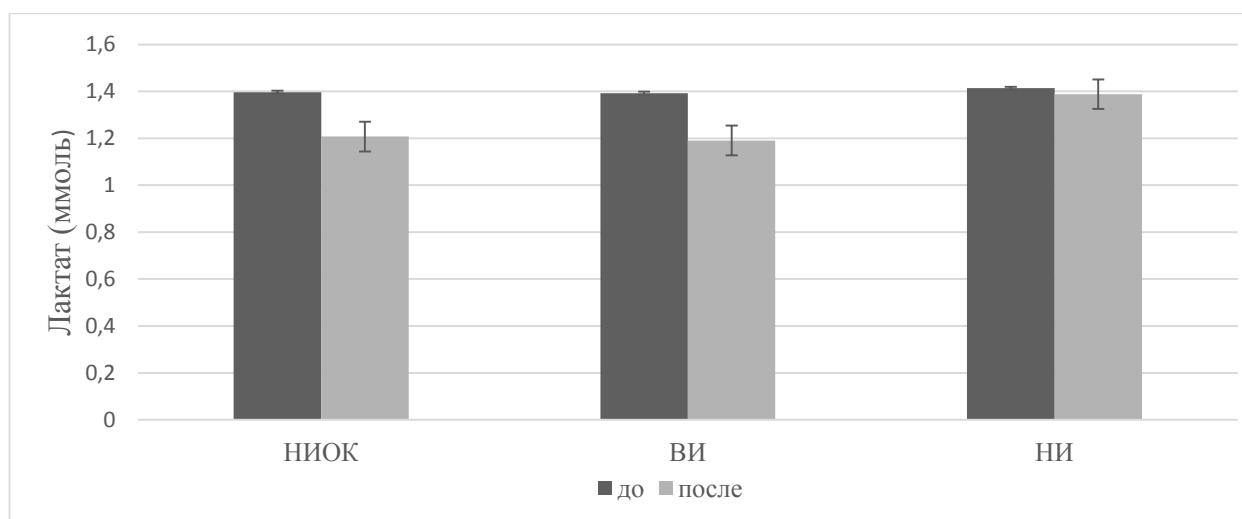


Рис. Лактат плазмы натошак у мужчин с метаболическим синдромом до и после 12 недель силовых нагрузок различной интенсивности

Примечание: НИОК – группа, выполнявшая низкоинтенсивные упражнения с отягощениями в сочетании с ограничением кровотока; ВИ – группа, выполнявшая высокоинтенсивные упражнения с отягощениями без ограничения кровотока; НИ – группа, выполнявшая низкоинтенсивные упражнения с отягощениями без ограничения кровотока

Лактат натошак повышается при метаболических заболеваниях, таких как диабет, гипертония, дислипидемия и т.д. [1-3]. Наше исследование, судя по информации в доступной литературе, впервые продемонстрировало, что относительная мышечная сила может являться защитным фактором против повышения лактата плазмы натошак. Также в этом исследовании нами было установлено, что 12-ти недельная программа тренировок с отягощениями способствует снижению концентрации лактата плазмы натошак у мужчин с МС.

Производство лактата является отражением разрыва между энергетическими

потребностями ткани и способностью производить энергию за счет аэробного митохондриального окисления. В скелетных мышцах здоровых людей в условиях покоя окисление энергетических субстратов обеспечивает большую часть необходимой энергии, а производство лактата за счет анаэробного гликолиза минимально. Производство лактата увеличивается либо за счет увеличения расхода энергии, то есть при выполнении физических упражнений, либо за счет снижения производства аэробной энергии. Повышенная продукция лактата в мышцах лиц с МС позволяет сделать вывод, что окислительное фосфорилирование

снижено у лиц с нарушением обмена веществ [16].

Хорошо известно, что внутриклеточный метаболизм углеводов и липидов зависит от митохондриальной функции [17]. Дефекты в использовании митохондриального субстрата и нарушение потока в цикле трикарбоновых кислот приводят к снижению аэробного окисления. Снижение аэробного окисления приводит к компенсаторному увеличению гликолиза и сдвигу метаболизма в сторону продуктов гликолиза, таких как лактат. Нарушения цикла трикарбоновых кислот на уровне мышечной клетки могут быть ключевым фактором, определяющим распределение субстрата и метаболическое здоровье. В целом, эти изменения в метаболизме субстрата на клеточном уровне способствуют метаболической негибкости и прогрессированию метаболических заболеваний [1].

Хотя изменения в митохондриальной функции обычно происходят после аэробных тренировок, есть доказательства того, что силовые тренировки также вызывают изменения в митохондриальной биоэнергетике. Так, в недавнем исследовании показано, что тренировка с отягощениями приводила к повышению дыхательной способности митохондрий, при этом мышечная сила положительно коррелировала с дыхательной способностью митохондрий [18]. В другом исследовании 12-ти недельная программа силовых тренировок приводила к количественным и качественным изменениям митохондриального дыхания скелетных мышц, а также к увеличению транскриптов, ответственных за

белки, необходимых для переноса электронов и производства никотинамидадениндинуклеотида [19]. Также в этом отношении силовые тренировки с ограничением кровотока улучшали митохондриальную дыхательную функцию и синтез митохондриального белка [20]. Низкое напряжение кислорода, которое возникает во время окклюзии или механического стресса при выполнении силовых упражнений может привести к выработке активных форм кислорода – важных сигнальных молекул, которые могут участвовать в митохондриальном биогенезе [21]. У лиц с застойной сердечной недостаточностью силовые тренировки с ограничением кровотока, проводимые 3 раза в неделю в течение 6 недель, улучшали связанную с комплексом I функцию митохондрий мышц по сравнению с контрольной группой, не получавшей лечение [22]. Также известно, что сиртуины, которые активируются при силовой тренировке, а также при повторяющихся циклах ишемии-реперфузии, которые происходят во время тренировок с ограничением кровотока, могут влиять на биогенез и функцию митохондрий [23-24].

**Заключение.** Уровень лактата в крови натощак может дать ценную информацию об общем «метаболическом» здоровье. Лактат связан с изменением силовых способностей, соответственно, измерение лактата может быть полезно при назначении профилактических мероприятий до появления метаболических заболеваний. Регулярное выполнение упражнений с отягощениями способно снизить уровень лактата крови у мужчин с МС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Plasma Lactate as a Marker for Metabolic Health / Broskey N., Zou K., Dohm G. [et al] // *Exerc Sport Sci Rev.* – Jul 2020. – № 48(3). – pp. 119-124. DOI: 10.1249/JES.0000000000000220.
2. Lactate and risk of incident diabetes in a case-cohort of the atherosclerosis risk in communities (ARIC) study / Juraschek S., Shantha G., Chu A. [et al] // *PLoS One.* – 2013. – № 8(1). – pp. 55-67. DOI: 10.1371/journal.pone.0055113.
3. Plasma lactate and incident hypertension in the atherosclerosis risk in communities study / Juraschek S., Bower J., Selvin E. [et al] // *Am J Hypertens.* – Feb 2015. – № 28(2). – pp. 216-224. DOI: 10.1093/ajh/hpu117.
4. Ahlgrim C. Clarifying the Link Between the Blood Lactate Concentration and Cardiovascular Risk / C. Ahlgrim, M. Baumstark, K. Roecker // *Int J Sports Med.* – Dec 2022. – № 43(13). – pp. 1106-1112. DOI: 10.1055/a-1812-5840.

5. Lactate induces insulin resistance in skeletal muscle by suppressing glycolysis and impairing insulin signaling / Choi C., Kim Y., Lee F. [et al] // *Am J Physiol Endocrinol Metab.* – 2002 Aug. – № 283(2). – pp. 233-240. DOI: 10.1152/ajpendo.00557.2001.
6. Lactate-induced lactylation in skeletal muscle is associated with insulin resistance in humans / Maschari D., Saxena G., Law T. [et al] // *Front Physiol.* – Aug 30, 2022. – № 13. – pp. 95-107. DOI: 10.3389/fphys.2022.951390.
7. Brooks, G. A. The Science and Translation of Lactate Shuttle Theory / G. Brooks // *Cell Metab.* – Apr 3, 2018. – № 27(4). – pp. 757-785. DOI: 10.1016/j.cmet.2018.03.008.
8. Lactate kinetics at the lactate threshold in trained and untrained men / Messonnier L., Emhoff C., Fattor J. [et al] // *J Appl Physiol* (1985). – Jun, 2013. – № 114(11). – pp. 1593-602. DOI: 10.1152/jap-physiol.00043.2013.
9. San-Millán, I. Assessment of Metabolic Flexibility by Means of Measuring Blood Lactate, Fat, and Carbohydrate Oxidation Responses to Exercise in Professional Endurance Athletes and Less-Fit Individuals / I. San-Millán, G. Brooks // *Sports Med.* – Feb 2018. – № 48(2). – pp. 467-479. DOI: 10.1007/s40279-017-0751-x.
10. Plasma lactate as a marker of metabolic health: Implications of elevated lactate for impairment of aerobic metabolism in the metabolic syndrome / Jones T., Pories W., Houmard J. [et al] // *Surgery.* – Nov 2019. – № 166(5). – pp. 861-866. DOI: 10.1016/j.surg.2019.04.017.
11. Свечков, В. В. Мышечная сила и тяжесть метаболического синдрома / В. В. Свечков, Е. В. Быков // Олимпийский спорт и спорт для всех. Материалы XXVI Международного научного Конгресса. Под общей редакцией Р.Т. Бурганова, 2021. – С. 409-411. [In English] Sverchkov V.V., Bykov E.V. Muscle strength and severity of metabolic syndrome. Olympic sport and Sport to All. Materials of the XXVI International Scientific Congress. Under the editorship of R.T. Burganov, 2021. pp. 409-411.
12. Harmonizing the Metabolic Syndrome: A Joint Interim Statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity / Alberti K., Eckel R., Grundy S. [et al] // *Circulation.* – 2009. – Vol. 120. – № 16. – pp. 1640-1645. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644
13. DeBoer, M. Clinical Utility of Metabolic Syndrome Severity Scores: Considerations for Practitioners / M. DeBoer, M. Gurka // *Diabetes Metab. Syndr. Obes.* – 2017. – № 10. – pp. 65-72. DOI: 10.2147/DMSO.S101624.
14. The Accuracy of Prediction Equations for Estimating 1-RM Performance in the Bench Press, Squat, and Deadlift / LeSuer D., McCormick J., Mayhew J. [et al] // *Journal of Strength and Conditioning Research.* – 1997. – № 11(4). – pp. 211-213.
15. Свечков В. В. Влияние низкоинтенсивных силовых тренировок с ограничением кровотока на динамику силовых способностей у лиц с метаболическим синдромом / В. В. Свечков, Е. В. Быков // Проблемы подготовки научных и научно-педагогических кадров: опыт и перспективы: сборник научных трудов молодых ученых, посвященный 50-летию УралГУФК. – Челябинск, 2022. – С. 177-184. [In English] Sverchkov V.V., Bykov E.V. Effect of low-intensity resistance training with blood flow restriction on dynamics of strength capabilities in people with metabolic syndrome. Issues of training scientific and academic personnel: experience and prospects: collection of scientific works of young scientists, dedicated to the 50<sup>th</sup> anniversary of the Ural State University of Physical Culture. Chelyabinsk, 2022. pp. 177-184.
16. San-Millán I. Assessment of Metabolic Flexibility by Means of Measuring Blood Lactate, Fat, and Carbohydrate Oxidation Responses to Exercise in Professional Endurance Athletes and Less-Fit Individuals / I. San-Millán, G. Brooks // *Sports Med.* – Feb 2018. – № 48(2). – pp. 467-479. DOI: 10.1007/s40279-017-0751-x.
17. Type 2 Diabetes Related Mitochondrial Defects in Peripheral Mononucleated Blood Cells from Overweight Postmenopausal Women / Calabria E., Muollo V., Cavedon V. [et al] // *Biomedicines.* – Jan 3 2023. – № 11(1). – P. 121. DOI: 10.3390/biomedicines11010121.
18. Muscle strength after resistance training correlates to mediators of muscle mass and mitochondrial respiration in middle-aged adults / McKenna C., Salvador A., Keeble A. [et al] // *J Appl Physiol* (1985). – Sep 1 2022. – № 133(3). – pp. 572-584. DOI: 10.1152/jap-physiol.00186.2022.
19. Resistance Exercise Training Alters Mitochondrial Function in Human Skeletal Muscle / Porter C., Reidy P., Bhattarai N. [et al] // *Med Sci Sports Exerc.* – Sep 2015. – № 47(9).

- pp. 1922-1931. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000605.
20. Skeletal Muscle Mitochondrial Protein Synthesis and Respiration Increase With Low-Load Blood Flow Restricted as Well as High-Load Resistance Training / Groennebaek T., Jespersen N., Jakobsgaard J. [et al] // *Front Physiol.* – 2018 Dec 17. – № 9. – pp. 1796-1808. DOI: 10.3389/fphys.2018.01796.
21. Resistance training to improve type 2 diabetes: working toward a prescription for the future / Pesta D., Goncalves R., Madiraju A. [et al] // *Nutr Metab (Lond).* – Mar 2 2017. – № 14. – pp. 24-37. DOI: 10.1186/s12986-017-0173-7.
22. Effect of Blood Flow Restricted Resistance Exercise and Remote Ischemic Conditioning on Functional Capacity and Myocellular Adaptations in Patients With Heart Failure / Groennebaek T., Sjeljacks P., Nielsen R. [et al] // *Circ Heart Fail.* – 2019 Dec. – № 12(12). – pp. 642-658. DOI: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.119.006427.
23. Vargas-Ortiz K. Exercise and Sirtuins: A Way to Mitochondrial Health in Skeletal Muscle / K. Vargas-Ortiz, V. Pérez-Vázquez, M. Macías-Cervantes // *Int J Mol Sci.* – Jun 3, 2019. – № 20(11). – pp. 2717-2729. DOI: 10.3390/ijms2012717.
24. Morris K. Pathways for ischemic cytoprotection: role of sirtuins in caloric restriction, resveratrol, and ischemic preconditioning / Morris K., Lin H., Thompson J. [et al] // *J Cereb Blood Flow Metab.* – 2011 Apr. – № 31(4). – pp. 1003-1019. DOI: 10.1038/jcbfm.2010.229.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Вадим Владимирович Сверчков** – младший научный сотрудник НИИ олимпийского спорта, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: Vadim.sverchkov@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3650-0624>.

**Евгений Витальевич Быков** – доктор медицинских наук, профессор, проректор по НИР, директор НИИ олимпийского спорта, зав. кафедрой спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Vadim Vladimirovich Sverchkov** – Junior Researcher of the Scientific Research Institute of Olympic Sports, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: Vadim.sverchkov@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3650-0624>

**Evgenij Vital'evich Bykov** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research Projects, Director of the Scientific Research Institute of Olympic Sports, Head of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

**Для цитирования:** Сверчков В. В. Влияние силовых тренировок на уровень лактата крови у мужчин с метаболическим синдромом / В. В. Сверчков, Е. В. Быков // *Современные вопросы биомедицины.* – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_30

**For citation:** Sverchkov V.V., Bykov E.V. Influence of resistance training on blood lactate level in men with metabolic syndrome. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_30



## СПОРТИВНАЯ МЕДИЦИНА

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_31  
УДК 616-008.64; 796.071; 546.46

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_31  
UDC 616-008.64; 796.071; 546.46

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ДЕФИЦИТА МАГНИЯ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ В ПРЕДСОРЕВНОВАТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД

И.С. Корольчук<sup>1</sup>, Л.Н. Порубайко<sup>1</sup>, А.А. Резун<sup>1</sup>, А.В. Доронцев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кубанский государственный медицинский университет, г. Краснодар, Россия

<sup>2</sup>Астраханский государственный медицинский университет, г. Астрахань, Россия

**Аннотация.** Для достижения высоких спортивных результатов, особенно в период подготовки к соревнованиям, важное значение имеет выявление дефицита магния у спортсменов. Проведенное исследование позволило выявить наличие дефицита магния ниже среднего показателя у 69,8% спортсменов, проявляющегося спектром клинических синдромов. Определены достоверные корреляционные связи дефицита магния с различными факторами, его провоцирующими: нерациональным питанием спортсменов, злоупотреблением тепловыми процедурами для резкого снижения веса и наличием хронической патологии желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Не подтверждена связь дефицита магния с употреблением биологически активных или спортивных добавок, содержащих магний. Сделаны выводы о необходимости корректировать магниевый дефицит исключительно лекарственными препаратами по назначению профильного специалиста. Цель и задачи исследования: выявить факторы риска проявления клинических синдромов у высококвалифицированных спортсменов на фоне дефицита магния; определить эффективность применения биологически активных добавок, содержащих магний, для восполнения его дефицита в организме. Материалом для работы послужили данные анкетирования, клиничко-лабораторные исследования, протоколы соревнований и спортивная квалификация. Исследования проводились на кафедрах физической культуры Астраханского государственного медицинского университета и Кубанского государственного медицинского университета в 2021/22 учебном году. Проводился анализ клиничко-лабораторных исследований, результатов анкетирования, уровня спортивной подготовки. В работе использованы стандартные методы анализа динамического ряда и метод корреляционного анализа. Выявлена достоверная зависимость дефицита  $Mg^{2+}$  с наличием патологии ЖКТ, выявленный уровень магния в организме спортсменов высокой квалификации не имел выраженной взаимосвязи со спортивной специализацией. Исходя из результатов исследования, по нашему мнению, можно считать целесообразным корректировать уровень  $Mg^{2+}$  в организме с применением лекарственных препаратов. Согласно полученным данным наличие  $Mg^{2+}$  в организме спортсменов не имеет достоверной корреляции с спортивной специализацией. Также было выявлено, что БАДы, содержащие магний, не имели существенного влияния на его концентрацию в организме спортсменов.

**Ключевые слова:** высококвалифицированные спортсмены, дефицит магния, факторы риска.

### FEATURES OF MAGNESIUM DEFICIENCY IN ELITE ATHLETES BEFORE THE COMPETITION PERIOD

I.S. Korol'chuk<sup>1</sup>, L.N. Porubajko<sup>1</sup>, A.A. Rezun<sup>1</sup>, A.V. Dorontsev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

<sup>2</sup>Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia

**Annotation.** To achieve high sports results, especially in the period of preparation for competitions, it is important to identify magnesium deficiency in athletes. The study made it possible to reveal the presence of magnesium deficiency below the average in 69.8% of athletes, manifested

by a spectrum of clinical syndromes. Significant correlations of magnesium deficiency with various factors provoking it were identified: irrational nutrition of athletes, abuse of thermal procedures to maintain weight and the presence of chronic pathology of the gastrointestinal tract. The association of magnesium deficiency with the use of biologically active or sports supplements containing magnesium has not been confirmed. Conclusions are drawn about the need to correct magnesium deficiency exclusively with drugs as prescribed by a specialist. Purpose and objectives of the study: to identify risk factors for the manifestation of clinical syndromes in elite athletes against the background of magnesium deficiency; to determine the effectiveness of dietary supplements with magnesium to compensate for its deficiency in the body. The material for the work was the questionnaire data, clinical and laboratory studies, competition protocols and sports qualifications. The research was carried out at the Departments of Physical Culture of the Astrakhan State Medical University and the Kuban State Medical University in the 2021/22 academic year. The analysis of clinical and laboratory studies, the results of the survey, the level of sports qualifications was carried out. The work uses standard methods for analyzing the dynamic series and the method of correlation analysis. A significant relationship between  $Mg^{2+}$  deficiency and the presence of gastrointestinal pathology was revealed, the detected magnesium level in the body of elite athletes did not have a pronounced relationship with sports specialization. Based on the results of the study, in our opinion, it can be considered appropriate to adjust the level of  $Mg^{2+}$  in the body with the use of drugs. According to the data obtained, the presence of  $Mg^{2+}$  in the body of athletes does not have a significant correlation with sports specialization. It was also found that dietary supplements with magnesium did not have a significant effect on its concentration in the body of athletes.

**Keywords:** elite athletes, magnesium deficiency, risk factors.

**Введение.** Современный уровень развития спорта характеризуется неуклонным ростом объемов и интенсивности тренировочных физических нагрузок (ФН), при этом соревновательные ФН характеризуются стрессовым характером. Крайне важное значение в достижении оптимальных спортивных результатов имеет регулярность тренировок и «адекватный» рацион питания. Важным компонентом рационального питания спортсмена, позволяющим выполнять значительные мышечные нагрузки, являются макро и микронутриенты. Клинические исследования последних лет подтверждают фундаментальную важность обеспеченности организма спортсмена, прежде всего магнием ( $Mg^{2+}$ ), для осуществления эффективного тренировочного процесса с целью достижения высоких спортивных результатов [1].

Следует признать значимость проблемы дефицита магния (ДМ), т.к. на современном этапе доказана низкая нутритивная обеспеченность  $Mg^{2+}$  всего взрослого населения РФ, что составляет около 75% [2]. Если к

этому факту дополнительно учитывать спортивные нагрузки, то спортсменов высокой квалификации можно отнести к группе повышенного риска по ДМ [2]. Главными причинами ДМ являются не только нерациональное питание, особенно разнообразные диеты с низким содержанием зелени, свежих фруктов и овощей, орехов и семян, частое употребление алкоголя, жирных и соленых продуктов, но и частое или длительное применение некоторых препаратов, например диуретиков и гормонов, а также синдром мальабсорбции, связанный с заболеваниями желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и, конечно, интенсивная умственная и физическая нагрузка, хронический стресс [3-4]. Что касается количественной оценки, то концентрация  $Mg^{2+}$  имеет клинические ограничения, т.к. в организме отмечаются постоянные колебания  $Mg^{2+}$  в сыворотке крови, и определить достоверный его уровень, особенно в диапазоне минимально допустимых значений, не представляется возможным [5-6]. Для этих целей применяется исследование концентрации  $Mg^{2+}$  в слюне или в волосах,

но эти тесты широко не доступны [7]. В то же время доказано, что даже латентный ДМ может вызывать клинические симптомы тревоги, нарушения сна, эмоциональной нестабильности, ментальных нарушений и дисфункции ЖКТ, хроническую усталость, влиять на функцию сердечно-сосудистой системы [8-10]. В этой связи в клинической практике часто используют валидные анкеты для комплексной диагностики ДМ, например международный опросник MDQ (Magnesium Deficiency Questionnaire) [11-12]. Учитывая вышеизложенное, следует признать, что выявление и профилактика ДМ у спортсменов крайне актуальны. Понимая сложность взаимосвязей между магниевым статусом и различными факторами риска, влияющими на обеспеченность организма этим микроэлементом, мы провели исследование для уточнения некоторых аспектов данного вопроса.

**Методы и организация исследования.** Проведен анализ результатов анонимного анкетирования по специально созданной электронной Google-форме, состоящей из 2 блоков. Блок 1 – характеристика вида спорта, спортивной квалификации, периода тренировочного процесса, объема физической нагрузки. Блок 2: А – особенности питания и пищевых предпочтений, Б – наличие хронических заболеваний и патологических состояний, способствующих развитию дефицита магния, составленного на основе международного опросника MDQ: шкала из 23 вопросов. Интерпретация – ДМ отсутствует при сумме до 9 баллов.

Критерии исключения: наличие хронической стрессовой ситуации (6 месяцев и более), постковидного синдрома до 6 месяцев, беременность, факт употребления алкоголя и курения, использование специальных редуцированных диет.

Полученные результаты обработаны с применением пакета программ Microsoft Excel, 2019. Для каждой из переменных величин определяли среднее (М) и стандартное отклонение ( $\sigma$ ). Достоверность различий (t) между средними величинами находили

по критерию Стьюдента. Результаты считались статистически достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ . Нормальность распределения выборки определялась по критерию Колмогорова-Смирнова. При оценке корреляций между исследуемыми качественными показателями использовался критерий хи-квадрат Пирсона ( $\chi^2$ ) и коэффициент корреляции (r), а между количественными показателями – коэффициент корреляции Спирмена ( $\rho$ ).

**Результаты исследования и их обсуждение.** Всего оценено 73 Google-формы спортсменов, студентов в Кубанском государственном университете физической культуры, спорта и туризма, Кубанском государственном медицинском университете и Астраханском государственном медицинском университете, средний возраст –  $22 \pm 2,8$  года, из них 39 мужчин (53,4 %) и 34 женщины (46,6%). Общая группа подразделена на группу №1 – пловцы ( $n=43$ ; 58,9%) и группу №2 – спортсмены других спортивных специализаций ( $n=30$ ; 41,1%): спортивная гимнастика – 7 чел., легкая атлетика – 5 чел., вольная борьба – 5 чел., гребля – 7 чел., полиатлон – 6 чел.). Из них: кандидаты в мастера спорта – 39,2% спортсменов, мастеров спорта – 43,8% и 17% с 1-м разрядом соответственно. Все спортсмены исследовались в период тренировочного цикла перед соревнованиями. Большая часть спортсменов (66%) имели значительный объем тренировок: 29 чел. (39,7%) – до 20 часов/неделю, 17 чел. (23,3%) – до 30 часов/неделю, 2 чел. (2,7%) – более 30 часов/неделю. Только 25 чел. (34,0%) имели умеренный объем нагрузок – до 10-12 часов/неделю. По результатам анкетирования на фоне ДМ было выявлено наличие у спортсменов мышечных спазмов, нарушение сна, нестабильное артериальное давление при интенсивных физических нагрузках, нарушение деятельности ЖКТ.

В ходе работы было выявлено следующее: спазм кистей рук или стоп, мышечные спазмы конечностей, особенно в ночное время – в 31,5% случаев; онемение

(похолодание) только пальцев кистей/стоп или полностью периферических отделов конечностей – в 38,4% случаев; затруднение дыхания при волнении или в душном помещении – в 30,2% случаев; приступообразные частые головные боли, односторонние или по типу «мигрени» – в 29,7% случаев. Каждый пятый спортсмен предъявлял жалобы на склонность при волнении к покраснению/побледнению лица в 20,5% случаев; нарушения сна: трудность засыпания/частые пробуждения/«ощущение не выспавшегося» – в 20,5% случаев; нарушение концентрации внимания – в 20,5% случаев соответственно. Каждый 6-й указывал на наличие изменения окраски кожи кистей/стоп, тахикардии, экстрасистолии при волнении, в душном помещении (в 15,1% случаев), на эмоциональность и раздражительность (в 16,4% случаев).

Каждый 7-й – на склонность к нарушению деятельности ЖКТ – 13,7%. В 8% случаев были указания на обмороки в душном помещении или при длительном вертикальном положении, что указывает на срыв адаптационных механизмов сердечно-сосудистой регуляции. Также снижение либидо отмечали 8,2% молодых спортсменов. Каждый четвертый спортсмен жаловался на снижение работоспособности и быструю утомляемость (26,0% случаев) и каждый третий – на повышенную потливость при волнении (31,5% случаев). Итак, наличие вегетативных симптомов по шкале «СВД» (синдром вегетативной дистонии) с баллами более 15 выявлено у трети спортсменов в общей группе исследуемых (n=25; 34,2%). Частота основных соматовегетативных проявлений, сопряженных с ДМ у спортсменов, представлена на рисунке.

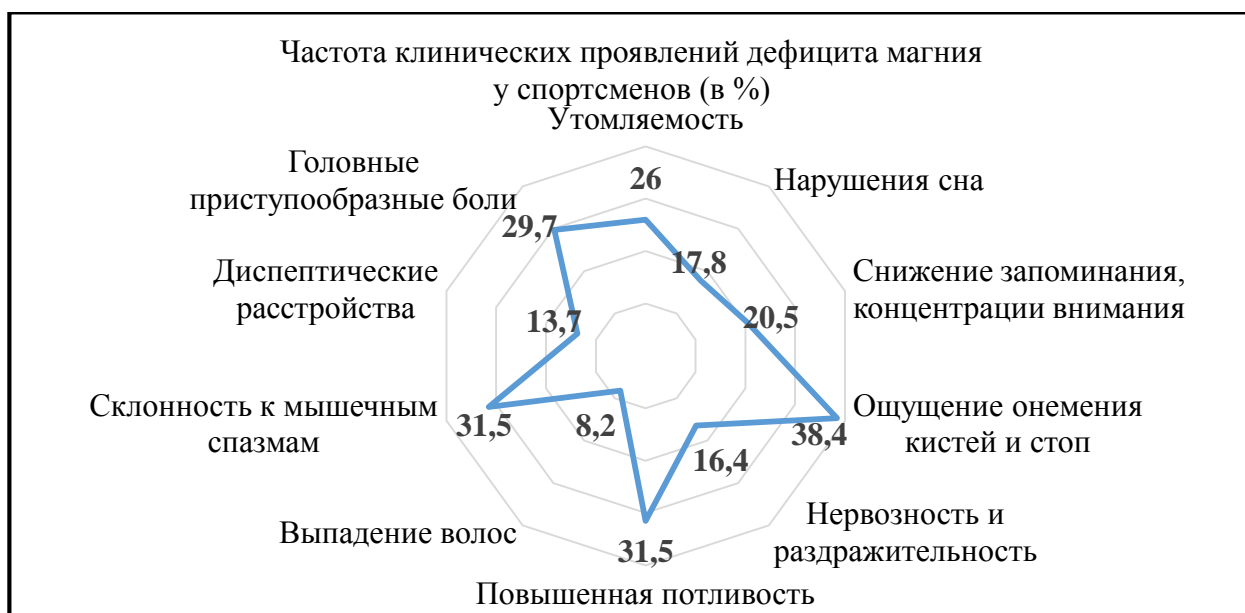


Рис. Результаты анкетирования спортсменов

В спорте ДМ является вторичным по механизму формирования и напрямую связан с высокой физической нагрузкой. Соответственно, повышенная потребность в этом элементе у спортсменов в сочетании с внешними факторами (употребление определенных препаратов, применение диет или несоблюдение принципов рационального питания спортсмена, частое использование методик контроля веса,

психоэмоциональное напряжение) имеют особое значение для возникновения дисфункции магниевого статуса.

Нами выяснено, что постоянно использует контрацептивы каждая вторая женщина-спортсменка (n=18; 52,9%), однако достоверных корреляционных связей между имеющимися у них проявлениями ДМ и приемом контрацептивов не выявлено ( $\chi^2=2,059$ ;  $p=0,152$ ). Наш анализ

показал, что каждый третий спортсмен (28,8%) в данном периоде тренировок очень часто (практически после каждой тренировки или через одну) использует тепловые процедуры, и в результате была определена статически значимая средней силы связь между явлениями ДМ у них и частотой пребывания в сауне ( $\chi^2=11,805$ ;  $p<0,001$ ; коэф. сопряженности Пирсона  $C=0,373$ ).

Стоит отметить, что почти половина спортсменов ( $n=31$ ; 42,5%), указывала на факт наличия случаев повреждений или хронической патологии суставов, позвоночника или связок и, соответственно, фиксации этих диагнозов в медицинских документах. Безусловно, повышенные физические нагрузки предъявляют особые требования одновременно и к функциональному состоянию костно-мышечной системы, и к минеральной плотности кости, что тесно сопряжено с магниевой конституцией спортсмена и при отсутствии внимания к вопросу восполнения магния может привести к явлениям хронического дефицита. В данном исследовании связь между имеющейся патологией опорно-двигательного аппарата и ДМ у спортсменов явилась статистически незначимой ( $\chi^2=1,461$ ;  $p=0,227$ ). Среди всех исследуемых спортсменов частота болезней почек фиксировались всего в 4,1% случаев, чем можно пренебречь, а на патологию ЖКТ указывало 12,3% респондентов (каждый восьмой). Нами выявлена статистически значимая связь средней степени между факторным признаком «наличие ЖКТ патологии» и ДМ ( $\chi^2=4,133$ ;  $p=0,043$ ; коэффициент сопряженности Пирсона  $C=0,231$ ).

Анализ блока 2 – «Пищевые предпочтения» – показал следующие тенденции: например, по употреблению продуктов, способствующих выведению  $Mg^{2+}$  выявлено, что злоупотребляют кока-колой и другими сладкими или кофеинсодержащими напитками 27,8% спортсменов, а 76,7% предпочитают еду формата быстрого питания или из полуфабрикатов: ежедневно употребляют продукты с

повышенным содержанием жира, замедляющие всасывание магния. Частота потребления продуктов-донаторов  $Mg^{2+}$  была следующей: 78,1% спортсменов достаточно часто, практически ежедневно вводили в свой рацион каши из круп, и только треть из них (39,8%) 1 раз в 3 дня старались употреблять разнообразные продукты с максимальным содержанием  $Mg^{2+}$  (орехи и семечки, ламинарию, ягоды, сухофрукты), а бобовые, пшеничные или овсяные хлопья (отруби) – всего 13,7% опрошенных. Таким образом, выявленный ДМ у данной группы спортсменов обусловлен, по-нашему мнению, алиментарной недостаточностью и нерациональным питанием ( $\chi^2=3,688$ ;  $p=0,055$ ; коэффициент сопряженности Пирсона  $C=0,310$  – связь средней степени).

Представляет интерес то, что биологически активные добавки, обогащенные  $Mg^{2+}$ , принимал регулярно (постоянно или повторяющимися частыми курсами) почти каждый второй спортсмен (45,2%), а спортивные добавки – каждый третий (27,4%). Тем не менее, в целом ДМ выявлен по анкете MPQ у 51 спортсмена (69,8%). Установлена статистически незначимая связь ( $\chi^2=0,334$ ;  $p=0,564$ ; коэффициент сопряженности Пирсона  $C=0,068$ ) между приемом добавок и отсутствием дефицита магния. Этот факт еще раз указывает на имеющиеся доказательства низкой эффективности пищевых добавок у спортсменов, где  $Mg^{2+}$  находится в минимальных количествах.

#### **Заключение:**

1. У 69,8% спортсменов в предсоревновательный период выявлен дефицит магния.
2. Средний уровень балла по шкале MPQ составил  $25,7\pm 6,7$  против нормативных 9,0 баллов, что можно трактовать как умеренный уровень дефицита магния.
3. Доказана связь дефицита магния у спортсменов с нерациональным питанием, наличием хронических заболеваний ЖКТ, а также с фактом ускоренного снижения веса.
4. Для снижения риска развития патологических изменений жизненно важных

систем организма необходимо выявлять и корректировать магниевый дефицит у спортсменов. Донаторами магния должны стать не спортивные и биологические

добавки, а лекарственные препараты магния, стратегия применения которых для профилактики и лечения дефицита магния имеет научную доказательную базу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О роли магния в спортивной медицине / Громова О. А., Егорова Е. Ю., Торшин И. Ю. [и др.] // РМЖ. – 2016. – № 1. – С. 1-11.
2. Магний в клинике внутренних болезней / Рашид М. А., Карпова Н. Ю., Погонченкова И. В. [и др.] // РМЖ. – 2015. – № 28. – С.1705-1709.
3. Троегубова, Н. А. Метаболизм магния и цинка у спортсменов / Н. А. Троегубова, Н. В. Рылова, Р. Р. Гильмутдинов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 14. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14249> (дата обращения: 12.03.2023).
4. Magnesium Deficiency Questionnaire: A New Non-Invasive Magnesium Deficiency Screening Tool Developed Using Real-World Data from Four Observational Studies / Orlova S., Dikke G., Pickering G. [et al] // *Nutrients*. – 2020. – № 7. – Art. № 2062.
5. Мазуренко Е. А. Особенности питания спортсменов при повышенных физических нагрузках / Е. А. Мазуренко, Г. И. Касьянов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – № 4 (70). – С. 121-126.
6. Karpov, V. Yu, Physiological response of the physical capabilities of adolescents with sensorineural hearing loss to regular adaptive handball / V. Yu. Karpov, S. Y. Zavalishina, A. V. Dorontsev / *Biomedical and Pharmacology Journal*. – 2021. – Vol. 14 (1). – pp. 99-103.
7. Бугаева К. Д. Нарушения опорно-двигательного аппарата у спортсменов различной специализации / К. Д. Бугаева // Международный научный журнал «Символ науки». – 2015. – № 11. – С.16-20.
8. Доронцев, А. В. Исследование методики выполнения темповых тяжелоатлетических упражнений при занятии кроссфитом / А. В. Доронцев, С. Ю. Попов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2017. – № 10 (152). – С. 47-51.
9. Светличкина, А. А. Особенности планирования уровня физических нагрузок у студентов специальной медицинской группы «А» имеющих сочетанные заболевания сердечно-сосудистой системы и вертебральной области /

- А. А. Светличкина, А. В. Доронцев // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2020. – № 1(179). – С. 245-250.
10. Дефицит магния и стресс: вопросы взаимосвязи, тесты для диагностики и подходы к терапии / Е. Тарасов, Д. Блинов, У. Зимовина, Е. Сандакова // *Терапевтический архив*. – 2015. – № 9(87). – С. 6114-6122.
11. Воробьева, О. В. Вегетативная дисфункция – что скрывается за диагнозом? / О. В. Воробьева // *Трудный пациент*. – 2011. – № 9(10). – С.16-20.
12. Макацария, А. Д. Влияние дефицита магния на качество жизни женщин, использующих гормональную контрацепцию / А. Д. Макацария, Г. Б. Дикке // *Медицинский совет*. – 2018. – № 7. – С. 87-95.

#### REFERENCES

1. Gromova, O.A. Egorova E.Yu., Torshin I.Yu., Gromov A.N., Gogolev I.V. Magnesium and its importance for sports medicine. *RMJ*, 2016, no. 1, pp. 1-11. (in Russ.)
2. Rashid, M.A. Karpov V.Yu., Pogonchenkova I.V., Shostak N.A., Yadrov M.E., Suryakhina Ya.I. Magnesium in the clinical picture of internal diseases. *RMJ*, 2015, no. 28, pp. 1705-1709. (in Russ.)
3. Troegubova, N.A., Rylova N.V., Gil'mutdinov R.R. Metabolism of magnesium and zinc in athletes. *Modern problems of science and education*, 2014, № 14. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14249> (accessed 12.03.2023). (in Russ.)
4. Orlova, S., Dikke G., Pickering G., Konchits S., Starostin K., Bezv A. Magnesium Deficiency Questionnaire: A New Non-Invasive Magnesium Deficiency Screening Tool Developed Using Real-World Data from Four Observational Studies. *Nutrients*, 2020, no. 7, art. no. 2062.
5. Mazurenko, E.A., Kaszyanov G.I. Feeding habits of athletes with high physical activity. *Proceedings of VSUET*, 2016, no. 4 (70), pp. 121-126. (in Russ.)
6. Karpov V.Yu, Zavalishina S.Y., Dorontsev A.V. Physiological response of the physical capabilities of adolescents with sensorineural hearing loss to regular adaptive handball. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 2021, vol. 14(1), pp. 99-103. (in Russ.)

7. Bugaeva K.D. Musculoskeletal disorders in athletes of various specializations *International scientific journal "Symbol of Science"*, 2015, no. 11, pp. 16-20. (in Russ.)
8. Dorontsev A.V., Popov S.Yu. Research of technique of performance of tempo heavy athletics exercises under CrossFit training. *Scientific notes of the P.F. Lesgaft University*, 2017, no. 10(152), pp. 47-51. (in Russ.)
9. Svetlichkina A.A., Dorontsev A.V. Features of planning the level of physical loads of students of the special medical group "A" having combined diseases of the cardiovascular system and vertebral area. *Scientific notes of the P.F. Lesgaft University*, 2020, no. 1 (179), pp. 245-250. (in Russ.)
10. Tarasov E.A., Blinov D.V., Zimovina Yu.V., Sandakova E.A. Magnesium deficiency and stress: Issues of their relationship, diagnostic tests, and approaches to therapy. *Terapevticheskii Arkhiv*, 2015, no. 9 (87), pp. 6114-6122. (in Russ.)
11. Vorob'eva O.V. Vegetative dystonia – what is hidden by diagnosis? *Difficult Patient*, 2011, no. 9 (10), pp. 16-20. (in Russ.)
12. Makatsaria A.D., Dicke G.B. Impact of magnesium deficiency on the quality of life of women using hormonal contraception. *Medical Council*, 2018, no. 7, pp. 87-95. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Ирина Сергеевна Корольчук** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры поликлинической терапии с курсом общей врачебной практики, Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, e-mail: Ir.korolchuk@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-8945-5399.

**Людмила Николаевна Порубайко** – кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой физической культуры, Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, e-mail: porubaiko50@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8775-5726.

**Анна Анатольевна Резун** – студент, Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, e-mail: rezunanna168@gmail.com. ORCID: 0000-0001-8999-7940.

**Александр Викторович Доронцев** – кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой физической культуры, Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, e-mail: aleksandr.dorontsev@rambler.ru. ORCID: 0000-0001-9446-103X.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Irina Sergeevna Korol'chuk** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Outclinic Therapy with the General Medicine Course, Krasnodar State Medical University, Krasnodar, e-mail: Ir.korolchuk@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-8945-5399.

**Lyudmila Nikolaevna Porubajko** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Physical Culture Department, Kuban State Medical University, Krasnodar, e-mail: porubaiko50@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8775-5726.

**Anna Anatol'evna Rezun** – Student, Kuban State Medical University, Krasnodar, e-mail: rezunanna168@gmail.com. ORCID: 0000-0001-8999-7940.

**Aleksandr Viktorovich Dorontsev** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Culture, Astrakhan State Medical University, e-mail: aleksandr.dorontsev@rambler.ru. ORCID: 0000-0001-9446-103X.

**Для цитирования:** Особенности проявления дефицита магния у высококвалифицированных спортсменов в предсоревновательный период / И. С. Корольчук, Л. Н. Порубайко, А. А. Резун, А. В. Доронцев // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_31

**For citation:** Korol'chuk I.S., Porubajko L.N., Rezun A.A., Dorontsev A.V. Features of magnesium deficiency in elite athletes before the competition period. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_31

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_32  
УДК 797.215; 615.835.3

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_32  
UDC 797.215; 615.835.3

## **ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИИ СРЕДНЕГОРЬЯ И КРАТКОВРЕМЕННОЙ ГИПЕРОКСИИ НА ДИНАМИКУ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СПОРТСМЕНОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ПОДВОДНЫМ ПЛАВАНИЕМ, В МАКСИМАЛЬНОМ ЭРГОСПИРОМЕТРИЧЕСКОМ ТЕСТЕ**

**Г.Н. Тер-Акопов**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

**Аннотация.** Целью работы явилось исследование влияния гипоксии среднегорья и кратковременной гипероксии на динамику функциональных показателей спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в максимальном нагрузочном эргоспирометрическом тесте. Как показали результаты экспериментального исследования, гипоксия среднегорья вызывает снижение аэробных возможностей организма даже у спортсменов, занимающихся подводным плаванием, а следовательно являющихся наиболее устойчивыми к данному фактору. В то же время гипероксическая ингаляция перед максимальной нагрузкой способствует значимому увеличению аэробной производительности и мощности выполняемой аэробной нагрузки. Применение кислорода перед тестом и в большей степени в период срочного восстановления сразу после его завершения способствует ускорению восстановительных показателей сердечно-сосудистой системы: частоты сердечных сокращений на 1 и 2 минутах восстановления, артериального давления на 3, 4 и 5 минутах восстановления. Полученные данные позволяют рекомендовать метод горной подготовки спортсменов, описанный как «Жить высоко – тренироваться низко с дополнительным кислородом» в целях одновременного повышения аэробного потенциала и более существенного повышения тренированности по сравнению с традиционной тренировкой в среднегорье. Также рекомендуется модификация данного метода, которую можно назвать «Жить высоко – тренироваться высоко – восстанавливаться с дополнительным кислородом».

**Ключевые слова:** спортсмены, среднегорье, гипоксия, гипероксия, эргоспирометрия, функциональное состояние.

## **EFFECT OF MIDDLE ALTITUDE HYPOXIA AND SHORT-TERM HYPEROXIA ON THE FUNCTIONAL PERFORMANCE DYNAMICS IN DIVERS DURING THE MAXIMUM ERGOSPIROMETRIC TEST**

**G.N. Ter-Akopov**

FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, Russia

**Annotation.** The aim of the work – to study the effect of middle altitude hypoxia and short-term hyperoxia on the functional performance dynamics of divers during the maximum ergospirometric stress test. As the results of the experimental study revealed, hypoxia causes a decrease in aerobic capacity of the body even in divers, consequently being the most resistant to this factor. At the same time hyperoxic inhalation before the maximum workload causes a significant increase of aerobic performance and the performed aerobic load power. The use of oxygen before the test, and to a greater extent during urgent recovery immediately after its completion, promotes faster recovery of cardiovascular system parameters: heart rate at 1 and 2 minutes of recovery, blood pressure at 3,4 and 5 minutes of recovery. The obtained data allow recommending the method of mountain training of athletes described as “Live high – train low with supplementary oxygen” in order to simultaneously increase aerobic potential and a more significant increase in fitness compared with traditional training in middle altitude. A modification of this method, which can



be possibly described as “Live high – train high – recover with supplementary oxygen” is also recommended.

**Keywords:** athletes, middle altitude, hypoxia, hyperoxia, ergospirometry, functional state.

**Введение.** Многолетними исследованиями была показана эффективность природного гипоксического фактора в целях достижения высокого адаптационного потенциала организма, иначе называемого тренировками в среднегорье [1-2]. Предложены модели (варианты методов) проведения тренировок на разных высотах. Классическим подходом считается модель «Жить высоко – тренироваться высоко» (LHTH), когда спортсмены живут и тренируются на одном и том же уровне горной местности [2-5]. Эффектом таких тренировок становится увеличение работоспособности спортсменов в нормоксических условиях [3, 6]. Существенные изменения в организации и расширении возможностей тренировки были внесены с введением других моделей горной подготовки. Метод подготовки «Жить высоко – тренироваться низко» (LHTL) сочетает в себе проживание на большей высоте с ежедневным пребыванием на более низких высотах для тренировочных занятий [7]. Другой метод – «Высоко высоко низко» (HNL) [8], сочетающий разные варианты гипо- и гипероксического воздействия, а также тренировки и проживание в среднегорье с ингаляциями воздушными дыхательными смесями с повышенным содержанием кислорода [9-10]. Подобный вариант метода, использующий гипероксию «Жить высоко – тренироваться низко с дополнительным кислородом» (LHTLO<sub>2</sub>) ранее апробировался, в результате чего авторы пришли к выводу, что LHTLO<sub>2</sub> приводит к значительному увеличению насыщения оксигемоглобином артериальной крови и большим его распадом на уровне капилляров работающих мышц. Это вызывает значительное повышение аэробного потенциала, увеличение выходной мощности и физической работоспособности и не сопровождается дополнительным клеточным стрессом от окислительных реакций [11].

Проведенные ранее исследования российских ученых также демонстрируют эффективность гипероксических ингаляций, применяемых в нормоксических условиях [12-13]. В настоящее время особенно актуально может быть применение данного метода у спортсменов, ранее перенесших COVID-19, так как имеются данные о снижении потребления кислорода (VO<sub>2</sub>) и изменении метаболизма лактата у выздоравливающих спортсменов после легкой формы COVID-19. Этот вопрос еще недостаточно изучен, однако, как указывают авторы, физические возможности испытуемых имели тенденцию к снижению [14-15], хотя имеются и противоположные данные [16].

Тем не менее специалисты сходятся во мнении о том, что эффективным в оценке функционального состояния и работоспособности спортсменов в условиях среднегорья, в том числе и ранее перенесших COVID-19, является нагрузочное эргоспирометрическое тестирование [17].

Целью работы явилось исследование влияния гипоксии среднегорья и кратковременной гипероксии на динамику функциональных показателей спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в максимальном нагрузочном эргоспирометрическом тесте.

**Методы и организация исследования.** Исследование проводилось в Центре медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России в среднегорье на высоте 1240 м (гора Малое седло, г. Кисловодск) в период УТС (учебно-тренировочных сборов) на базе ФГУП «Юг спорт». В исследовании приняли участие 9 высококвалифицированных спортсменов, занимающихся подводным плаванием, все спортсмены – члены сборных команд Российской Федерации.

Для создания гипероксической смеси использовался кислородный концентратор

JAY-10 (Longfian, Китай). Концентрация кислорода в смеси составила  $93 \pm 3$  %, производительность – 5 л/мин, экспозиция – 20 мин. Гипероксическая смесь подавалась в дыхательные пути посредством маски.

Нагрузочное тестирование на тредмиле с эргоспирометрией и анализом динамики срочного восстановления проводили три раза, с интервалом 3 дня: 1 тест – максимальный нагрузочный тест на тредмиле без гипероксических ингаляций, 2 тест – гипероксическая ингаляция непосредственно перед тестом 10 мин, затем сразу максимальный нагрузочный тест на тредмиле, 3 тест – максимальный нагрузочный тест на тредмиле и гипероксическая ингаляция 10 мин сразу после завершения теста, в период срочного восстановления.

Нагрузочное тестирование осуществляли с помощью эргоспирометрической системы SCHILLER (Швейцария) и тредмила H/P/COSMOS (Германия) по протоколу Брюса. Тест продолжался до отказа спортсмена от работы. В протоколе фиксировали время выполнения теста, частоту сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), объем  $O_2$  и  $CO_2$  в выдыхаемом воздухе в конце каждой ступени нагрузки. Эти же показатели фиксировали каждую минуту срочного восстановления.

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программы Statistica 13.0. Результаты исследования представлены в виде медианы и квартилей (25-й и 75-й процентиля). Статистическая обработка данных проводилась с помощью непараметрических критериев Уилкоксона (Wilcoxon matched pair test) и Манна-Уитни (Mann-Whitney U-test), рангового дискриминантного анализа и конкордации Кендалла. Критический уровень значимости ( $p$ ) при проверке статистических гипотез принимался не менее чем 0,05.

**Результаты исследования и их обсуждение** Спортсмены, занимающиеся подводным плаванием, являются наиболее

устойчивыми к гипоксии, в связи с чем исследование гипо- и гипероксических воздействий у них представляет наибольший интерес. Сравнительный анализ показателей спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в тесте без кислорода и с кислородной поддержкой (табл. 1) показал, что при применении гипероксии увеличились время работы (Время max;  $p < 0,05$ ), время работы на аэробном пороге (Время AP), максимальная мощность нагрузки (Нагр max), мощность нагрузки на аэробном пороге (Нагр AP;  $p < 0,01$ ), максимальное потребление кислорода ( $VO_2$ max), скорость выделения углекислого газа ( $VCO_2$ max), скорость потребления кислорода на аэробном пороге ( $VO_2AP$ ;  $p < 0,02$ ), ЧСС на аэробном пороге (ЧСС AP), метаболический эквивалент кислорода.

Сравнение полученных данных с литературными показывает, что показатели максимального потребления кислорода (МПК) у исследованных высококвалифицированных спортсменов, занимающихся подводным плаванием, ниже средних величин МПК для лиц данного возраста и пола, что свидетельствует о значимом воздействии гипоксии среднегорья на функциональный статус спортсменов, следствием чего является снижение аэробных возможностей организма [18]. В то же время величина метаболического эквивалента высокая, что подтверждает высокий уровень тренированности и квалификацию пловцов, принявших участие в исследовании.

Как показали полученные данные, гипероксическая ингаляция перед максимальной нагрузкой в условиях гипоксии среднегорья способствовала увеличению максимальных функциональных возможностей кислородтранспортной системы спортсменов в условиях гипоксии среднегорья и повышению физической работоспособности, что позволило им выполнить большую физическую работу как по объему, так и по интенсивности.

Таблица 1

Показатели спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в максимальном нагрузочном велоэргометрическом тесте на тредмиле с предварительной гипероксической ингаляцией и без

№ п/п	Показатели	Без O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> перед тестом	P<
1	Время max, с	680,0 (610,0; 820,0)	690,0 (600,0; 880,0)	0,05
2	Время АП, с	400,0 (350,0; 430,0)	430,0 (370,0; 490,0)	-
3	Нагр max, Вт	169,0 (156,0; 219,0)	201,0 (166,0; 252,0)	-
4	Нагр АП, Вт	78,0 (66,0; 95,0)	97,0 (82,0; 130,0)	0,01
5	VO <sub>2</sub> max, л/мин	2,3 (2,2; 2,9)	2,7 (2,3; 3,3)	-
6	VO <sub>2</sub> отн, мл/кг/мин	39,7 (38,4; 41,4)	43,1 (41,5; 44,8)	-
7	VCO <sub>2</sub> max, л/мин	2,7 (2,6; 3,8)	3,2 (3,0; 3,7)	-
8	RER, усл.ед.	1,2 (1,1; 1,3)	1,2 (1,1; 1,3)	-
9	ЧССmax, уд/мин	191,0 (188,0; 197,0)	190,0 (186,0; 192,0)	-
10	VO <sub>2</sub> АП, л/мин	1,4 (1,2; 1,5)	1,5 (1,4; 1,7)	0,02
11	VO <sub>2</sub> АП отн, мл/кг/мин	22,0 (20,0; 26,4)	23,0 (19,5; 27,9)	-
12	VCO <sub>2</sub> АП, л/мин	1,4 (1,2; 1,5)	1,5 (1,4; 1,7)	-
13	ЧСС АП, уд/мин	160,0 (137,0; 167,0)	161,0 (149,0; 168,0)	0,04
14	МЕТ, мл x кг <sup>-1</sup> x мин <sup>-1</sup>	11,3 (10,9; 12,0)	12,5 (11,5; 12,8)	-

Примечание: АП – анаэробный порог; VO<sub>2</sub> – потребление кислорода; VCO<sub>2</sub> – выделение углекислого газа; ЧСС – частота сердечных сокращений; RER – дыхательный коэффициент; МЕТ – метаболический эквивалент кислорода

Для оценки влияния гипероксической ингаляции на процессы срочного восстановления после максимальной нагрузки (первые 10 мин после окончания работы) проводился сравнительный анализ показателей при восстановлении в тесте без кислородной поддержки, с кислородной поддержкой перед тестом и гипероксической ингаляцией сразу после прекращения работы. Сравнение динамики всех показателей на 1, 2, 3, 4 и 5 минутах

восстановления выявил статистически значимые различия по данным рангового дискриминантного анализа и конкордации Кендалла.

Анализ динамики ЧСС в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста показал статистически значимые меньшие значения ЧСС на 1 и 2 минуте восстановления в тесте с кислородом (табл. 2).

Таблица 2

Динамика частоты сердечных сокращений в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста

Минуты восстановительного периода	Без O <sub>2</sub> 1	O <sub>2</sub> до нагрузки 2	Восстановление с O <sub>2</sub> 3	P<
1	164 (148; 174)	156 (136; 163)	128 (105; 144)	1-3<0,05
2	120 (115; 132)	128 (123; 132)	112 (103; 120)	1-3<0,03
3	108 (106; 118)	116 (110; 123)	106 (101; 116)	-
4	104 (95; 114)	110 (105; 117)	103 (98; 107)	-
5	100 (98; 110)	102 (100; 108)	102 (98; 105)	-

По показателям АД выявлены статистически значимые меньшие значения в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста. Зарегистрированы статистически значимые меньшие значения

систолического АД на 3 минуте восстановления в тесте с кислородом, применяемым перед нагрузкой. Также значимо меньшие значения систолического АД обнаружены на 4 и 5 минутах восстановления с кислородной поддержкой (табл. 3).

Таблица 3

Динамика систолического артериального давления в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста

Минуты восстановительного периода	Без O <sub>2</sub> 1	O <sub>2</sub> до нагрузки 2	Восстановление с O <sub>2</sub> 3	P<
1	172 (152; 188)	160 (144; 196)	161 (135; 165)	-
2	164 (142; 192)	152 (145; 170)	150 (138; 162)	-
3	149 (138; 176)	140 (137; 197)	135 (131; 153)	1-2<0,02
4	140 (132; 161)	128 (124; 140)	129 (123; 131)	1-3<0,02
5	131 (126; 135)	130 (124; 144)	121 (117; 130)	1-3<0,02

Анализ динамики диастолического АД показал его статистически значимые меньшие значения на 1-й минуте восстановления в тесте без кислорода и дальнейшее повышение к 5-й минуте. В тесте с кислородной поддержкой до нагрузки диастолическое АД на 1-5 минутах восстановления практически не менялось. В тесте с восстановлением с кислородом наблюдалось его равномерное снижение от 1-й к 5-й минуте. Статистически значимо меньшие значения выявлены между

данными диастолического АД в тесте с восстановлением с кислородом по сравнению с тестом без его применения. Следовательно, применение кислорода перед тестом и в большей степени в период срочного восстановления сразу после его завершения способствует ускорению восстановительных процессов, что выражается в показателях ЧСС на 1 и 2 минутах восстановления, систолического АД – на 3,4 и 5 минутах восстановления и общей динамики диастолического АД (табл. 4, рис.).

Таблица 4

Динамика диастолического артериального давления в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста

Минуты восстановительного периода	Без O <sub>2</sub> 1	O <sub>2</sub> до нагрузки 2	Восстановление с O <sub>2</sub> 3	P<
1	78 (72; 85)	80 (70; 93)	85 (73; 91)	1-2<0,04
2	84 (77; 93)	79 (70; 87)	81 (79; 86)	-
3	86 (83; 88)	81 (69; 89)	77 (71; 84)	-
4	86 (74; 90)	78 (71; 85)	77 (67; 85)	1-3<0,04
5	86 (81; 88)	83 (76; 89)	76 (74; 84)	1-3<0,04

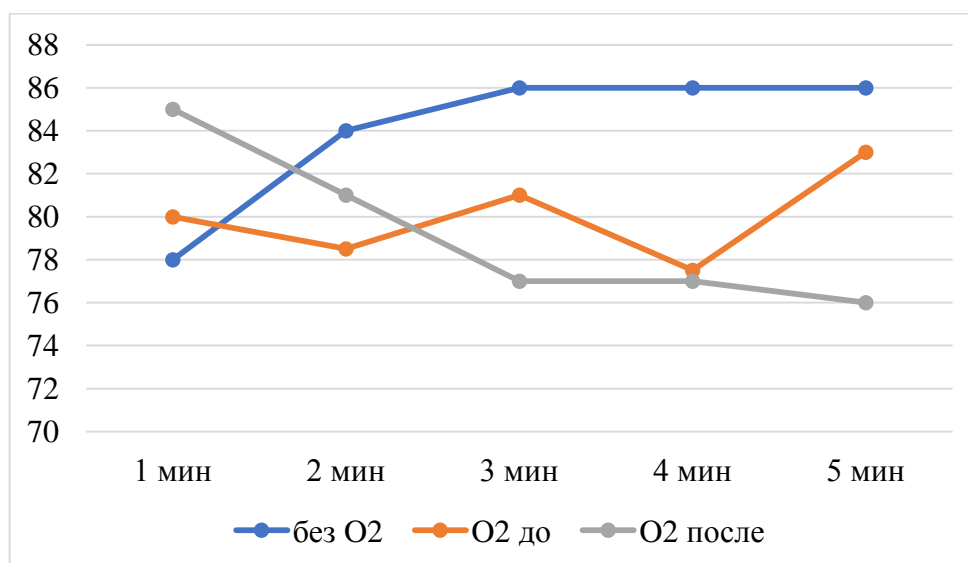


Рис. Динамика диастолического артериального давления в период срочного восстановления после максимального нагрузочного велоэргометрического теста в вариантах применения без кислорода, с кислородом перед тестом и кислородом после его завершения

**Заключение.** Таким образом, проведенное исследование показывает, что гипоксия среднегорья вызывает снижение аэробных возможностей организма, что проявилось при выполнении максимального нагрузочного велоэргометрического теста на тредмиле в виде более низких показателей МПК и АП. В то же время гипероксическая ингаляция перед максимальной нагрузкой способствует значимому увеличению аэробной производительности и мощности выполняемой аэробной нагрузки. Применение кислорода перед тестом и в большей степени в период срочного восстановления сразу после его завершения способствует ускорению восстановительных процессов,

что выражается в показателях ЧСС на 1 и 2 минутах восстановления, систолического АД на 3, 4 и 5 минутах восстановления и общей динамики диастолического АД. Полученные данные позволяют рекомендовать метод горной подготовки спортсменов, описанный как «Жить высоко – тренироваться низко с дополнительным кислородом» в целях одновременного повышения аэробного потенциала и более существенного повышения тренированности по сравнению с традиционным. Также рекомендуется модификация данного метода, которую можно назвать «Жить высоко – тренироваться высоко – восстанавливаться с дополнительным кислородом».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Phelan, D. A game plan for the resumption of sport and exercise after coronavirus disease 2019 (COVID-19) infection / D. Phelan, J. H. Kim, E. H. Chung // *JAMA Cardiol.* – 2020. – Vol. 13. – № 12. – pp. 2635-2652.
2. Корягина, Ю. В. Современные технологии и эффекты горной и гипоксической подготовки спортсменов / Ю. В. Корягина, Г. Н. Тер-Акопов, С. В. Нопин // *Курортная медицина.* – 2017. – № 3. – С. 170-174.
3. Influence of altitude training modality on performance and total haemoglobin mass in elite swimmers / Gough C. E., Saunders P. U., Fowle J. [et al] // *European journal of applied physiology.* – 2012. – Vol. 112. – № 9. – pp. 3275-3285.
4. Training Quantification and Periodization during Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study / Sharma A., Saunders P., Garvican-Lewis L. [et al] // *Journal of sports science & medicine.* – 2018. – Vol. 17. – № 4. – pp. 607-616.
5. Stanley, J. Training Quantification and Periodization during Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study

- / J. Stanley, E. Y. Robertson, K. G. Thompson // *J Sports Sci Med.* – 2018. – Vol. 20. – № 17(4). – pp. 607-616.
6. Суслов, Ф. П. Спортивная тренировка в условиях среднегорья / Ф.П. Суслов. – М.: 1999. – 202 с.
7. The effects of altitude/hypoxic training on oxygen delivery capacity of the blood and aerobic exercise capacity in elite athletes – a meta analysis / Park H., Hwang H., Park J. [et al] // *Exerc Nutrition Biochem.* – 2016. – № 20. – pp. 15-22. DOI: 10.20463/jenb.2016.03.20.1.3.
8. Living high-training low: effect on erythropoiesis and aerobic performance in highly-trained swimmers / Robach P., Schmitt L., Brugniaux J. V [et al] // *Eur J Appl Physiol.* – 2006. – № 96. – pp. 423-433. DOI: 10.1007/s00421-005-0089-1.
9. Park H. Y. Application of "living high-training low" enhances cardiac function and skeletal muscle oxygenation during submaximal exercises in athletes / H. Y. Park, S. S. Nam // *J Exerc Nutrition Biochem.* – 2017. – Vol. 31. – № 21(1). – pp. 13-20. DOI: 10.20463/jenb.2017.0064.
10. Hyperoxia during recovery improves peak power during repeated wingate cycle performance / B. Kay, S. R Stannard, R. H. Morton, N. North // *Brazilian Journal of Biomotricity.* – 2008. – pp. 92-100.
11. Suchý, J. The effect of inhaling concentrated oxygen on performance during repeated anaerobic exercise / J. Suchý, J. Heller, V. Bunc // *Biol. Sport.* – 2010. – Vol. 27(3). – pp. 169-175.
12. Михалев, В. И. Влияние кислородно-воздушной смеси с содержанием кислорода 93% на вариабельность сердечного ритма и систему внешнего дыхания спортсменов / В. И. Михалев, Е. А. Реуцкая, Ю. В. Корягина // *Теория и практика физической культуры.* – 2012. – № 11. – С. 12-15.
13. Реуцкая, Е. А. Влияние воздушной дыхательной смеси с повышенным содержанием кислорода на процессы срочного восстановления кардиореспираторной системы лыжников разной квалификации / Е. А. Реуцкая, Ю. В. Корягина // *Лечебная физкультура и спортивная медицина.* – 2013. – № 4 (112). – С. 17-23.
14. Clinical characteristics, exercise capacity and pulmonary function in post-COVID-19 competitive athletes / Komici K., Bianco A., Perrotta F. [et al] // *J. Clin. Med.* – 2021. – № 10 (14). – P. 3053. DOI: 10.3390/jcm10143053
15. The impact of COVID-19 on the preparation for the Tokyo Olympics: A comprehensive performance assessment of top swimmers / Csulak E., Petrov Á., Kováts T. [et al] // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2021. – № 18 (18). – P. 9770. DOI: 10.3390/ijerph18189770
16. SARS-CoV2 infection: Functional and morphological cardiopulmonary changes in elite handball players / Fikenzer S., Kogel A., Pietsch C. [et al] // *Sci. Rep.* – 2021. – № 11 (1). – P. 17798. DOI: 10.1038/s41598-021-97120-x
17. Diagnostic evaluation and cardiopulmonary exercise test findings in young athletes with persistent symptoms following COVID-19 / Moulson N., Gustus S. K., Scirica C. [et al] // *Br. J. Sports Med.* – 2022. – № 56 (16). – pp. 927-932. DOI: 10.1136/bjsports-2021-105157.
18. Ландырь, А. П. Тесты с дозируемой физической нагрузкой в спортивной медицине / А. П. Ландырь, Е. Е. Ачкасов, И. Б. Медведев. – М.: Спорт, 2019. – 256 с.

#### REFERENCES

1. Phelan D., Kim J.H., Chung E.H. A game plan for the resumption of sport and exercise after coronavirus disease 2019 (COVID-19) infection. *JAMA Cardiol*, 2020, vol. 13, no. 12, p. 2635-2652.
2. Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N., Nopin S.V. Modern technologies and effects of mountain and hypoxic sportsmen training. *Resort Medicine*, 2017, no. 3, pp. 170-174. (in Russ.)
3. Gough C.E., Saunders P.U., Fowlie J., Savage B., Pyne D.B., Anson J.M., Wachsmuth N., Prommer N., Gore C.J. Influence of altitude training modality on performance and total haemoglobin mass in elite swimmers. *European journal of applied physiology*, 2012, vol. 112, no. 9, pp. 3275-3285.
4. Sharma A., Saunders P., Garvican-Lewis L., Périard J., Clark B., Gore C., Raysmith B.P., Stanley J., Robertson E.Y., Thompson K. Training Quantification and Periodization during Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study. *Journal of sports science & medicine*, 2018, vol. 17, no. 4, pp. 607-616.
5. Stanley J., Robertson E.Y., Thompson K.G. Training Quantification and Periodization during Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study. *J Sports Sci Med*, 2018, vol. 20, no. 17(4), pp. 607-616.
6. Suslov F.P. Sports training in middle altitude conditions. Moscow: 1999. 202 p.(in Russ.)
7. Park H., Hwang H., Park J., Lee S., Lim K.J. The effects of altitude/hypoxic training on oxygen delivery capacity of the blood and aerobic exercise capacity in elite athletes – a meta analysis. *Exerc*

- Nutrition Biochem*, 2016, no. 20, pp. 15-22. DOI: 10.20463/jenb.2016.03.20.1.3.
8. Robach P., Schmitt L., Brugniaux J.V., Roels B., Millet G., Hellard P., Nicolet G., Duvallet A., Fouillot J.P., Moutereau S., Lasne F., Pialoux V., Olsen N.V., Richalet J.P. Living high-training low: effect on erythropoiesis and aerobic performance in highly-trained swimmers. *Eur J Appl Physiol*, 2006, no. 96, pp. 423-433. DOI: 10.1007/s00421-005-0089-1.
9. Park H.Y, Nam S.S. Application of "living high-training low" enhances cardiac function and skeletal muscle oxygenation during submaximal exercises in athletes. *J Exerc Nutrition Biochem*, 2017, vol. 31, no. 21(1), pp. 13-20. DOI: 10.20463/jenb.2017.0064.
10. Kay B., Stannard S.R., Morton R.H., North N. Hyperoxia during recovery improves peak power during repeated wingate cycle performance. *Brazilian Journal of Biomotricity*, 2008, pp. 92-100.
11. Suchý J., Heller J., Bunc V. The effect of inhaling concentrated oxygen on performance during repeated anaerobic exercise. *Biol. Sport*, 2010, vol. 27(3), pp. 169-175.
12. Mikhalev V.I., Reutskaya E.A., Koryagina Yu.V. The effect of oxygen-air mixture with 93% of oxygen on heart rate variability and external respiration system of athletes. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2012, no. 11, pp. 12-15. (in Russ.)
13. Reutskaya E.A., Koryagina Yu.V. The effect of air breathing mixtures with increased amount of oxygen on the urgent restoration of the cardiorespiratory system in skiers of different qualification. *Exercise therapy and Sports Medicine*, 2013, no. 4 (112), pp. 17-23. (in Russ.)
14. Komici K., Bianco A., Perrotta F., Iacono A.D., Bencivenga L., D'Agnano V., Rocca A., Bianco A., Rengo G., Guerra G. Clinical characteristics, exercise capacity and pulmonary function in post-COVID-19 competitive athletes. *J. Clin. Med*, 2021, no. 10 (14), p. 3053. DOI: 10.3390/jcm10143053
15. Csulak E., Petrov Á., Kováts T., Tokodi M., Lakatos B., Kovács A., Staub L., Suhai F.I., Szabó E.L., Dohy Z. et al. The impact of COVID-19 on the preparation for the Tokyo Olympics: A comprehensive performance assessment of top swimmers. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, no. 18 (18), p. 9770. DOI: 10.3390/ijerph18189770
16. Fikenzer S., Kogel A., Pietsch C., Lavall D., Stöbe St., Rudolph U., Laufs U., Hepp P., Haggendorff A. SARS-CoV2 infection: Functional and morphological cardiopulmonary changes in elite handball players. *Sci. Rep*, 2021, no. 11 (1), p. 17798. DOI: 10.1038/s41598-021-97120-x
17. Moulson N., Gustus S.K., Scirica C., Petek B.J., Vanatta C., Churchill T.W., Guseh J.S., Baggish A., Wasfy M.M. Diagnostic evaluation and cardiopulmonary exercise test findings in young athletes with persistent symptoms following COVID-19. *Br. J. Sports Med*, 2022, no. 56 (16), pp. 927-932. DOI: 10.1136/bjsports-2021-105157
18. Landyr' A.P., Achkasov E.E., Medvedev I.B. Tests with controlled physical load in sports medicine. Moscow: Sport, 2019. p. 256. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Гукас Николаевич Тер-Акопов** – кандидат экономических наук, генеральный директор ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Эссентуки, e-mail: sk@fmbamail.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Gukas Nikolaevich Ter-Akopov** – Candidate of Economic Sciences, General Director of the FSBI "North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency", Essentuki, e-mail: sk@fmbamail.ru.

**Для цитирования:** Тер-Акопов Г. Н. Влияние гипоксии среднегорья и кратковременной гипероксии на динамику функциональных показателей спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в максимальном эргоспирометрическом тесте / Г. Н. Тер-Акопов // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_32

**For citation:** Ter-Akopov G.N. Effect of middle altitude hypoxia and short-term hyperoxia on the functional performance dynamics in divers during the maximum ergospirometric test. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_32

## ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_33  
УДК 796.01; 612

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_33  
UDC 796.01; 612

### ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПИТАНИЯ НА ФИТНЕС-ЗДОРОВЬЕ СТУДЕНТОВ

**С.В. Михайлова**

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Арзамасский филиал, г. Арзамас, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты оценки фитнес-здоровья 448 студентов по разработанному методу на основе 5 показателей (силовой индекс, коэффициент выносливости, индекс Скибинской, индекс компонентного состава тела, физическая подготовленность), полученных в ходе обследований в Центре здоровья и учебного процесса в вузе. Определили, что половина студентов имеет средний уровень фитнес-здоровья, девушек с хорошими и высокими оценками больше, чем юношей. Сравнительный анализ фактического питания у студентов с различным уровнем фитнес-здоровья показал, что для поддержания высокого уровня рацион питания должен быть менее углеводным, с более высоким содержанием белка и жиров (полиненасыщенных) по сравнению с рекомендуемыми физиологическими нормами потребления.

**Ключевые слова:** фитнес-здоровье, студенты, калорийность питания, белки, жиры, углеводы.

### IMPACT OF DIET QUALITY ON STUDENTS' FITNESS AND HEALTH

**S.V. Mikhajlova**

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Arzamas Branch, Arzamas, Russia

**Annotation.** The article presents the results of assessing fitness and health of 414 students with application of a developed method based on 5 indicators (strength index, endurance coefficient, Skibinskaya index, body composition index, physical fitness) obtained during examinations at the Center for Health and Educational Process at the university. It was found that half of the students have average levels of fitness and health, good and high marks were registered more frequently in girls than boys. A comparative analysis of the actual nutrition of students with different levels of fitness and health demonstrated that in order to maintain high level, the diet should have a lower content of carbs and higher content of proteins and (polyunsaturated) fats compared to the recommended physiological references of nutrient intake.

**Keywords:** health and fitness, students, caloric intake, proteins, fats, carbs.

**Введение.** Под влиянием массового увлечения населения фитнесом сформировалось понятие «фитнес-здоровье». В его основе лежит оценка физического здоровья, но с более расширенным набором показателей. Фитнес-здоровье (ФЗ), как состояние физического благополучия организма, обусловленное функциональным состоянием, физическими качествами и оптимальным компонентным составом тела, оценивается по 5 показателям: силовой индекс (СИ), коэффициент выносливости (КВ), индекс Скибинской (ИС), индекс компонентного

состава тела (ИКСТ) и оценка физической подготовленности [1]. Основопологающими факторами, формирующими уровень ФЗ, являются оптимальная двигательная активность и рациональное питание [2-3].

Питание должно точно соответствовать потребностям организма в пластических веществах и энергии, минеральных солях, витаминах и воде, обеспечивать нормальную жизнедеятельность, хорошее самочувствие, высокую работоспособность, сопротивляемость инфекциям, рост и развитие организма. Калорийность пищевого



рациона должна соответствовать энергетическим затратам организма, которые определяются видом трудовой и спортивной деятельности [4].

Чаще всего студенты питаются крайне нерегулярно, часто перекусывая сухомятку и на ходу. Исследователями выявляется низкая культура питания, характеризующаяся следующими чертами: пренебрежение к режиму питания; некомпетентность в вопросах культуры питания; избыточное потребление лакомств и напитков, содержащих сахар; чрезмерное потребление напитков, обладающих наркотическими свойствами (кофе, алкоголь); неумение организовать питание в зависимости от нагрузки [5]. При этом исследователями отмечается иное отношение к питанию студентов, занимающихся спортом, особенно фитнесом, суть которого заключается в обязательном сочетании активных тренировок и правильного питания [3].

Целью проведенного исследования является оценка качества питания у студентов с различным уровнем ФЗ.

**Методы и организация исследования.** Исследование проведено по результатам профилактических медицинских обследований, в которых участвовало 448 студентов (258 девушек и 190 юношей) 18-22 лет на базе Центра здоровья. Обследования включали: анкетирование; антропометрию (измерение длины и массы тела (ДТ, МТ), систолического и диастолического артериального давления (САД, ДАД), частоты сердечных сокращений (ЧСС), жизненной емкости легких (ЖЕЛ), динамометрии правой кисти (ДПК)); пробу Штанге (прШ); биоимпедансметрию (процентное содержание жировой массы тела (ЖМТ), общей воды (ОВ), активной клеточной массы (АКМ), основного обмена веществ (ОсОб, ккал)) [6].

Оценку ФЗ проводили согласно методическим указаниям, изложенным в Патенте РФ «Способ оценки уровня фитнес-здоровья» [1].

Для оценки ФЗ использовали 5 контрольных показателей:

1. силовой индекс (СИ):

$$СИ = ДПК / МТ \times 100\%;$$

2. коэффициент выносливости (КВ):

$$КВ = (ЧСС \times 10) / ПАД;$$

3. индекс Скибинской (ИС):

$$ИС = (ЖЕЛ \times прШ) / ЧСС;$$

4. индекс компонентного состав тела (ИКСТ):

$$ИКСТ = (k_{AKM} + k_{ЖМТ} + k_{ОВ} + k_{ОсОб}) / 4;$$

5. оценка физической подготовленности (ФП), которая рассчитывалась по среднему баллу выполненных упражнений. Оценку ФП проводили по результатам выполнения четырех двигательных тестов, характеризующих степень развития основных физических качеств и входящих в комплекс ВФСК ГТО для мужчин и женщин 6 ступени (бег 100 м, 2(3) км, упражнение на гибкость, подтягивание (юноши), отжимание от пола (девушки)). Тестирование проводилось в ходе учебно-воспитательного процесса в вузе.

Для определения уровня ФЗ суммировали баллы, набранные за 5 контрольных показателей, и вычисляли среднее их значение по формуле:

$$ФЗ = (ИКСТ + СИ + ИС + КВ + ФП) / 5.$$

Для проведения расчетов разработана компьютерная программа «Оценка фитнес-здоровья».

Для выявления особенностей пищевого рациона студентов было проведено анкетирование с применением «Вопросника анализа частоты потребления пищи» [4].

Исследование проводилось в рамках научно-исследовательской работы лаборатории медико-биологических исследований "Vita" Арзамасского филиала ННГУ при информированном согласии обследованных и с соблюдением четких критериев исключения (наличие на момент обследования острых или обострения хронических заболеваний, беременности, а также отказ от обследования).

По результатам обследования создана персонафицированная база данных, статистическая обработка которых проводилась с использованием программ офисного пакета “EXCEL v8.00” и “Version 4.03 Primer of Biostatistics”. Для выполнения задач исследования применяли методы вариационной статистики (вычисление средней арифметической (M) и стандартного отклонения ( $\sigma$ ), метод оценки достоверности результатов (критерий Стьюдента, критерий  $\chi^2$ ) с доверительным интервалом  $p \leq 0,05-0,001$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** На основании данных обследований и тестирования получили характеристику ФЗ студентов:

- высокий уровень ФЗ имеют 5,3% юношей и 6,9% девушек;
- хороший уровень ФЗ – 27,8% юношей и 29,1% девушек;
- средний уровень ФЗ – 47,2% юношей и 53,1% девушек;
- с низким уровнем ФЗ выявлено 19,6% юношей и 10,8% девушек ( $\chi^2=14,3$ ;  $p=0,0026$ ).

Таблица 1

Качество питания у юношей с разным уровнем фитнес-здоровья, M $\pm$  $\sigma$

Показатели (норма в сутки)		Низкий уровень ФЗ (1 группа)	Средний уровень ФЗ (2 группа)	Хороший уровень ФЗ (3 группа)	Высокий уровень ФЗ (4 группа)	Все юноши
Калорийность Норма – 2450 ккал	M $\pm$ $\sigma$	2969,5 $\pm$ 287	2765,8 $\pm$ 361	2718,5 $\pm$ 377,7	2709,7 $\pm$ 133,7	2857,1 $\pm$ 364,2
	$\pm\Delta$	21,2%	12,9%	10,9%	10,6%	16,6%
	St.		+	*	v	
Белки Норма – 72 г	M $\pm$ $\sigma$	89,7 $\pm$ 13,2	84,0 $\pm$ 12,8	105,8 $\pm$ 14,8	112,8 $\pm$ 9,7	93,3 $\pm$ 16,4
	$\pm\Delta$	24,6%	16,7%	46,9%	56,6%	29,6%
	St.		+	*o	v□x	
Жиры Норма – 81 г	M $\pm$ $\sigma$	108,9 $\pm$ 18,1	107,7 $\pm$ 22,4	125,9 $\pm$ 17,7	134,4 $\pm$ 10,6	114,7 $\pm$ 21,7
	$\pm\Delta$	34,4%	33,0%	55,4%	65,9%	41,6%
	St.			*o	v□x	
Холестерин	M $\pm$ $\sigma$	1,80 $\pm$ 0,53	1,50 $\pm$ 0,55	1,40 $\pm$ 0,55	1,15 $\pm$ 0,43	1,51 $\pm$ 0,56
	St.		+	*	vx	
Насыщенные жиры	M $\pm$ $\sigma$	102,7 $\pm$ 22,5	90,8 $\pm$ 27,4	89,0 $\pm$ 19,1	90,4 $\pm$ 15,6	92,1 $\pm$ 24,7
	St.		+	*	v	
МНЖК	M $\pm$ $\sigma$	109,8 $\pm$ 25,7	109,9 $\pm$ 36,9	107,3 $\pm$ 20,6	109,0 $\pm$ 15,8	109,0 $\pm$ 29,6
	St.					
ПНЖК	M $\pm$ $\sigma$	63,1 $\pm$ 23,7	78,6 $\pm$ 50,8	71,0 $\pm$ 23,8	86,7 $\pm$ 20,6	73,9 $\pm$ 38,1
	St.		+	*	v□	
Углеводы Норма – 358 г	M $\pm$ $\sigma$	408,6 $\pm$ 51,2	364,4 $\pm$ 61,6	280,3 $\pm$ 90,6	240,6 $\pm$ 33,6	341,7 $\pm$ 86,6
	$\pm\Delta$	14,1%	1,8%	-21,7%	-32,8%	-4,5%
	St.		+	*o	v□x	
Простые углеводы	M $\pm$ $\sigma$	178,0 $\pm$ 34,1	165,7 $\pm$ 46,1	131,1 $\pm$ 53,4	112,3 $\pm$ 24,2	154,6 $\pm$ 49,2
	St.		+	*o	vx	
Полисахариды	M $\pm$ $\sigma$	232,6 $\pm$ 37,2	201,9 $\pm$ 35,2	150,0 $\pm$ 49,2	128,7 $\pm$ 23,5	188,6 $\pm$ 51,5
	St.		+	*o	vx	

Примечание (к этой и последующей таблице): ФЗ – фитнес-здоровье; МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты; ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты;  $\pm\Delta$  – разница между нормой и фактическим показателем; St. – показатели статистики (по критерию Стьюдента); + – стат. достоверность различий между 1 и 2 группами; \* – стат. достоверность между 1 и 3 группами; v – стат. достоверность между 1 и 4 группами; o – стат. достоверность между 2 и 3 группами; x – стат. достоверность между 2 и 4 группами; □ – стат. достоверность между 3 и 4 группами

Таблица 2

Качество питания у девушек с разным уровнем фитнес-здоровья, М±σ

Показатели (норма в сутки)		Низкий уровень ФЗ (1 группа)	Средний уровень ФЗ (2 группа)	Хороший уровень ФЗ (3 группа)	Высокий уровень ФЗ (4 группа)	Все девушки
Калорийность Норма – 2000 ккал	M±σ	2503,1±287,2	2388,0±278,5	2160,7±370,7	2079,5±103,3	2306,3±330,4
	±Δ	25,1%	19,4%	8,0%	3,9%	15,3%
	St.		+	*o	vх	
Белки Норма – 61 г	M±σ	75,6±14,3	74,8±12,5	88,2±15,6	84,1±1,7	79,6±14,8
	±Δ	23,9%	22,6%	44,6%	37,9%	30,5%
	St.			*o	vх	
Жиры Норма – 67 г	M±σ	100,6±24,7	94,7±18,3	110,6±27,0	116,8±33,2	101,9±25,1
	±Δ	50,1%	41,3%	65,1	74,3%	52,0%
	St.			*o	vх	
Холестерин	M±σ	1,55±0,47	1,31±0,62	0,97±0,55	0,91±0,37	1,19±0,60
	St.		+	*	vх	
Насыщенные жиры	M±σ	88,1±26,4	74,6±24,3	69,9±22,3	64,9±17,3	73,7±24,1
	St.		+	*o	vх	
МНЖК	M±σ	102,4±26,0	93,4±29,6	87,2±33,6	82,9±18,8	91,5±30,5
	St.		+		vх	
ПНЖК	M±σ	55,9±27,6	60,7±34,8	66,3±42,2	72,8±24,4	62,7±36,2
	St.				vх	
Углеводы Норма – 289 г	M±σ	340,0±48,0	317,0±48,8	227,1±57,8	211,5±42,5	283,9±69,2
	±Δ	17,6%	9,7%	-21,4%	-26,8%	-1,8%
	St.		+	*o	vх	
Простые углеводы	M±σ	155,3±34,2	145,9±36,7	108,3±44,6	101,2±29,4	133,3±42,6
	St.			*o	vх	
Полисахариды	M±σ	186,2±45,0	172,0±32,5	117,6±29,3	109,9±28,8	151,8±44,0
	St.		+	*o	vх	

В соответствии с разработанными нормами ГУ НИИ питания РАМН (руководитель работ – академик РАМН В.А. Тутельян, 2008) энергетическая потребность для студентов должна составлять 2450 ккал для юношей и 2000 ккал для девушек (для I группы – работники преимущественно умственного труда: государственные служащие административных органов и учреждений, научные работники, преподаватели вузов, колледжей, учителя средних школ, студенты и др.) [7].

По результатам анкетирования была определена калорийность суточного рациона студентов, среднее значение которой у юношей составило 2757,1 ккал (min 1994,4 ккал – max 5597,6 ккал), у девушек – 2306,3 ккал (min 1132,1 ккал – max 5361,4 ккал).

В таблицах 1, 2 представлено распределение студентов по качеству питания

(калорийность, количество белков, жиров и углеводов) в зависимости от уровня ФЗ.

Калорийность суточного рациона у студентов выше нормы (на 16,6% у юношей и на 15,3% у девушек). При этом можно отметить, что чем выше уровень ФЗ, тем ниже калорийность питания (в большей степени у девушек), т.е. чрезмерно калорийное питание характерно для студентов с низким уровнем ФЗ (табл. 1, табл. 2).

**Заключение.** Таким образом, в ходе исследования мы сделали следующие выводы:

1. Половина студентов (50,4%) имеют средний уровень ФЗ, среди которых девушек на 5,9% больше, чем юношей.

2. Рацион питания обследованных студентов значительно отличается от нормы и характеризуется повышенными значениями калорийности, количества белков и

жиров на фоне снижения доли углеводов. Аналогичная структура питания выявлена многими исследователями [8-9]. Например, Блинова Е.Г., Павлова Е.В. (2020) выявили следующие значения показателей студентов Омского медицинского университета: калорийность выше нормы на 14% у юношей и 28% у девушек; количество белка выше нормы на 32,6% и 18,9% соответственно; количество жира

выше на 51,1% и 40,9%; количество углеводов ниже на 27,9% и 26,8% соответственно [8].

3. Сравнительный анализ показателей фактического питания показал, что для поддержания ФЗ на высоком уровне рацион питания должен быть менее углеводным по сравнению с нормами, а также с более высоким содержанием белка и жиров (полиненасыщенных).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент N 2754651 Российская федерация, МПК А61В 5/00 (2006.01), А61В 5/22 (2006.01). Способ оценки уровня фитнес-здоровья: N 2020135996 : заявлено 02.11.2020 : опубл. 06.09.2021 / Михайлова С. В., Красникова Л. И., Хрычева Т. В. [и др.]
2. Дейкарханян, Д. Т. Занятия фитнесом как образ жизни / Д. Т. Дейкарханян, И. Ю. Головинова // Наука-2020. – 2021. – № 8(53). – С. 48-53.
3. Шестаков, М. М. Планирование нагрузок в фитнесе с учетом калорийности питания занимающихся / М. М. Шестаков, Ж. Г. Аникиенков // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2016. – № 3. – С. 44-49.
4. Мартинчик, А. Н. Питание человека (Основы нутрициологии) / А. Н. Мартинчик, И. В. Маев, А. Б. Петухов. – М.: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2002. – 576 с.
5. Здоровье студентов: социологический анализ / Отв. ред. И. В. Журавлева; Институт социологии РАН. – М., 2012. – 252 с.
6. Оказание медицинской помощи взрослому населению в Центрах здоровья. Методические рекомендации. – М.: ФГБУ «ГНИЦПМ», 2012. – 109 с.
7. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ. Методические рекомендации. – М.: ФЦГЭ Роспотребнадзора, 2009. – 72 с.
8. Аминова, О. С. Оценка фактического питания и пищевого статуса студентов / О. С. Аминова, Ю. Е. Уварова, Н. Н. Тятенкова // В мире научных открытий. – Т. 9. – № 1. – 2017. – С.66-77.
9. Блинова, Е. Г. Гигиеническая оценка фактического питания студентов медицинского вуза / Е. Г. Блинова, Е. В. Павлова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – № 6. – С. 40-44.

#### REFERENCES

1. Mihajlova S.V., Krasnikova L.I., Khrycheva T.V., Deryugina A.V., Sidorova T.V., Polyakova T.A., Zhizhenina L.M. Way to evaluate health and fitness. Patent for invention RU 2754651 C1, 2021. (in Russ.)
2. Dejkarhanyan D.T., Golovinova I.Yu. Fitness classes as the way of life. *Nauka-2020*, 2021, no. 8(53), pp. 48-53. (in Russ.)
3. Shestakov M.M., Anikienkov Zh.G. Planning of loads in fitness taking into account students' caloric value. *Physical Education, Sport – Science and Practice*, 2016, no. 3, pp. 44-49. (in Russ.)
4. Martinchik A.N., Maev I.V., Petuhov A.B. Human nutrition (Basics of nutritional science). Moscow: All-Russian Research and Training Center for Continuing Medical and Pharmaceutical Education, 2002. 576 p. (in Russ.)
5. Health of students: a sociological analysis. Responsible editor: I.V. Zhuravleva. Moscow: Sociological Institute of the RAS, 2012. 252 p. (in Russ.)
6. Giving medical aid to adult population in Health Centers. Methodological guidelines. Moscow: State Research Centre for Preventive Medicine, 2012. 109 p. (in Russ.)
7. References of physiological needs for energy and nutrients for different groups of Russia. Methodological guidelines. Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor. 72 p. (in Russ.)
8. Aminova O.S., Uvarova Yu.E., Tyatenkova N.N. Estimating dietary intake and nutritional status of students. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2017, vol. 9, no. 1, pp. 66-77. (in Russ.)
9. Blinova, E.G., Pavlova E.V. Hygienic assessment of actual nutrition of students of medical university. *International journal of applied and fundamental research*, 2020, no. 6, pp. 40-44. (in Russ.)

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Светлана Владимировна Михайлова** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физической культуры, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Арзамасский филиал, Арзамас, e-mail: fatinia\_m@mail.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Svetlana Vladimirovna Mikhajlova** – Candidate of Biological Sciences, Professor of the Department of Physical Education, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Arzamas Branch, Arzamas, e-mail: fatinia\_m@mail.ru.

**Для цитирования:** Михайлова, С. В. Влияние качества питания на фитнес-здоровье студентов / С. В. Михайлова // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_33

**For citation:** Mikhajlova S.V. Impact of diet quality on students' fitness and health. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_33

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_34  
УДК 159.9; 612; 796

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_34  
UDC 159.9; 612; 796

## **ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОЗИРОВАННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СТУДЕНТОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ В СПОРТИВНЫХ СЕКЦИЯХ И НА ЭЛЕКТИВНЫХ ЗАНЯТИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ**

**Ф.В. Салугин<sup>1,2</sup>, М.Х. Спатаева<sup>3</sup>, А.Ю. Шредер<sup>1,2</sup>, Д.В. Земкаюс<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Омский государственный медицинский университет, г. Омск, Россия

<sup>2</sup>Омский автобронетанковый инженерный институт, г. Омск, Россия

<sup>3</sup>Сибирский автомобильно-дорожный университет, г. Омск, Россия

**Аннотация.** Реакция функциональной системы на физическую нагрузку в условиях занятий физической культурой и спортом различна, что является свидетельством множества исследований. Мнения относительно вопросов благотворного и негативного влияния спорта на организм также разнятся, иногда в оценке воздействия физической нагрузки на организм они бывают абсолютно полярны. В условиях образовательного процесса значимым является здоровьесберегающий аспект подготовки студентов, в связи с этим актуальной явилась оценка воздействия на организм средств физической культуры и спорта. Цель исследования: анализ влияния дозированной физической нагрузки на функциональное и психоэмоциональное состояние студентов, занимающихся в спортивных секциях и на элективных занятиях физической культурой. Установлено, что спорт превосходит физическую культуру положительным влиянием на функциональное и психоэмоциональное состояние организма. Адаптация организма спортсменов к изменяющимся условиям внешней среды гораздо выше, чем у студентов, занимающихся физической культурой. Это подтверждается результатами исследования кардиореспираторной системы и психоэмоциональной сферы студентов.

**Ключевые слова:** физическая культура, спорт, функциональное состояние, двигательная функция, психоэмоциональное состояние.

## **EFFECT OF DOSED PHYSICAL ACTIVITY ON THE FUNCTIONAL AND PSYCHOEMOTIONAL STATE OF STUDENTS ENGAGED IN SPORTS SECTIONS AND ELECTIVE PHYSICAL EDUCATION CLASSES**

**F.V. Salugin<sup>1,2</sup>, M.Kh. Spataeva<sup>3</sup>, A.Yu. Schroeder<sup>1,2</sup>, D.V. Zemkayus<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Omsk State Medical University, Omsk, Russia

<sup>2</sup>Omsk Armored Engineering Institute, Omsk, Russia

<sup>3</sup>Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

**Annotation.** The functional system's response to physical activity in conditions of physical culture and sports is different, being an evidence of many studies. Opinions regarding the beneficial and negative effects of sports on the body also differ, however sometimes they are absolutely polar in terms of assessing the impact of physical activity on the body. In the context of the educational process, the health-preserving aspect of student training is significant. In connection with this, the assessment of the impact of physical culture and sports means on the body is of great relevance. The purpose of the study: an analysis of the impact of physical culture and sports on the functional and psychoemotional state of students. We have found that sport has a positive effect on the functional and psychoemotional state. The level of adaptation of the body of athletes to changing environmental conditions is much higher than that of students involved in physical education classes. This is confirmed by the results of the study of the cardiorespiratory system and the psychoemotional sphere of students.

**Keywords:** physical culture, sport, functional state, motor function, psychoemotional state.

**Введение.** На протяжении длительного времени спорт считается здоровьесберегающим фактором, ключом к сохранению стабильного психоэмоционального фона и повышению стрессоустойчивости организма. Здоровье определяется не только гармоничностью физического и психического развития, но и успешностью освоения образовательных программ, устойчивостью психоэмоционального фона, плодотворностью в работе, составляющей основу жизненного благополучия человека. Двигательная активность оказывает воздействие на все системы организма, совершенствуя их функции и повышая адаптационные возможности как отдельных систем, так и всего организма в целом [1]. Подчеркивая значимость двигательной активности, ученые из шведских научных центров по итогу 18-летнего исследования контрольной группы из 1810 пациентов в возрасте старше 75 лет пришли к выводу о том, что здоровый образ жизни и физическая активность являются одними из важнейших факторов, обуславливающих долголетие [2].

Однако существует и другое мнение, выражающееся в том, что в ходе занятий спортом при повышении физической нагрузки появляются патологические изменения со стороны функциональных систем организма, в частности со стороны сердечно-сосудистой системы [3-6].

Цель исследования: анализ влияния дозированной физической нагрузки на функциональное и психоэмоциональное состояние студентов, занимающихся в спортивных секциях и на элективных занятиях физической культурой.

**Методы и организация исследования.** В исследовании принимали участие две группы студентов ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» (ОмГМУ) по 15 человек в каждой. В первой группе были студенты, регулярно посещающие практические учебные занятия в рамках дисциплины «Элективные курсы по физической культуре и спорту». Вторая группа включала студентов, занимающихся в спортивных секциях вуза (бадминтон, волейбол,

баскетбол и гиревой спорт). Все испытуемые мужского пола, охваченный возрастной период – 18-23 года, основная группа допуска к занятиям физической культурой и спортом. Основные задачи подготовки студентов в исследованных группах различались целью и содержанием занятий. Так, в учебных группах преобладал процесс, направленный на повышение физической подготовленности и пополнение резерва здоровья, а в спортивных секциях направленность занятий была преимущественно учебно-тренировочной, предполагающей повышение спортивного результата.

Для определения воздействия физической нагрузки на организм студентов были исследованы некоторые параметры: индекс массы тела (ИМТ); показатели сердечно-сосудистой системы (ССС) в покое и при физической нагрузке с помощью тонометра (OMRON M2, Basic HEM-7121-RU); определялись вегетативный индекс Кердо (ВИК), коэффициент выносливости (КВ) и индекс функциональных изменений Адамовича (ИФИ); показатели дыхательной системы по пробе Штанге. Также изучалась ситуативная и личностная тревожность по Шкале тревоги Спилбергера-Ханина (STAI).

Статистический анализ результатов исследования проводился с использованием пакета стандартных статистических программ Microsoft Excel. Для обработки полученных в исследовании данных применялись методы математической статистики, включающие расчет среднего арифметического ( $\bar{X}$ ), среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ). Достоверность различий оценивалась по t-критерию Стьюдента при 5% уровне значимости.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Расчет ИМТ показывает соотношение между ростом человека и его массой, с его помощью оценивалось наличие избыточной массы тела или его дефицита. Исследование ИМТ показало соответствие массы тела испытуемых обеих групп нормам физического развития. Достоверных различий в исследованных параметрах не установлено (табл. 1).

Таблица 1

Результаты исследования индекса массы тела студентов ОмГМУ,  $X \pm \delta$

Показатель	Студенты, занимающиеся ФК (n=15)	Студенты, занимающиеся спортом, n=15	$P \geq$
ИМТ	23±4,4	23±2,7	0,05

Примечание: ФК – физическая культура; ИМТ – индекс массы тела

Одним из показателей тренированности и функционального состояния сердечно-сосудистой системы является частота сердечных сокращений (ЧСС). Особенно информативен этот показатель в случае воздействия на организм дозированной физической нагрузкой, что применялось в ходе исследования.

Границы нормы ЧСС в покое у молодых мужчин составляет 70-75 уд/мин. Анализ показателей ЧСС в исследованных группах свидетельствует о превышении границы нормы у юношей, занимающихся в обеих исследованных группах, однако у спортсменов этот показатель ниже.

Таблица 2

Результаты исследования частоты сердечных сокращений студентов до и после физической нагрузки у студентов ОмГМУ,  $X \pm \delta$

Показатель		Студенты занимающиеся ФК, (n=15)	Студенты занимающиеся спортом (n=15)	P
ЧСС, уд/мин	до нагрузки	82±15,9	78±15,1	$\geq 0,05$
	после нагрузки	120±18,1	103±20,5	$\leq 0,05$

Примечание: ФК – физическая культура; ЧСС – частота сердечных сокращений

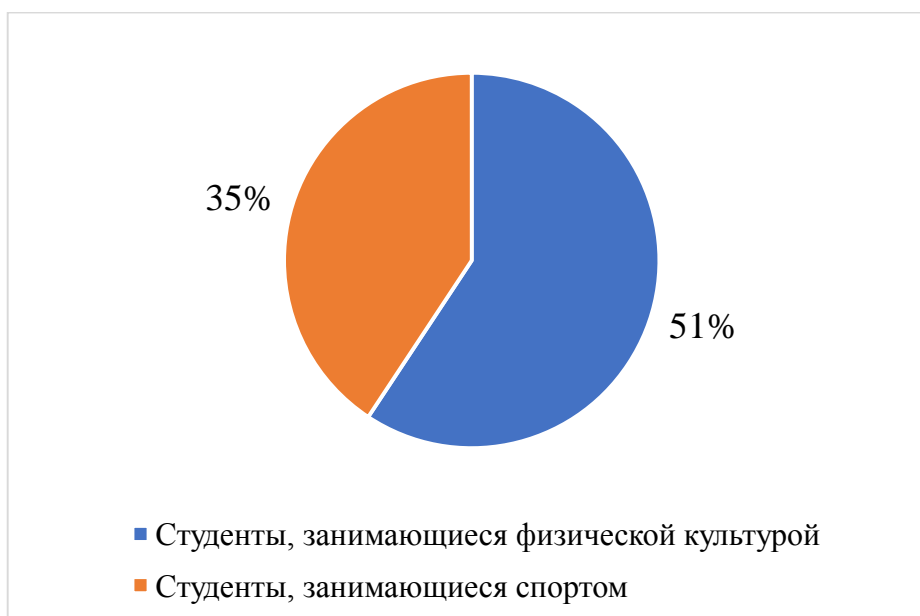


Рис.1 Процент учащения частоты сердечных сокращений после физической нагрузки в исследованных группах

Исследование реакции организма на физическую нагрузку показало, что до воздействия дозированной физической нагрузки у лиц, занимающихся физической культурой, исходные показатели ЧСС были

выше, чем у спортсменов. Реакция организма на физическую нагрузку также более выражена у лиц, занимающихся физической культурой, чем у спортсменов. Так, в ответ на физическую нагрузку у студентов,



занимающихся элективной физической культурой, ЧСС составила 120 уд/мин., а у спортсменов – 103 уд/мин (табл. 2). Процент учащения ЧСС после физической нагрузки представлен на рисунке 1.

Таким образом исследование ЧСС показывает, что на дозированную физическую нагрузку у студентов, занимающихся спортом, реакция ниже, тогда как у студентов, занимающихся физической культурой, установлено резкое повышение ЧСС в ответ на физическую нагрузку ( $p \leq 0,05$ ) (табл. 2).

Для диагностики функционального состояния сердечно-сосудистой системы также применялась дозированная

физическая нагрузка, и определялись ВИК, КВ, а также ИФИ.

ВИК дает косвенную характеристику вагосимпатического баланса в организме, не раскрывая его механизмы. Результаты исследования ВИК показали, что в обеих исследованных группах до и после физической нагрузки доминирует симпатический отдел вегетативной нервной системы. Исключение составляет 6% студентов в группе занимающихся физической культурой и 26% студентов, занимающихся спортом. Достоверных различий в исследованных показателях обеих групп не установлено. Признаков эйтонии в обеих исследованных группах не отмечено (рис. 2).

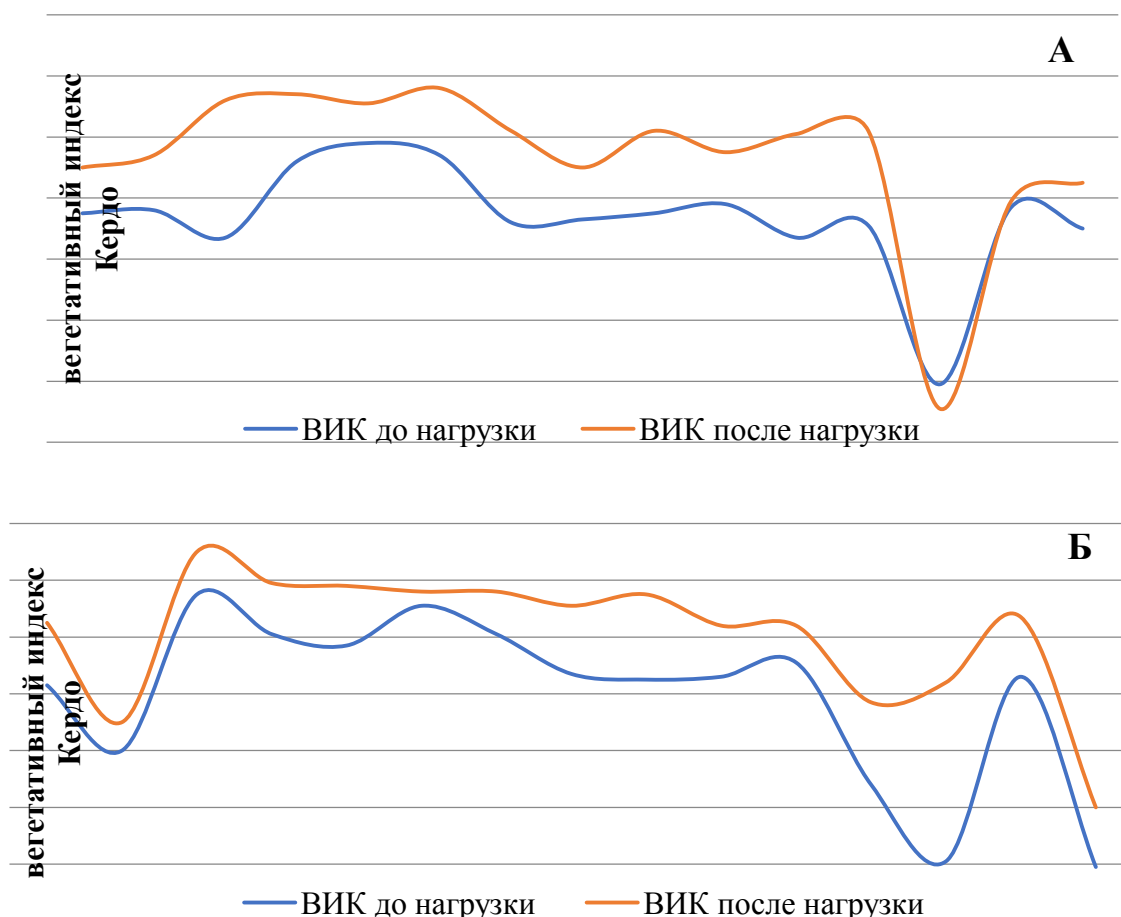


Рис. 2 Показатели исследования индекса Кердо

Примечание: А – студенты, занимающиеся физической культурой, Б – студенты, занимающиеся спортом; показатели от 1-15 по оси абсцисс – количество измерений; ВИК – вегетативный индекс Кердо

Выносливость является многофункциональным свойством человека, которое интегрирует в себе многочисленные процессы, происходящие на различных физиологических уровнях: от клеточного и до всего организма в целом. Ведущая роль в проявлениях выносливости принадлежит сердечно-сосудистой, дыхательной и центральной нервной системам. С усилением утомления, как правило, ухудшается функциональное состояние ССС.

Коэффициент выносливости у студентов, занимающихся физической культурой, до применения дозированной физической нагрузки составляет 18 усл.ед., что

указывает на снижение возможностей системы кровообращения, а после дозированной физической нагрузки возрастает до 23 усл.ед. Различия в показателях, наблюдаемых до воздействия физической нагрузки на организм, в обеих группах недостоверны (табл. 3).

В группе юношей, занимающихся в спортивных секциях, КВ до и после дозированной физической нагрузки составил 15 усл.ед., что указывает на усиление функциональных возможностей системы кровообращения. КВ, исследованный после физической нагрузки на организм в обеих группах, достоверно различается (табл. 3).

Таблица 3

Показатели коэффициента выносливости у студентов ОмГМУ до и после физической нагрузки,  $X \pm \delta$

Показатель		Студенты, занимающиеся ФК (n=15)	Студенты, занимающиеся спортом (n=15)	P
КВ	до нагрузки	18±5,7	15±3,2	≥0,05
	после нагрузки	23±6,1	15±5,3	≤0,05

Примечание: ФК – физическая культура; КВ – коэффициент выносливости

Полученные данные, на наш взгляд, указывают на стабильность показателей сердечно-сосудистой системы у студентов, занимающихся спортом. Показатели лиц, занимающихся физической культурой, подвержены изменениям, которые проявляются в условиях изменения двигательного режима.

ИФИ является интегральным показателем, который отражает многогранную систему функциональных взаимодействий,

характеризующих уровень функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Также ИФИ позволяет количественно оценить уровень здоровья.

Исследование функциональных изменений организма студентов, занимающихся физической культурой и спортом, до и после физической нагрузки показывает удовлетворительные функциональные возможности системы кровообращения с умеренным напряжением механизмов регуляции (табл. 4).

Таблица 4

Исследование функциональных изменений системы кровообращения у студентов ОмГМУ,  $X \pm \delta$

Показатель		Студенты, занимающиеся ФК (n=15)	Студенты, занимающиеся спортом (n=15)	P <sub>≥</sub>
ИФИ	до нагрузки	3±0,84	3±0,41	0,05
	после нагрузки	3±0,35	3±0,47	0,05

Примечание: ФК – физическая культура; ИФИ – индекс функциональных изменений

Детальный анализ ИФИ указывает на хорошие функциональные возможности кровообращения у 33% студентов, занимающихся физической культурой, у спортсменов – 53%. Полученные данные свидетельствуют о том, что механизмы адаптации устойчивы, действия неблагоприятных факторов студенческого образа жизни успешно компенсируются мобилизацией внутренних резервов организма. Возможно, это объясняется благоприятным воздействием эмпирически подобранных профилактических мероприятий (увлечение спортом, рациональный режим работы и отдыха, правильное питание и т.д.) (рис. 3).

Удовлетворительные функциональные возможности системы кровообращения с умеренным напряжением механизмов

регуляции установлены у 40% студентов, регулярно посещающих занятия по физической культуре, и 47% студентов, занимающихся спортом. Анализ данных показывает, что это категория лиц, имеющих скрытые или неявно выраженные нарушения процессов адаптации, которые восстанавливаются с помощью нелекарственной коррекции, компенсирующих недостаточность или слабость внутреннего звена саморегуляции функций (рис. 3).

Сниженные функциональные возможности системы кровообращения, наличие выраженных нарушений процессов адаптации обнаруживаются в результате анализа данных у 27% студентов в группе занимающихся физической культурой. В группе спортсменов подобные данные не установлены (рис. 3).

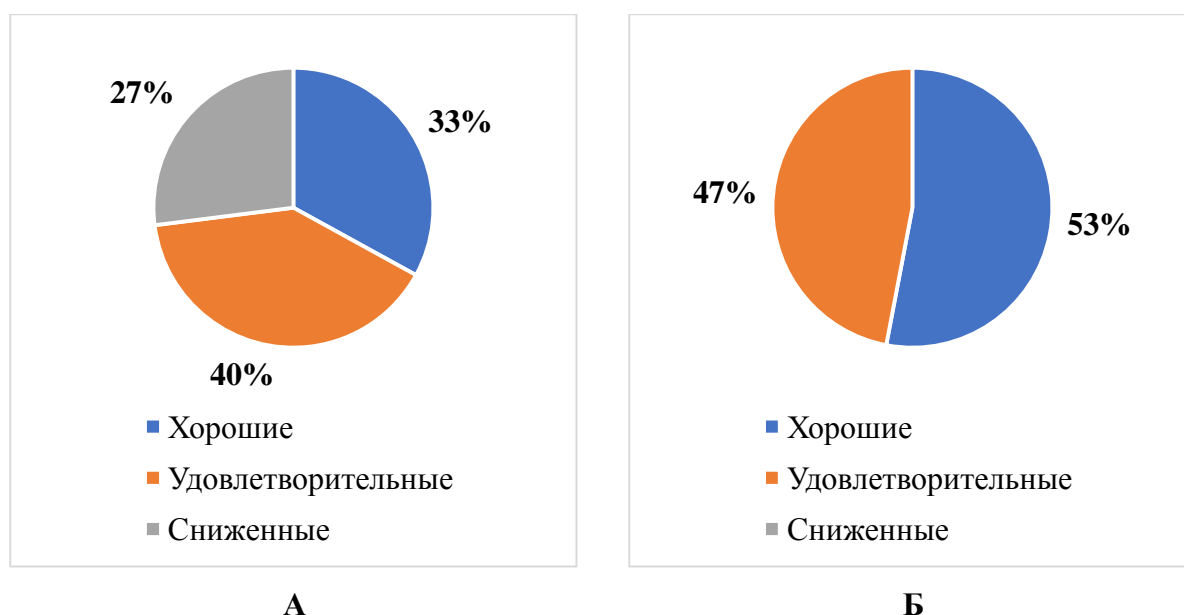


Рис. 3. Процентное соотношение функциональных возможностей кровеносной системы студентов до физической нагрузки

Примечание: А – студенты, занимающиеся физической культурой, Б – студенты, занимающиеся спортом

Анализ ИФИ после дозированной физической нагрузки у студентов, занимающихся физической культурой, указывает на резкое смещение результатов исследования до 73% в сторону сниженных, недостаточных функциональных возможностей системы кровообращения. Не было

выявлено студентов с хорошими функциональными возможностями кровообращения. Удовлетворительные функциональные возможности системы кровообращения с умеренным напряжением механизмов регуляции отмечены у 27% обследованных указанной группы (рис. 4).

У спортсменов после дозированной физической нагрузки представители с хорошими функциональными возможностями кровообращения не установлены. Однако отмечается большое количество лиц (73%) с удовлетворительными функциональными

возможностями системы кровообращения, с умеренным напряжением механизмов регуляции. Сниженные, недостаточные функциональные возможности системы кровообращения обнаруживаются у 27% обследованных спортсменов.

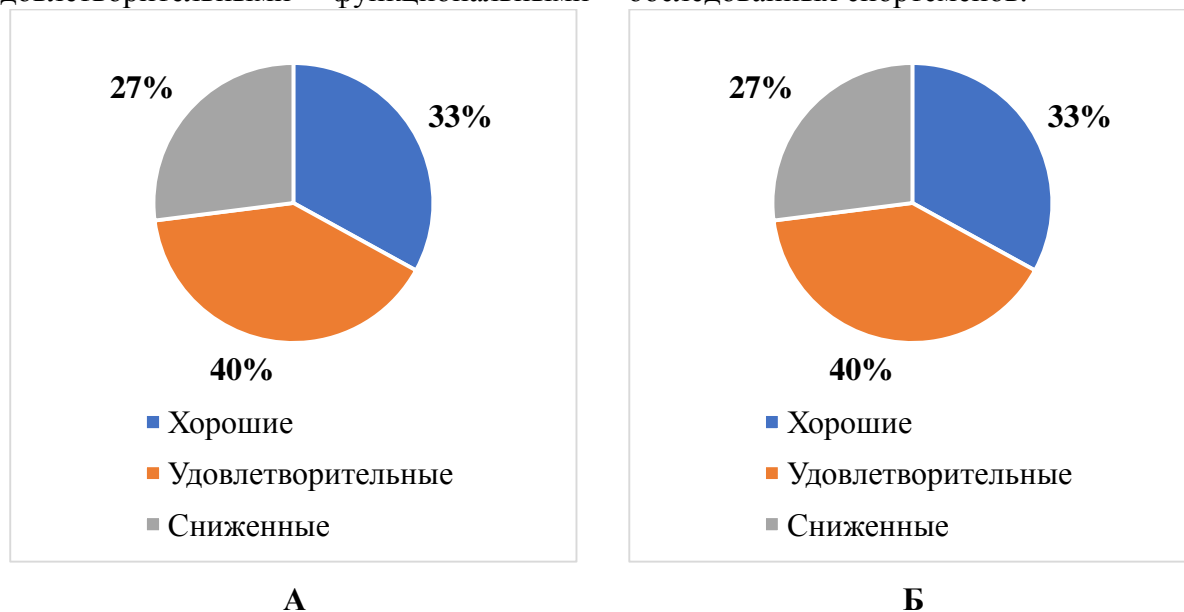


Рис. 4. Процентное соотношение функциональных возможностей кровеносной системы студентов после физической нагрузки

Примечание: А – студенты, занимающиеся физической культурой, Б – студенты, занимающиеся спортом

Анализ результатов исследования сердечно-сосудистой системы позволяет заключить, что у студентов, занимающихся спортом, напряжение системы кровообращения гораздо ниже, чем у лиц, занимающихся физической культурой. Мы полагаем, что это результаты адаптации организма спортсменов к регулярным напряжениям функциональных систем, близким по интенсивности физической нагрузки к «большой» и «максимальной» зонам. На наш взгляд, это воздействие постепенно вызывает снижение порога

чувствительности к физической нагрузке и повышает адаптационные возможности организма.

Одним из критериев, по которым судят о функциональном состоянии дыхательной системы, является ее переносимость гипоксии. Для диагностики функционального состояния дыхательной системы применялась проба Штанге. Анализ полученных данных показал достоверные различия функциональных возможностей дыхательной системы у студентов исследованных групп (табл. 5) ( $p \leq 0,05$ ).

Таблица 5

Результаты исследования дыхательной системы у студентов ОмГМУ,  $X \pm \delta$

Показатель	Студенты, занимающиеся ФК (n=15)	Студенты, занимающиеся спортом (n=15)	$P \leq$
Проба Штанге, с	$53 \pm 10,2$	$74 \pm 16,8$	0,05

Примечание: ФК – физическая культура

Оценка результатов исследования дыхательной системы показала, что у 47% студентов, занимающихся физической культурой, отмечается слабая функциональная подготовленность, у 53% отмечен средний уровень. Необходимо отметить, что показатели варьируют в пределах нормы для лиц, не занимающихся спортом. У спортсменов все изученные показатели варьируют в пределах хорошей функциональной подготовленности организма и соответствуют показателям лиц, занимающихся спортом.

Ситуативная или реактивная тревожность – это состояние, характеризующееся субъективно переживаемыми эмоциями: беспокойством, напряжением, нервозностью. Это состояние возникает как ответ на стрессовую ситуацию и может быть разным по интенсивности и динамичности во времени.

Анализ показателей ситуативной тревожности у студентов, занимающихся физической культурой, показывает высокую тревожность у 7% исследованных. У 67% студентов установлена умеренная тревожность, а у 27% – низкий уровень тревожности. В отличие от указанной группы у спортсменов не установлено ни одного случая проявления высокого уровня тревожности, у 20% отмечается умеренный уровень ситуативной тревожности, а у 80% – низкий уровень тревожности.

Также была проанализирована личностная тревожность, под которой понимается индивидуальная характеристика, отражающая предрасположенность человека к тревоге и предполагающая наличие у него тенденции воспринимать достаточно широкий спектр ситуаций как угрожающие, отвечая на каждую из них определенной реакцией. Как предрасположенность, личностная тревожность активизируется при восприятии определенных стимулов, расцениваемых человеком как опасные для самооценки, самоуважения. Так, анализ полученных результатов у студентов, занимающихся физической культурой, показывает высокую личностную тревожность у 7% исследованных, у 60% отмечается умеренная тревожность, а у 33% студентов – низкий уровень тревожности. В группе спортсменов не обнаружено лиц с высоким уровнем личностной тревожности. Умеренный уровень отмечается у 47% исследованных, а у 53% – низкий уровень тревожности.

Средние значения показателей психоэмоционального состояния студентов обеих групп представлены в таблице 6. Различия в показателях ситуативной тревожности у студентов обеих групп достоверны ( $p \leq 0,05$ ). Различия, установленные в показателях личностной тревожности, недостоверны (табл. 6).

Таблица 6

Исследование психоэмоционального состояния студентов ОмГМУ,  $X \pm \delta$

Показатель	Студенты, занимающиеся ФК (n=15)	Студенты, занимающиеся спортом (n=15)	P
Ситуативная тревожность, баллы	34±8,4	26±4,2	≤0,05
Личностная тревожность, баллы	34±7,9	30±3,4	≥0,05

Примечание: ФК – физическая культура

Анализ полученных результатов указывает на то, что занятия спортом снижают ситуативную тревожность. Можно предположить, что спорт, в отличие от физической культуры, обладает возможностями психоэмоциональной разгрузки, снижающими негативную реактивность организма и повышающими его стрессоустойчивость.

**Заключение.** Таким образом, проведенное исследование показывает, что уровень функционального состояния кардиореспираторной системы спортсменов гораздо выше, чем у лиц, занимающихся физической культурой. Ситуативная и личностная тревожность значительно ниже у спортсменов.

Полученные данные позволяют заключить, что занятия спортом положительно влияют на снижение ситуативной тревожности у студентов, что повышает их стрессоустойчивость. Оптимальное психоэмоциональное состояние позволяет

справиться с трудностями обучения, обработки большого количества образовательной информации, повышает позитивный настрой студентов к реализации требований учебного процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зыкун, Ж. А. Значимость физической культуры для студентов в современном мире / Ж. А. Зыкун, А. И. Конон // Молодой ученый. – 2018. – № 46 (232). – С. 412-415.
2. Роль нарушений вегетативного равновесия в развитии патологии при высоких физических нагрузках в детско-юношеском спорте (обзор литературы) / Пономарева А. Г., Кривошапов М. В., Лакшин А. М. [и др.] / Вестник спортивной науки. – 2018. – № 2. – С. 37-41.
3. Володина, И. В. Профилактика травматизма, заболеваний и отрицательных реакций организма при занятиях физическими упражнениями и спортом / И. В. Володина, М. В. Любин // В сборнике: Инновационное развитие строительного комплекса региона: задачи, состояние, перспективы. Материалы I Всероссийской научно-практической конференции Себряковского филиала ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» и Горного института Национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов», 2018. – С. 231-236.
4. Магомедов, С. Р. Частота и длительность некоторых заболеваний при занятиях физической культурой и спортом у лиц молодого возраста / С. Р. Магомедов, Д. Ю. Гасанов, З. М. Запиров // В сборнике: Актуальные вопросы эндокринологии. Материалы V Республиканской научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню щитовидной железы. Под редакцией К.Г. Камалова, М.Г. Атаева. 2018. – С. 133-136.
5. Роль нарушений вегетативного равновесия в развитии патологии при высоких физических нагрузках в детско-юношеском спорте (обзор литературы) / Пономарева А. Г., Кривошапов М. В., Лакшин А. М. [и др.] / Вестник спортивной науки. – 2018. – № 2. – С. 37-41.
6. Трунов, В. Д. Роль спорта в формировании здорового общества в современном мире / В. Д. Трунов, Л. В. Харламова // В сборнике: Сборник материалов международных

научно-практических конференций. Материалы конференции. Редактор Я.А. Коротких. – 2019. – С. 69-71.

#### REFERENCES

1. Zykun J.A. Konon A.I. The importance of physical culture for students in the modern world. *Young Scientist*, 2018, no. 46 (232), pp. 412-415. (in Russ.)
2. Semenova N.V., Vasilevskaya E.S., Denisov Yu.P., Avdeev D.B. Youth healthy lifestyle (from the entrant of higher education institution to the expert). *Modern problems of science and education*, 2015, no. 1-1. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18225> (accessed 14.02.2023). (in Russ.)
3. Volodina I.V., Lyubin M.V. Prevention of injuries, diseases and negative reactions of the body during physical activity and sports. From the collection: *Innovative Development of the Construction Sector of the Region: Tasks, Status, Prospects*. Materials of the I All-Russian Scientific and Practical Conference of the Sebyakovskij branch of the Volgograd State Technical University and the Mining Institute of the National University of Science and Technology. 2018. pp. 231-236. (in Russ.)
4. Magomedov S.R., Hasanov D.Y., Zapirov Z.M. Frequency and duration of certain diseases in young people when engaged in physical education classes and sports. From the collection: *Topical Issues of Endocrinology*. Materials of the V Republican Scientific and Practical Conference dedicated to the World Thyroid Day. Ed. by K.G. Kamalov, M.G. Ataev. 2018. pp. 133-136. (in Russ.)
5. Ponomareva A.G. Krivoschchapov M.V., Lashin A.M., Mitelev S.S., Morozov V.N. Role of violations of the vegetative balance in the development of pathology at high physical activity in youth sports (a literature survey). *Sports Science Bulletin*, 2018, no. 2, pp. 37-41. (in Russ.)
6. Trunov V.D., Kharlamova L.V. The role of sport in creating a healthy society in the modern world. A collection of materials of International Scientific and Practical Conferences. Conference materials. Editor: Ya.A. Korotkikh. 2019. pp. 69-71. (in Russ.)

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Филипп Вадимович Салугин** – профессор кафедры физической культуры, Омский государственный медицинский университет; преподаватель кафедры физической подготовки, Омский автобронетанковый инженерный институт, Омск, e-mail: saluginfil@mail.ru.

**Марина Халибиллаевна Спатаева** – доцент кафедры «Физическая культура и спорт», Сибирский автомобильно-дорожный университет, Омск, e-mail: spataeva@mail.ru.

**Анна Юрьевна Шредер** – заведующий кафедрой физической культуры, Омский государственный медицинский университет; преподаватель кафедры физической подготовки, Омский автобронетанковый инженерный институт, Омск, e-mail: ASHreder@mail.ru.

**Денис Вячеславович Земкаюс** – студент, Омский государственный медицинский университет, Омск, e-mail: dieni02@mail.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Filipp Vadimovich Salugin** – Professor of the Department of Physical Education, Omsk State Medical University; Lecturer of the Department of Physical Training, Omsk Armored Engineering Institute, Omsk, e-mail: saluginfil@mail.ru.

**Marina Khalibillaevna Spataeva** – Associate Professor of the Department of Physical Culture and Sports, Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, e-mail: spataeva@mail.ru.

**Anna Yurievna Shroeder** – Head of the Department of Physical Education, Omsk State Medical University; Lecturer of the Department of Physical Training of the Omsk Armored Engineering Institute, Omsk, e-mail: ASHreder@mail.ru.

**Denis Vyacheslavovich Zemkayus** – Student, Omsk State Medical University, Omsk, e-mail: dieni02@mail.ru.

**Для цитирования:** Особенности воздействия дозированной физической нагрузки на функциональное и психоэмоциональное состояние студентов, занимающихся в спортивных секциях и на элективных занятиях физической культурой / Ф. В. Салугин, М. Х. Спатаева, А. Ю. Шредер, Д. В. Земкаюс // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_34

**For citation:** Salugin F.V., Spataeva M.Kh., Schroeder A.Yu., Zemkayus D.V. Effect of dosed physical activity on the functional and psychoemotional state of students engaged in sports sections and elective physical education classes. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_34

## ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА СПОРТА

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_35  
УДК 796.342.082.1

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_35  
UDC 796.342.082.1

### РАЗВИТИЕ КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ У ДЕВОЧЕК-ПОДРОСТКОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ТЕННИСОМ

Н.А. Пруидзе<sup>1</sup>, А.В. Полякова<sup>1</sup>, Д.В. Старшинов<sup>2</sup>, Л.С. Ходасевич<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет», г. Сочи, Россия

<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр курортологии и реабилитации – ФФГБУ «Федеральный научно-клинический центр медицинской реабилитации и курортологии Федерального медико-биологического агентства» в г. Сочи, Россия

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Краснодар, Россия

**Аннотация.** Актуальной проблемой для тенниса является поиск эффективных методик развития координационных способностей у спортсменов. Поэтому целью исследования послужила оценка разработанной авторами методики развития координационных способностей у девочек-подростков, занимающихся теннисом. В рамках педагогического эксперимента в течение 8 месяцев наблюдали за 20 школьницами 11-13 лет, занимающимися теннисом. Методом рандомизации девочек распределили на 2 группы: контрольную и экспериментальную (по 10 чел. каждая). Теннисистки контрольной группы занимались по утвержденной ранее программе подготовки на основе условий дополнительного образования школьников, а спортсменки экспериментальной, кроме утвержденной программы, дополнительно занимались 1 час, 3 раза в неделю комплексом упражнений на координацию, статическое и динамическое равновесие, включая акробатические упражнения, подвижные игры и эстафеты. В начале и в конце эксперимента теннисисток оценивали по результатам стандартного тестирования. Полученные данные подтвердили влияние предложенной методики направленного воздействия и увеличения продолжительности занятий на повышение координационных способностей в подростковом возрасте у девочек, занимающихся теннисом.

**Ключевые слова:** координационные способности, развитие, теннис, девочки, подростковый возраст, статическое равновесие.

### DEVELOPMENT OF COORDINATION ABILITIES IN TEENAGE GIRLS ENGAGED IN TENNIS

N.A. Pruidze<sup>1</sup>, A.V. Polyakova<sup>1</sup>, D.V. Starshinov<sup>2</sup>, L.S. Khodasevich<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Sochi State University, Sochi, Russia

<sup>2</sup>Research Center for Balneology and Rehabilitation – Branch of the FSBI “Federal Scientific and Clinical Center of Medical Rehabilitation and Balneology of the FMBA” in Sochi, Russia

<sup>3</sup>Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

**Annotation.** An urgent problem for tennis is the search for effective methods to develop coordination abilities of athletes. Therefore, the aim of the study was to evaluate the methodology designed by the authors for the development of coordination abilities in teenage girls who play tennis. As a part of a pedagogical experiment, 20 female tennis players aged 11-13 were observed for 8 months. The girls were randomly divided into 2 groups: control and experimental (10 people each). The tennis players of the control group were following the previously approved training program based on the conditions of schoolchildren’s additional education. The athletes of the experimental group, in addition to the approved program, practiced a set of exercises for coordination, static and dynamic balance, including acrobatic exercises, outdoor games and relay races for 1 hour 3 times a week. At the beginning and at the end of the experiment, tennis players were



evaluated according to the standard testing results. The obtained data confirmed the effect of the proposed method of directed influence and increase in the duration of classes on the development of coordination abilities in teenage girls engaged in tennis.

**Keywords:** coordination abilities, development, tennis, girls, adolescence, static balance.

**Введение.** На сегодняшний день специалисты физической культуры и спорта не пришли к единому определению понятия «координационные способности» (КС). Почти все авторы, занимавшиеся данной проблемой, дают собственное определение этого физического качества [1]. Определение, отражающее наиболее полно суть понятия, было дано О.А. Двейриной [2]: «КС – это совокупность свойств организма человека, проявляющаяся в процессе решения двигательных задач разной координационной сложности в соответствии с уровнем построения движений и обуславливающая успешность управления двигательными действиями».

В теннисе КС представляют собой способность выполнять удары разной степени силы, направления и вращения мяча. Эти качества необходимы при разучивании и выполнении различных технических движений, ударов и прыжков. Координация теннисиста заключается в способности быстро комбинировать двигательные действия в соответствии с требованиями меняющейся обстановки. Поэтому КС – это сложное физическое качество, от которого, по мнению В.И. Ляха [3], результат зависит на 13,5%.

Подростковый возраст характеризуется максимальным темпом роста всех систем организма, что способствует усвоению сложных двигательных координаций, приобретению новых и совершенствованию ранее освоенных навыков [4]. В возрастной период с 11 до 14 лет у подростков увеличивается точность дифференцировки мышечных усилий, улучшается способность к воспроизведению заданного темпа движений [5].

В теннисе КС проявляется, прежде всего, в скорости нанесения базовых ударов. Кроме того, поскольку соперник может изменить длину, скорость, вращение и

направление удара по мячу даже в течение матча, эти удары могут выполняться в различных условиях, в точке попадания мяча в корт и на высоте отскока. В результате игрок всегда будет бить в разных условиях и вести себя по-разному. Он может играть то с правой стороны, то с левой, бить по мячу с вращением или без него (twist, sling), в разных направлениях, разной длины и силы (flat shots). Кроме того, каждые два гейма соперники меняют стороны корта. В результате они должны быстро адаптироваться к игре в новых условиях [6].

Мастерство теннисиста проявляется в пространственной точности его движений. Так, при подаче важно точно подбросить мяч на определенную высоту и в определенную точку. Только при точном броске можно выполнить последовательную подачу. Для ударов с отскока и полета очень важно иметь заранее определенную точку. Эти удары очень трудны, так как они должны быть направлены на движущийся объект – мяч. Кроме того, теннисист должен выполнять каждый удар в строго определенном направлении [7]. Важно не только ударить по мячу, но и ударом со строго определенной силой и вращением попасть мячом в определенную точку корта. Все это можно сделать только при наличии хороших навыков координации.

Теннис в последние десятилетия завоевал большой интерес со стороны детей и подростков. Занятия проводятся в детско-юношеских спортивных школах, школах олимпийского резерва, а также в общеобразовательных и высших образовательных учреждениях в виде дополнительного образования по направлению «Физическая культура и спорт». Квалифицированные спортсмены демонстрируют высокий уровень общей и специальной физической подготовленности. На теннисном корте спортсмену приходится постоянно быть в

движении. Сочетание движений с ударами ракеткой требуют от него высокого уровня КС.

Следует отметить, что для правильного удара по мячу важно сохранять равновесие. Особенно это важно, когда необходимо вытянуть пальцы ног и руку с ракеткой как можно дальше, чтобы подать в максимально высшей точке [6]. Многие теннисисты прыгают при подаче. Те, у кого плохо развиты навыки равновесия, никогда не смогут этого делать и будут наклоняться вправо, влево, назад или выносить точку удара вперед еще до удара по мячу [5]. Уровень развития баланса в значительной степени влияет на координацию и скорость теннисиста, чтобы взять инициативу на себя после сложной стойки или прыжкового удара. Поэтому теннисисты, желающие достичь высокой координации своих движений в игре, должны осваивать новые двигательные движения и перестраивать освоенные в соответствии с изменяющимися условиями, чтобы рационально использовать такие физические качества, как сила, скорость и гибкость.

Ю.В. Пармузиной [8] были выделены методические приемы, создающие, по ее мнению, условия для эффективного развития КС, которые включают: усложнение ранее усвоенных упражнений новыми исходными положениями, увеличением темпа движений; введение новых упражнений; зеркальное выполнение упражнений; ограничение пространства выполнения упражнения; использование инвентаря и площадок различного качества.

Для развития КС предлагаются различные методики направленного воздействия, из них наиболее популярными является применение спортивных игр, гимнастики и различных видов аэробики [1, 9]. Некоторые авторы предлагают с этой целью использовать акробатические упражнения [10-11], в том числе на батуте [12]. Поиск наиболее эффективных методик развития КС у девочек-подростков является актуальной проблемой для тенниса, так как в этом

возрасте следует не останавливаться на достигнутом уровне мастерства, а продолжать профессиональное развитие.

Цель исследования: оценить разработанную авторами методику развития координационных способностей у девочек-подростков 11-13 лет, занимающихся теннисом.

**Методы и организация исследования.** Педагогический эксперимент в течение 8 месяцев провели на базе МБОУ СОШ № 9 г. Сочи. В нем приняли участие 20 школьников в возрасте 11-13 лет, занимающихся теннисом. С помощью метода рандомизации девочек распределили на 2 группы: контрольную и экспериментальную (по 10 человек каждая). КС школьников в начале и в конце эксперимента оценивали по результатам стандартного тестирования, включающего: челночный бег 4x9 м; статическое равновесие – проба Ромберга; «Стойка на руках» (с открытыми и закрытыми глазами) с опорой на стену; «Кувырки» (с открытыми и закрытыми глазами) с последующей фиксацией позы Ромберга; «Поворот на 1800°», составляющий в сумме 5 поворотов на 360° с последующей ходьбой по прямой линии с минимальным отклонением от прямой начерченной на полу линии длиной 3 м.

В педагогическом эксперименте оценивали разработанную методику развития КС у теннисисток среднего школьного возраста. Данная методика включала в себя дополнительный комплекс на координацию, статическое и динамическое равновесие, а именно: акробатические упражнения, подвижные игры и эстафеты. Этот комплекс был предложен спортсменкам экспериментальной группы, которые дополнительно занимались по нему 1 час, 3 раза в недельном цикле. Теннисистки контрольной группы занимались по утвержденной ранее программе подготовки на основе условий дополнительного образования школьников.

Полученные в ходе педагогического эксперимента результаты были обработаны с использованием электронных таблиц

Excel. Расчет достоверности различий между группами проводили по критерию Стьюдента.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В начале эксперимента теннисистки контрольной (I гр.) и экспериментальной

(II гр.) групп приняли участие в тестировании КС, включая оценку статического равновесия, вестибулярной и статодинамической устойчивости. Исходные результаты в обеих группах были практически одинаковы (табл.).

Таблица

Результаты тестирования координационных способностей спортсменок контрольной и экспериментальной групп в начале и конце эксперимента

Тесты	I группа (контрольная)	II группа (экспериментальная)	P
Челночный бег 4x9 м, с	$\frac{10,8 \pm 0,1}{10,5 \pm 0,1}$	$\frac{10,8 \pm 0,1}{9,9 \pm 0,1}$	$p^1 < 0,05$ $p^2 < 0,01$ $p^3 > 0,05$ $p^4 < 0,01$
Статическое равновесие – проба Ромберга, с	$\frac{10,4 \pm 0,3}{13,0 \pm 0,5}$	$\frac{10,4 \pm 0,4}{14,9 \pm 0,1}$	$p^1 < 0,05$ $p^2 < 0,01$ $p^3 > 0,05$ $p^4 < 0,01$
«Стойка на руках» с открытыми глазами и опорой на стену, с	$\frac{7,0 \pm 0,4}{8,4 \pm 0,3}$	$\frac{7,9 \pm 0,4}{9,8 \pm 0,1}$	$p^1 < 0,05$ $p^2 < 0,05$ $p^3 > 0,05$ $p^4 < 0,05$
«Стойка на руках» с закрытыми глазами и опорой на стену, с	$\frac{5,2 \pm 0,4}{7,0 \pm 0,4}$	$\frac{5,5 \pm 0,5}{7,9 \pm 0,1}$	$p^1 < 0,05$ $p^2 < 0,05$ $p^3 > 0,05$ $p^4 < 0,05$
«Кувырки» с открытыми глазами и последующей фиксацией позы Ромберга, с	$\frac{5,4 \pm 0,3}{7,4 \pm 0,2}$	$\frac{6,0 \pm 0,5}{9,8 \pm 0,1}$	$p^1 < 0,05$ $p^2 < 0,01$ $p^3 > 0,05$ $p^4 < 0,01$
«Кувырки» с закрытыми глазами и последующей фиксацией позы Ромберга, с	$\frac{2,9 \pm 0,2}{6,3 \pm 0,3}$	$\frac{3,6 \pm 0,4}{9,7 \pm 0,2}$	$p^1 < 0,05$ $p^2 < 0,01$ $p^3 > 0,05$ $p^4 < 0,01$
«Поворот на 180°» с последующей ходьбой по прямой линии с минимальным отклонением от прямой начерченной на полу линии длиной 3 м, см	$\frac{81,5 \pm 4,2}{157,0 \pm 12,0}$	$\frac{78,0 \pm 5,5}{273,5 \pm 10,1}$	$p^1 < 0,05$ $p^2 < 0,01$ $p^3 > 0,05$ $p^4 < 0,01$

Примечание: в числителе исходные, а в знаменателе конечные результаты педагогического эксперимента; уровни значимости различий:  $p^1$  – между исходными и конечными результатами педагогического эксперимента в I группе;  $p^2$  – между исходными и конечными результатами педагогического эксперимента во II группе;  $p^3$  – между результатами I и II групп в начале педагогического эксперимента;  $p^4$  – между результатами I и II групп в конце педагогического эксперимента

Подростки контрольной группы (I гр.), которые занимались по утвержденной ранее программе подготовки, спустя 8 месяцев от начала педагогического эксперимента улучшили свои КС. Об этом свидетельствовали результаты повторного тестирования (табл.): результат челночного бега 4x9 м сократился с  $10,8 \pm 0,1$  до  $10,5 \pm 0,1$  с ( $p^3 < 0,05$ ); удержание статического равновесия увеличилось с  $10,4 \pm 0,3$  до  $13,0 \pm 0,5$  с ( $p^3 < 0,05$ ); результат теста «Стойка на руках» с открытыми глазами и опорой на стену увеличился с  $7,0 \pm 0,4$  до  $8,4 \pm 0,3$  с ( $p^3 < 0,05$ ); а результат такого же теста, но с закрытыми глазами – с  $5,2 \pm 0,4$  до  $7,0 \pm 0,4$  с ( $p^3 < 0,05$ ); время выполнения теста «Кувырки» с открытыми глазами и последующей фиксацией позы Ромберга увеличилось с  $5,4 \pm 0,3$  до  $6,3 \pm 0,3$  с ( $p^3 < 0,05$ ); а время такого же теста, но с закрытыми глазами – с  $2,9 \pm 0,2$  до  $6,3 \pm 0,3$  с ( $p^3 < 0,05$ ); результат теста «Поворот на  $180^\circ$ » с последующей ходьбой по прямой линии увеличился с  $81,5 \pm 4,2$  до  $157,0 \pm 12,0$  см ( $p^3 < 0,05$ ).

Девочки экспериментальной группы (II гр.), занимавшиеся по разработанной методике развития, через 8 месяцев педагогического эксперимента значительно улучшили свои КС. Об этом свидетельствовали результаты повторного тестирования (табл.). Так, время выполнения теста «Челночный бег 4x9 м» сократилось с  $10,8 \pm 0,1$  до  $9,9 \pm 0,1$  с ( $p^3 < 0,01$ ); удержание статического равновесия увеличилось с  $10,4 \pm 0,4$  до  $14,9 \pm 0,1$  с ( $p^3 < 0,01$ ); время выполнения теста «Стойка на руках» с открытыми глазами и опорой на стену увеличилось с  $7,9 \pm 0,4$  до  $9,8 \pm 0,1$  с ( $p^3 < 0,05$ ); время такого же теста, но с закрытыми глазами – с  $5,5 \pm 0,5$  до  $7,9 \pm 0,1$  с ( $p^3 < 0,05$ ). Результат выполнения теста «Кувырки» с открытыми глазами и последующей фиксацией позы Ромберга улучшился с  $6,0 \pm 0,5$  до  $9,8 \pm 0,1$  с ( $p^3 < 0,01$ ), а при закрытых глазах – с  $3,6 \pm 0,4$  до  $9,7 \pm 0,2$  с ( $p^3 < 0,01$ ). Выполнение теста «Поворот на  $180^\circ$ » с последующей ходьбой по прямой

линии также улучшилось с  $78,0 \pm 5,5$  до  $273,5 \pm 10,1$  см ( $p^3 < 0,01$ ).

По окончании эксперимента у теннисисток обеих групп наблюдалась положительная динамика в развитии КС. Однако в экспериментальной группе темпы прироста КС оказались более выраженными (рис.). Так, если в контрольной группе результат при челночном беге 4x9 м увеличился на 2,5%, то в экспериментальной – на 9,1%; результат пробы Ромберга на статическое равновесие улучшился соответственно на 25,0 и 43,3%; тест «Стойка на руках» с опорой на стену с открытыми глазами улучшился на 20,0 и 24,1%, а с закрытыми глазами – на 34,6 и 43,6%; тест «Кувырки» с открытыми глазами и последующей фиксацией позы улучшился на 37,0 и 63,3%, а с закрытыми глазами – на 117,2 и 169,4%; тест «Поворот на  $180^\circ$ » с последующей ходьбой по прямой улучшился на 92,6 и 250,6%.

Полученные данные показали, что к моменту завершения педагогического эксперимента у теннисисток обеих групп достоверно возросла результативность тестов на КС. Однако следует отметить, что у спортсменок экспериментальной группы она более высокая, а динамика положительных изменений более значимо выражена. Следует отметить, что не только введение акробатических упражнений, подвижных игр и эстафет оказало влияние на повышение КС у теннисисток II группы, но и увеличение продолжительности тренировочных занятий на 3 часа в недельном цикле.

Результаты исследования дали право убедиться в том, что использование предложенной методики и включенных в нее дополнительных упражнений на статическое равновесие, вестибулярную и динамическую устойчивость позволяет повысить показатели КС у девочек-теннисисток 11-13 лет, тренирующихся в условиях МБОУ СОШ № 9 г. Сочи.

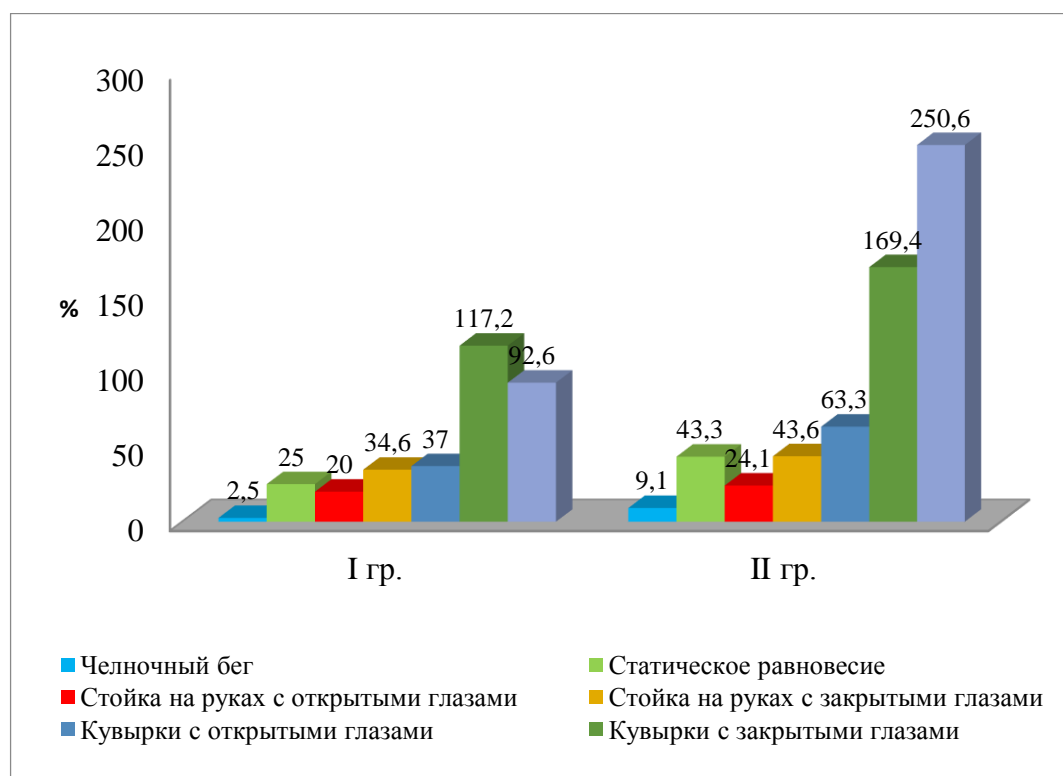


Рис. Величина прироста координационных способностей в контрольной (I гр.) и экспериментальной (II гр.) группах подростков-теннисисток в конце эксперимента

**Заключение.** Можно согласиться с мнением Ю.Н. Серикова [1], что в настоящее время проблемой развития и совершенствования координационных способностей небезуспешно занимаются многие специалисты сферы физической культуры и спорта. На сегодняшний день предлагаются разнообразные методики направленного воздействия на данное двигательное качество. Результаты проведенного педагогического эксперимента подтвердили мнение

ряда исследователей о том, что методики направленного воздействия в виде спортивных игр, гимнастики, аэробики и акробатических упражнений развивают КС. Кроме того, в подростковом возрасте у девочек, занимающихся теннисом, на прирост уровня координационной подготовленности оказывает влияние и введение дополнительных занятий, направленных на развитие ориентации в пространстве, статического и динамического равновесия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серикова, Ю. Н. Координационные способности: определение, основные подходы к изучению, современные средства и методы развития / Ю. Н. Серикова, В. А. Александрова, А. Ю. Нечаева // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2018. – № 6 (160). – С. 224-231.
2. Двейрина, О. А. Координационные способности: определение понятия, классификация форм проявления / О. А. Двейрина // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2008. – № 1 (35). – С. 35-38.
3. Лях, В. И. Координационные способности: диагностика и развитие / В. И. Лях. – М.: ТВТ

- Дивизион, 2006. – 290 с. URL: [https://ksderbenceva.ucoz.ru/dokumenty/koordinacionnye\\_sposobnosti\\_diagnostics\\_i\\_razvitie.pdf](https://ksderbenceva.ucoz.ru/dokumenty/koordinacionnye_sposobnosti_diagnostics_i_razvitie.pdf) (дата обращения: 17.05.2023)
4. Никишкина, Т. В. Особенности развития координационных способностей подростков / Т. В. Никишкина // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 35. – С. 880-886.
5. Холодов, Ж. К. Теория и методика физического воспитания и спорта / Ж. К. Холодов, В. С. Кузнецов. – М.: Издательский центр «Академия», 2000. – 480 с.
6. Голви, Т. Тимати. Теннис: психология успешной игры / Т. Голви: пер. с англ. С. Егорова. – М.: Олимп-Бизнес, 2018. – 208 с.

7. Воловдов, И. В. Теннис. Примерная программа спортивной подготовки для детей ДЮСШ, специализированных ДЮШ олимпийского резерва / И. В. Воловдов, В. А. Голенко. – М.: Советский спорт, 2005. – 105 с.
8. Пармузина, Ю. В. Основы фитнес-аэробики: учеб. пособие / Ю. В. Пармузина, Е. П. Горбачева. – Волгоград: Волгоградская гос. акад. физ. культуры, 2011. – 149 с.
9. Павлюк, Р. Б. Методика развития координационных способностей с учетом половых и возрастных особенностей подростков / Р. Б. Павлюк // Научный поиск: личность, образование, культура. – 2022. – № 3 (45). – С. 7-11.
10. Кравцова, Ж. З. Влияние акробатических упражнений на развитие двигательных способностей подростков 13-14 лет, занимающихся айкидо / Ж. З. Кравцова // Студенческий вестник. – 2019. – № 43-1 (93). – С. 36-40.
11. Павленкович, С. С. Влияние занятий спортивной акробатикой на совершенствование координационных способностей девочек 11-13 лет / С. С. Павленкович, Е. А. Казакова // Форум молодых ученых. – 2018. – № 12-3. – С. 624-628.
12. Варфоломеева, З. С. Упражнения на батуте как средство развития координационных способностей подростков / З. С. Варфоломеева, А. Д. Герасимов // Человек. Спорт. Медицина. – 2021. – Т. 21. – № 3. – С. 147-153. DOI: 10.14529/hsm210318.
- 290 p. Available at: [https://ksderbenceva.ucoz.ru/dokumenty/koordinacionnye\\_sposobnosti\\_diagnostika\\_i\\_razvitie.pdf](https://ksderbenceva.ucoz.ru/dokumenty/koordinacionnye_sposobnosti_diagnostika_i_razvitie.pdf) (accessed 17.05.2023) (in Russ.)
4. Nikishkina T.V. Features of developing coordination abilities of adolescents. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*, 2021, no. 35, pp. 880-886. (in Russ.)
5. Kholodov Zh.K., Kuznetsov V.S. Theory and methods of physical education and sports. Moscow: Publishing Center "Akademia", 2000, 480 p. (in Russ.)
6. Gallwey W. Timothy. Inner tennis: playing the game. Translated from English by S. Egorov. Moscow: Olimp-Bizness, 2018, 208 p. (in Russ.)
7. Volovodov I.V., Golenko V.A. Tennis. A tentative program of sports training for children of the specialized Sports School of the Olympic Reserve. Moscow: Sovetskij sport, 2005, 105 p. (in Russ.)
8. Parmuzina Yu.V., Gorbanev E.P. Fundamentals of fitness aerobics: a learning guide. Volgograd: Volgograd State Academy of Physical Culture, 2011, 149 p. (in Russ.)
9. Pavlyuk R.B. Methods of development of coordination abilities, taking into account sexual and age characteristics of adolescents. *Scientific search: personality, education, culture*, 2022, no. 3 (45), pp. 7-11. (in Russ.)
10. Kravtsova Zh. Z. Influence of acrobatic exercises on the development of motor-coordinating abilities of adolescents aged 13-14, involved in aikido. *Student Bulletin*, 2019, no. 43-1 (93), pp. 36-40. (in Russ.)
11. Pavlenkovich S.S., Kazakova E.A. The influence of sports acrobatics on the improvement of the coordination abilities of girls aged 11-13. *Forum of Young Scientists*, 2018, no. 12-3, pp. 624-628. (in Russ.)
12. Varfolomeeva Z.S., Gerasimov A.D. Trampoline fitness as a means of improving coordination skills in adolescents involved in snowboarding. *Human. Sport. Medicine*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 147-153. DOI: 10.14529/hsm210318. (in Russ.)

## REFERENCES

1. Serikova Yu.N., Aleksandrova V.A., Nechaev A.Yu. Coordination abilities: definition, basic study approaches, modern means and evolving methods. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2018, no. 6 (160), pp. 224-231. (in Russ.)
2. Dveirina O.A. Coordination abilities: definition, classification of forms of manifestation. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2008, no. 1 (35), pp. 35-38. (in Russ.)
3. Lyakh V.I. Coordination abilities: diagnostics and development. Moscow: TVT Division, 2006,

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Николь Александровна Пруидзе** – студентка 5-го курса ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет», г. Сочи, e-mail: pruidze96@mail.ru.

**Антонина Валентиновна Полякова** – кандидат биологических наук, доцент, зав. кафедрой физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет», г. Сочи, e-mail: av-polyakova@list.ru.

**Денис Владиславович Старшинов** – кандидат биологических наук, научный сотрудник НИЦКиР ФФГБУ ФНКЦ МРИК ФМБА России в г. Сочи, e-mail: starshinov86@bk.ru.

**Леонид Сергеевич Ходасевич** – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет»; зам. директора по науке НИЦКиР ФФГБУ ФНКЦ МРиК ФМБА России в г. Сочи; профессор кафедры медицинской реабилитации ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет», г. Краснодар, e-mail: nic\_kir@mail.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Nicole Aleksandrovna Pruidze** – 5th year student, Sochi State University, Sochi, e-mail: pruidze96@mail.ru.

**Antonina Valentinovna Polyakova** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Culture and Sports, Sochi State University, Sochi, e-mail: av-polyakova@list.ru.

**Denis Vladislavovich Starshinov** – Candidate of Biological Sciences, Researcher, Scientific Research Center of Balneology and Rehabilitation – Branch of the FSBI “Federal Scientific and Clinical Center of Medical Rehabilitation and Balneology of the FMBA” in Sochi, e-mail: starshinov86@bk.ru.

**Leonid Sergeevich Khodasevich** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physical Culture and Sports, Sochi State University; Deputy Director for Science, Research Center for Balneology and Rehabilitation – Branch of the FSBI “Federal Scientific and Clinical Center of Medical Rehabilitation and Balneology of the FMBA” in Sochi; Professor of the Department of Medical Rehabilitation, Kuban State Medical University, Krasnodar, e-mail: nic\_kir@mail.ru.

**Для цитирования:** Развитие координационных способностей у девочек-подростков, занимающихся теннисом / Н. А. Пруидзе, А. В. Полякова, Д. В. Старшинов, Л. С. Ходасевич // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_35

**For citation:** Pruidze N.A., Polyakova A.V., Starshinov D.V., Khodasevich L.S. Development of coordination abilities in teenage girls engaged in tennis. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_35

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_36  
УДК 796.065.22; 612.833.96

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_36  
UDC 796.065.22; 612.833.96

## ОЦЕНКА КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ АРБИТРОВ ЮНОШЕСКОЙ ФУТБОЛЬНОЙ ЛИГИ

А.С. Топорова, В.А. Блинов

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет физической культуры и спорта», г. Омск, Россия

**Аннотация.** Игровая деятельность футбольного арбитра проходит с постоянной сменой движения, сбросом и набором скорости с переменной вектора направления движения, используются резкие остановки, повороты, что предъявляет высокие требования к уровню координационной подготовленности. В статье представлено констатирующее исследование, целью которого является оценка уровня ловкости арбитров юношеской футбольной лиги, молодежного первенства России по футболу. На основании полученных данных оценивается уровень физической подготовки арбитров, в частности координационная подготовленность, что позволяет расширить уровень знаний, разработать и усовершенствовать средства тренировки.

**Ключевые слова:** ловкость, футбольный арбитр, физическая подготовка, координационная подготовленность.

## ASSESSING AGILITY OF YOUTH SOCCER LEAGUE REFEREES

A.S. Toporova, V.A. Blinov

Siberian University of Physical Culture and Sport, Omsk, Russia

**Annotation.** A soccer referee's playing activity involves a constant change of movement, resetting and gaining speed with a change of direction, sudden stops and turns, which places high demands on the referee's coordination skills. The article presents an ascertaining study aimed at evaluating the level of agility among referees of the Youth Soccer League and Russian Soccer Youth Championship. Taking into account the obtained data, the level of physical fitness of referees, in particular coordination skills, is assessed, which allows to expand the level of knowledge, develop and improve tools of training.

**Keywords:** agility, soccer referee, physical training, coordination fitness.

**Введение.** Игровая деятельность главного арбитра, ассистента арбитра в матчах по футболу состоит из принятия ключевых, второстепенных решений в единицу времени в различных участках поля. Единовременно на игровой площадке находятся двадцать два игрока, в связи с чем необходимо постоянно менять позицию, вектор направления движения для лучшего видения эпизода. Футбольные судьи должны менять направление движения так же быстро, следуя за игроками и принимая различные решения в условиях дефицита времени и постоянных помех [1]. По мнению А.В. Масленникова, М.М. Соловьева, П.Н. Кулалаева, правильность решения зависит и от уровня координационных

способностей [2-3]. Р. Krustup (2009) установил, что 6% от общей игровой дистанции арбитры проходят бегом спиной, латеральным бегом, что предъявляет высокие требования к уровню ловкости [4].

Для оценки способности к смене направлений существуют тесты, разработанные UEFA, например тест CODA (Change of Direction Ability – способность к изменению направления), тест 505. Данные тесты оценивают ловкость спортсменов, способность менять направление в условиях дефицита времени, на высоких скоростях, имитируя игровую деятельность на контрольном этапе подготовки. Однако сведения о ловкости и координации на этапе становления арбитров представлены



фрагментарно в научно-методической литературе. По мнению Н.А. Бернштейна, ловкость – способность к рациональному и точному, находчивому решению двигательных сложных задач в сложных, неожиданных и трудно предсказуемых ситуациях, что, в свою очередь, описывает двигательную деятельность арбитра на футбольном поле [5].

Вследствие этого целью данного констатирующего исследования стал анализ уровня ловкости арбитров-полупрофессионалов (юношеская футбольная лига, молодежная футбольная лига, региональные соревнования).

Объектом исследования стала физическая подготовка арбитров-полупрофессионалов. Предметом исследования – уровень ловкости арбитров. Задачей исследования – определить уровень ловкости арбитров.

**Методы и организация исследования.** Анализ научно-методической литературы по проблеме исследования осуществлялся в течение 2 месяцев, были изучены работы как отечественных, так и зарубежных специалистов. Педагогическое тестирование проводилось по утвержденным нормативам Российского футбольного союза (SDS-test, спринт 40 м), определяющим уровень физической подготовленности арбитров. Был впервые предложен комплексный тест

на ловкость К.А. Шперлинга [6]. В тестировании приняли участие 55 судей (девушки и юноши в возрасте от 18 до 23 лет). Были использованы методы математической обработки данных, применялся t-критерий Стьюдента. Рассчитывался коэффициент ранговой корреляции для измерения взаимозависимости между скоростными способностями и координационными способностями, а также специальной выносливостью и координационными способностями. Результаты рассматривали как достоверные, начиная со значения  $p \leq 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Совместно со специалистами Российского футбольного союза был проведен ряд тестирований: SDS-test, спринт 40 м, особое внимание уделялось нормативу на определение уровня ловкости (по К.А. Шперлингу) арбитров-полупрофессионалов. Комплексный тест на ловкость предполагал три попытки, лучшая из которых была занесена в протокол. Хронометраж осуществляли с помощью оборудования “Witty” от системы диагностики и анализа “Optogate”. Нормативы, предложенные Российским футбольным союзом имеют следующие значения: высокий уровень – 16,0-16,4 с, средний уровень – 16,5-16,9 с, низкий уровень – 17,0-17,4 с.

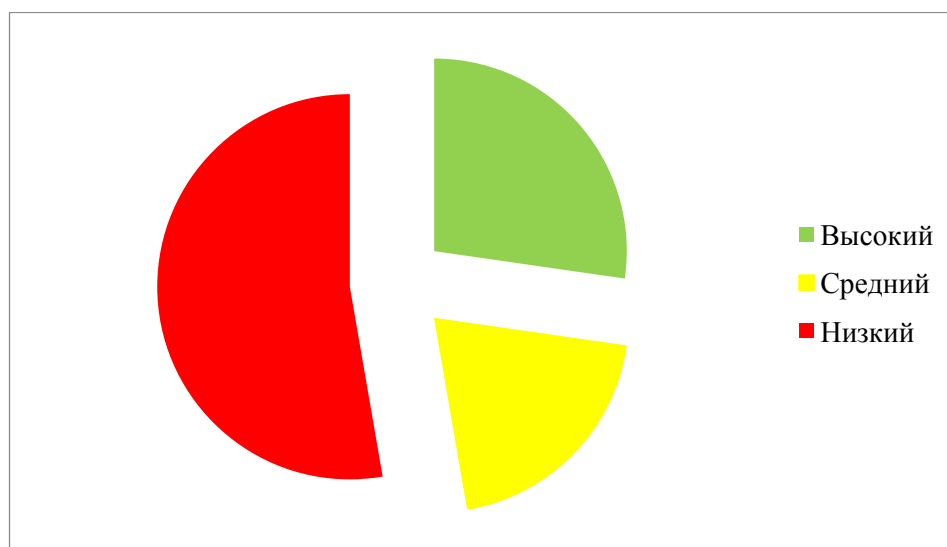


Рис. Оценка уровня ловкости арбитров-полупрофессионалов

В констатирующем исследовании (рис.) было выявлено, что высокий уровень ловкости отмечен у 15 арбитров (среднее значение показателей составил  $16,01 \pm 0,4$  с). Среднего результата достигли 11 спортсменов (время выполнения теста –  $16,6 \pm 0,5$  с). Достоверность различий между высоким и средним уровнем находится на статистически значимом уровне  $p \leq 0,05$ . Большая часть арбитров находятся на низком уровне – 29 человек (значение показателей составило  $17,2 \pm 0,5$  с). Достоверность различий между средним и низким уровнем определяется как  $p \leq 0,05$ .

Стоит отметить, что при проведении сравнительного анализа между уровнями скоростных способностей, специальной выносливости и уровнем ловкости было выявлено следующее: результат физических нормативов значительно выше, чем результаты тестов на ловкость (уровень корреляции между скоростными

способностями и координационными составил  $r \approx 0,82$  усл.ед., между специальной выносливостью и координационными способностями –  $r \approx 0,78$  усл.ед.). По нашему мнению, это связано с тем, что данная закономерность продиктована акцентированным вниманием арбитров к контрольным тестам, направленным на физическую подготовку.

**Заключение.** Итак, полученные данные в ходе нашего исследования сфокусировали проблему недостаточного внимания развитию координационных способностей у арбитров, однако нельзя недооценивать их вклад в общую физическую подготовленность судей [1, 4]. Мы можем сделать вывод о том, что арбитрам, наряду с основными физическими качествами (быстрота, выносливость, сила), необходимо развивать координационные способности, которые играют значимую роль в их профессиональной деятельности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин, М. А. Психологические факторы судейской деятельности в футболе: автореф. дис. кан. пед. наук / Максим Александрович. *Кузьмин*. – СПб, 2004. – 15 с.
2. Кулалаев П. Н. Начальная подготовка футбольных арбитров: автореф. дис. канд. пед. наук / Павел Николаевич Кулалаев. – Волгоград, 2006. – 22 с
3. Масленников, А. В. Использование средств лёгкой атлетики в физической подготовке футбольных арбитров / А. В. Масленников, М. М. Соловьев // Учёные записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2017. – № 4 (146). – С. 122-126.
4. Recreational soccer is an effective health-promoting activity for untrained men / Krstrup P., Nielsen J. J., Christensen J. F. [et al] // *Journal of Sports Sciences*. – Oct 2009. – № 43(11). – pp. 825-831.
5. Бернштейн Н. А. Физиология движений и активность / Н. А. Бернштейн. – М.: Наука, 1990. – 494 с.
6. Шперлинг, К. А. Экспериментальное обоснование методики отбора детей и комплектования учебных групп для занятий футболом. Дисс.канд.пед.наук / Корней Андреевич Шперлинг. – М, 1975. – 207 с.

#### REFERENCES

1. Kuz'min M.A. Psychological factors of refereeing in soccer: an author's abstract. Saint-Petersburg, 2004. 15 p. (in Russ.)
2. Kulalaev P.N. Initial training of soccer referees: an author's abstract. Volgograd, 2006. 22 p. (in Russ.)
3. Maslennikov A.V., Solov'yov M.M. Using the means of track-and-field athletics in the physical training of soccer referees. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2017, no. 4 (146), pp. 122-126. (in Russ.)
4. Krstrup P., Nielsen J.J., Christensen J.F., Pedersen H., Randers M.B., Aagaard P., Petersen A.-M., Nybo L., Bangsbo J. Recreational soccer is an effective health-promoting activity for untrained men. *Journal of Sports Sciences*, Oct 2009, no. 43(11), pp. 825-831.
5. Bernstein N.A. Physiology of movement and activity. Moscow: Nauka, 1990. 494 p. (in Russ.)
6. Shperling K.A. Experimental validation of the methodology for selecting children and staffing training groups for soccer. An author's dissertation. Moscow, 1975. 207 p. (in Russ.)

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Анастасия Сергеевна Топорова** – старший преподаватель кафедры теории и методики футбола и хоккея, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта», Омск, e-mail: nt\_0708@mail.ru.

**Вячеслав Анатольевич Блинов** – кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой теории и методики футбола и хоккея, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта», Омск, e-mail: timfh@mail.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Anastasia Sergeevna Toporova** – Senior Lecturer of the Department of Theory and Methods of Soccer and Hockey, Siberian State University of Physical Culture and Sport, Omsk, e-mail: nt\_0708@mail.ru.

**Vyacheslav Anatol'evich Blinov** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Theory and Methods of Soccer and Hockey, Siberian State University of Physical Culture and Sport, Omsk, e-mail: timfh@mail.ru.

**Для цитирования:** Оценка координационных способностей арбитров юношеской футбольной лиги / А. С. Топорова, В. А. Блинов // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_36

**For citation:** Toporova A.S., Blinov V.A. Assessing agility of youth soccer league referees. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_36

## ОЗДОРОВИТЕЛЬНАЯ И АДАПТИВНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_37  
УДК 612.799.1

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_37  
UDC 612.799.1

### АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЛОС ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ ГИПЕРУПРУГИХ МОДЕЛЕЙ МУНИ-РИВЛИНА

С.А. Муслов<sup>1</sup>, С.Д. Арутюнов<sup>1</sup>, С.С. Перцов<sup>1,2</sup>, К.Г. Каракон<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБНУ «НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина», г. Москва, Россия

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Ставрополь, Россия

**Аннотация.** Рассмотрены 2-, 3-, 5- и 9-параметрические гиперупругие модели Муни-Ривлина волос человека и определены их параметры. Наименьший коэффициент корреляции с опытными данными продемонстрировала 2-параметрическая модель (0,974), наибольший – 9-параметрическая (0,999). Начальный модуль Юнга 9-параметрической модели составил  $E_0=2,84$  ГПа, что по порядку величины совпадает с эмпирическими литературными данными. Результаты расчетов, полученные в системе компьютерной алгебры Mathcad, существенно отличаются от полученных с помощью комплекса ANSYS, что, очевидно, связано с различными алгоритмами вычислений, используемыми программами. При вводе данных в ПК ANSYS применяли как инженерные напряжения и деформации, так и истинные значения. Устойчивость моделей оценивали с помощью критерия Хилла и Друкера. Было установлено, что определенные ограничения на параметры моделей  $C_{ij}$  Муни-Ривлина не выполняются, что было подтверждено анализом кривых  $\sigma$ - $\lambda$ .

**Ключевые слова:** волос, напряжения, деформации, гиперупругие модели, модель Муни-Ривлина, модуль упругости.

### ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES OF HUMAN HAIR USING HYPERELASTIC MOONEY-RIVLIN MODELS

S.A. Muslov<sup>1</sup>, S.D. Arutyunov<sup>1</sup>, S.S. Pertsov<sup>1,2</sup>, K.G. Karakov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Research Institute of Normal Physiology named after P.K. Anokhin, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia

**Annotation.** We have examined 2, 3, 5 and 9 parameter hyperelastic Muni-Rivlin models of human hair and identified their parameters. The lowest correlation coefficient with experimental data was demonstrated by the 2 parameter model (0.974), the highest – by the 9 parameter model (0.999). The initial Young's modulus of the 9 parameter model was  $E_0=2.84$  GPa, which coincides with the empirical literature data in order of magnitude. The calculation results obtained in the Mathcad system differ significantly from those obtained using the ANSYS software, which is obviously due to the different calculation algorithms used by the programs. When entering data into the ANSYS PC, both engineering stresses, deformations and true values were applied. The stability of the models was evaluated using the Hill and Drucker stability criterion. It was found that certain restrictions on the parameters of the Mooney-Rivlin  $C_{ij}$  models are not met, which was confirmed by the analysis of the  $\sigma$ - $\lambda$  curves.

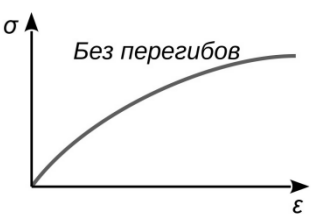
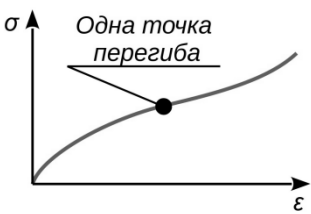
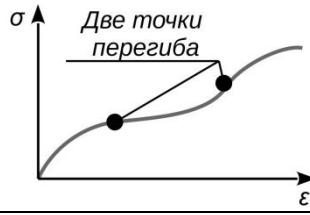
**Keywords:** hair, stresses, deformations, hyperelastic models, Mooney-Rivlin model, modulus of elasticity.

**Введение.** Волосы – важная часть нашего тела – не только имеют эстетическое значение в нашей культуре, но и обеспечивают защиту. Этот армированный волокном нанокомпозит играет ключевую роль в качестве внешнего покрытия у многих позвоночных. По своему строению волосы – придатки кожи, производные из эпидермиса, представляющие собой многослойные нитеобразные структуры из эпителиальных клеток (кератиноциты, меланоциты), ороговевающих по мере удаления из точки роста в волосяных фолликулах [1]. На голове человека около 150 тысяч волос, основной компонент волос – кератин. Здоровый волос весьма эластичен, в сухом состоянии может вытянуться на 20-30% от своей длины, а в мокром – более чем на 50% и затем вернуться в исходное состояние. Волокна человеческого волоса испытывают силы растяжения, когда за ними ухаживают и укладывают. Следовательно, поведение волос при натяжении представляет интерес для исследователей. Кроме того, эти знания могут быть полезны

при алопеции для трансплантации и наращивании волос, изготовителям искусственных волос, в криминалистике, анимации и т.д. Но в отличие от механических свойств кожи лица и тела человека, которые достаточно хорошо изучены (в зависимости от анатомического расположения, ориентации образцов относительно линий Лангера, возраста и пола, а также здоровья пациентов и даже косметических процедур), упругие и прочностные свойства волос исследованы недостаточно, и совсем нет данных о гиперупругих моделях данной биологической ткани. Как известно, к уникальным свойствам гиперупругих (резиноподобных) материалов относятся: способность подвергаться большим деформациям под нагрузкой, выдерживая деформации до 500% в технических приложениях; выраженное нелинейное поведение при нагрузке-растяжении; ответ на нагрузку почти без изменения объема. В связи с этим весьма актуально исследование гиперупругих характеристик волос человека с помощью существующих моделей.

Таблица 1

Тип кривой нагружения и модели Муни-Ривлина [10]

№	Тип кривой «напряжение-деформация»	Рекомендуемый тип модели Муни-Ривлина
1.		2-параметрическая или 3-параметрическая модель
2.		3-параметрическая или 5-параметрическая модель
3.		5-параметрическая или 9-параметрическая модель; недостаток: модели требуют большего количества констант, описывающих материал

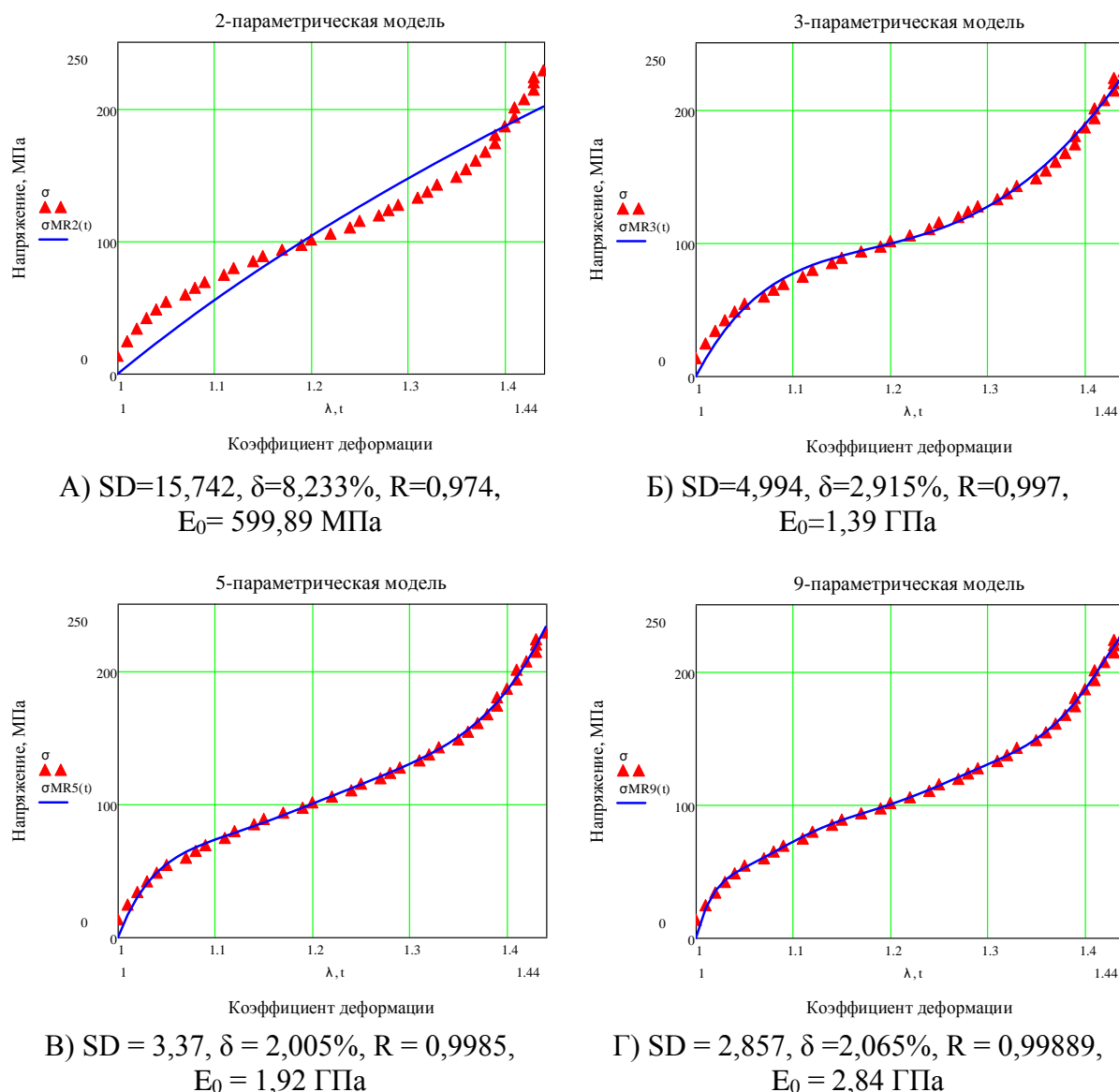


Рис. 1. Сравнение эмпирических и расчетных данных 2- (А), 3- (Б), 5- (В) и 9- (Г) параметрических моделей Муни-Ривлина

Примечание:  $SD$  – стандартное отклонение (standard deviation);  $\delta$  – максимальная приведенная погрешность;  $R$  – коэффициент корреляции;  $E_0$  – начальный модуль Юнга

Мы располагали экспериментальными кривыми «напряжение-деформация», полученными при одноосных испытаниях волос пациентов в возрасте от 20 до 29 лет [2]. Их вид существенно отличается от «обычных» J-кривых, присущих для большинства мягких тканей [3-5] в том числе и кожи [6]. Исследовали волосы головы, подмышечные и лобковые. Измеряли максимальное напряжение ( $\text{кГ/мм}^2$ ) и удлинение (%) образцов волос мужчин и женщин, из США и Японии, подвергнутых радиации и нет, сразу после

удаления, через 6 и 12 месяцев. Из других данных можно отметить работу [7], но в ней авторы, проведя детальное исследование оптическими методами, ограничились только определением начального упругого модуля и коэффициента Пуассона волос (3,727 ГПа и 0,377 соответственно) в проксимальной, средней и дистальной их части. Весьма информативны обзор исследований структуры и механики шерсти и волосяных волокон животных [8], а также экспериментально-расчетное исследование волос

человека [9], где установлено, что начальный модуль Юнга равен 4,2 ГПа, а устанавливающее уравнение деформации растяжения кератинового волокна имеет вид:

$$\sigma(\varepsilon) = E_1\varepsilon + E_2(\varepsilon - \varepsilon_{c1})H(\varepsilon_{c1}) + E_3(\varepsilon - \varepsilon_{c2})H(\varepsilon_{c2}),$$

где  $E_1, E_2, E_3$  – упругие модули диапазона упругой деформации, диапазона структурного  $\alpha$ - $\beta$  перехода и пост-переходного периода соответственно,  $\varepsilon_{c1} = 0,02$ ,  $\varepsilon_{c2} = \sim 0,25$ ,  $H = 1/2(1 + \operatorname{sgn} x)$  – функция Хэвисайда.

Чтобы выбрать подходящую модель, мы использовали несколько моделей Муни-Ривлина: 2-, 3-, 5- и 9-параметрическую, получивших распространение в механике больших деформаций и доступных в литературе. Действительно, выбор определяющих соотношений и адекватных гиперупругих моделей является актуальной задачей современной механики. Несмотря на то, что в нашем случае исходная эмпирическая кривая  $\sigma$ - $\varepsilon$  имела одну точку перегиба (табл. 1, рис. 1), мы подвергли тестированию все существующие модели Муни-Ривлина.

#### Методы и организация исследования.

Определение и исследование параметров гиперупругих моделей производили в системе компьютерной алгебры Mathcad 13.0 и многоцелевом программном комплексе (ПК) ANSYS 2022 R2. В пакете Mathcad применяли встроенные функции *linfit*, при расчете корреляции моделей – функцию *corr*. При вводе данных в ПК ANSYS использовали инженерные (условные) и истинные (Коши) напряжения и деформации. Как известно,

$$\sigma_{\text{ист}} = \sigma_{\text{инж}} \lambda, \varepsilon_{\text{ист}} = \ln(1 + \varepsilon_{\text{инж}}), \lambda = \varepsilon + 1,$$

где  $\lambda$  – коэффициент деформации,  $\varepsilon$  – относительная деформация соответственно.

В 3-параметрической модели:

$$W_{3p} = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 1)(I_2 - 1), \quad (2)$$

в 5-параметрической:

$$W_{5p} = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{02}(I_2 - 3)^2 + C_{11}(I_1 - 1)(I_2 - 1), \quad (3)$$

При малых деформациях значения инженерных и истинных параметров почти идентичны. Ошибку аппроксимации вычисляли с помощью опции *Normalized error* ANSYS. Использовали расчетные формулы, приведенные в [10].

Модель Муни-Ривлина является дальнейшим развитием неогоуковской модели и одной из самых популярных среди всех гиперупругих моделей. Она была предложена М. Муни в 1940 году и выражена в терминах инвариантов Р. Ривлином в 1948 году. Чтобы описать поведение материала, модель Муни-Ривлина как функция инвариантов деформации с различными 2, 3, 5 или 9 параметрами, доступна в литературе, и подходящую модель можно выбрать в зависимости от типа кривой напряжения-деформации, как показано в таблице 1.

В 2-параметрической модели Муни-Ривлина функция плотности энергии деформированного несжимаемого материала ( $I_3=1$ ), каким предполагаются мягкие биологические ткани, определяется в виде линейной комбинации двух инвариантов правого тензора деформации Коши-Грина:

$$W_{2p} = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3), \quad (1)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  – первый и второй инварианты тензора, равные  $I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2$ ,

$$I_2 = \frac{1}{\lambda_1^2} + \frac{1}{\lambda_2^2} + \frac{1}{\lambda_3^2} \text{ соответственно, } \lambda_i = \varepsilon_i + 1 -$$

главные компоненты,  $\varepsilon_i$  – главные относительные деформации ( $i = 1, 2, 3$ ), а две материальные константы  $C_{10}$  и  $C_{01}$  имеют размерность напряжений (упругих модулей) и могут оцениваться по результатам испытаний. При этом начальный модуль сдвига для моделей Муни-Ривлина  $\mu_0 = 2(C_{10} + C_{01})$ .

в 9-параметрической:

$$W_{9p} = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{02}(I_2 - 3)^2 + C_{11}(I_1 - 1)(I_2 - 1) + C_{21}(I_1 - 1)^2(I_2 - 1) + C_{12}(I_1 - 1)(I_2 - 1)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3 + C_{03}(I_2 - 3)^3. \quad (4)$$

Соответствующие выражения для одноосных условных напряжений имеют вид:

- для 2-параметрической модели:

$$\sigma_{2p} = 2(C_{10} - \frac{C_{01}}{\lambda})(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}) = 2C_{10}(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}) + 2C_{01}(1 - \frac{1}{\lambda^3}), \quad (5)$$

- для 3-параметрической:

$$\sigma_{3p} = 2C_{10}(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}) + 2C_{01}(1 - \frac{1}{\lambda^3}) + 6C_{11}(\lambda^2 - \lambda - 1 + \frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda^3} - \frac{1}{\lambda^4}), \quad (6)$$

- для 5-параметрической:

$$\sigma_{5p} = 2C_{10}(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}) + 2C_{01}(1 - \frac{1}{\lambda^3}) + 6C_{11}(\lambda^2 - \lambda - 1 + \frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda^3} - \frac{1}{\lambda^4}) + 4C_{20}\lambda(1 - \frac{1}{\lambda^3})(\lambda^2 + \frac{2}{\lambda} - 3) + 4C_{02}(2\lambda + \frac{1}{\lambda^2} - 3)(1 - \frac{1}{\lambda^3}), \quad (7)$$

- для 9-параметрической:

$$\begin{aligned} \sigma_{9p} = & 2C_{10}(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}) + 2C_{01}(1 - \frac{1}{\lambda^3}) + 6C_{11}(\lambda^2 - \lambda - 1 + \frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda^3} - \frac{1}{\lambda^4}) + \\ & + 4C_{20}\lambda(1 - \frac{1}{\lambda^3})(\lambda^2 + \frac{2}{\lambda} - 3) + 4C_{02}(2\lambda + \frac{1}{\lambda^2} - 3)(1 - \frac{1}{\lambda^3}) + \\ & + 2C_{21}(1 - \frac{1}{\lambda^3})(2\lambda + \frac{1}{\lambda^2} - 3)(2\lambda^3 - 4\lambda + \frac{1}{\lambda^2} + 1) + \\ & + 2C_{12}(1 - \frac{1}{\lambda^3})(2\lambda + \frac{1}{\lambda^2} - 3)(4\lambda^2 - \frac{5}{\lambda} - 3\lambda - 6) + 6C_{30}(\lambda^2 + \frac{2}{\lambda} - 3)^2(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}) + \\ & + 6C_{03}(2\lambda + \frac{1}{\lambda^2} - 3)^2(1 - \frac{1}{\lambda^3}). \end{aligned} \quad (8)$$

Для простоты анализа чаще всего применяется двухпараметрическая модель.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Эмпирическая (треугольниками) и

модельные кривые, построенные на основании формул (5-8), представлены в рисунке 1, численные значения параметров моделей – в таблице 2.

Таблица 2

Численные значения параметров моделей Муни-Ривлина, МПа

Порядок модели	C <sub>10</sub>	C <sub>01</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>20</sub>	C <sub>02</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>30</sub>	C <sub>03</sub>
2-парам.	117	-17,1							
3-парам.	-9,87·10 <sup>2</sup>	1,22·10 <sup>3</sup>	3,78·10 <sup>2</sup>						
5-парам.	-3,26·10 <sup>3</sup>	3,58·10 <sup>3</sup>	-3,40·10 <sup>4</sup>	1,24·10 <sup>4</sup>	2,52·10 <sup>4</sup>				
9-парам.	-1,12·10 <sup>4</sup>	1,17·10 <sup>4</sup>	4,30·10 <sup>8</sup>	-7,81·10 <sup>7</sup>	-5,80·10 <sup>8</sup>	4,54·10 <sup>7</sup>	-4,56·10 <sup>7</sup>	-6,94·10 <sup>6</sup>	-2,84·10 <sup>7</sup>

Примечание: C<sub>10</sub>, C<sub>01</sub>, C<sub>11</sub>, C<sub>20</sub>, C<sub>02</sub>, C<sub>21</sub>, C<sub>12</sub>, C<sub>30</sub>, C<sub>03</sub> – материальные константы гиперупругих моделей Муни-Ривлина

Из полученных данных следует, что 2-параметрической модели Муни-Ривлина соответствует наибольшее стандартное

отклонение от опытных данных (15,74) и максимальная приведенная погрешность (8,23%), при этом коэффициент корреляции



– наименьший среди всех рассмотренных моделей (0,97). Наименьшее стандартное отклонение от экспериментальных данных (2,85) и минимальную приведенную погрешность (2,06%) продемонстрировала 9-параметрическая модель, при этом коэффициент корреляции расчетных и эмпирических данных был наибольшим среди всех моделей и составил 0,999. Отметим, что уже 3-параметрическая модель имела высокие показатели стандартного отклонения, погрешности и корреляции данных в сравнении с 2-параметрической. Таким образом, 9-параметрическая модель наилучшим образом описывает механические свойства волос человека.

Данные, приведенные в таблице 2, существенно отличаются от полученных с помощью ПК ANSYS. Поскольку в литературе нет единого мнения относительно ввода данных в этот программный комплекс (инженерные или истинные напряжения и деформации), мы приводим оба набора результатов.

Инженерные напряжения и деформации – 2-параметрическая модель:  $C_{10} = -47,96$ ,  $C_{01} = 198,61$ ; 3-параметрическая модель:  $C_{10} = -1,18 \cdot 10^3$ ,  $C_{01} = 1,43 \cdot 10^3$ ,  $C_{11} = 4,45 \cdot 10^2$ ; 5-параметрическая модель:  $C_{10} = -4,64 \cdot 10^3$ ,  $C_{01} = 5,01 \cdot 10^3$ ,  $C_{11} = -5,61 \cdot 10^4$ ;  $C_{20} = 2,03 \cdot 10^4$ ,  $C_{02} = 4,13 \cdot 10^4$ ; 9-параметрическая модель:  $C_{10} = -1,19 \cdot 10^4$ ,  $C_{01} = 1,24 \cdot 10^4$ ,  $C_{11} = -4,52 \cdot 10^8$ ;  $C_{20} = 2,26 \cdot 10^8$ ,  $C_{02} = 2,26 \cdot 10^8$ ;  $C_{21} = -5,96 \cdot 10^6$ ,  $C_{12} = -4,21 \cdot 10^7$ ,  $C_{30} = 8,88 \cdot 10^5$ ,  $C_{03} = 1,41 \cdot 10^7$  МПа. «Невязка» (normalized error) составила для 2-, 3- и 5-параметрических моделей 2,64, 1,33 и 1,08 соответственно.

Истинные напряжения и деформации – 2-параметрическая модель:  $C_{10} = 67,99$ ,  $C_{01} = 102,90$ ; 3-параметрическая модель:  $C_{10} = -1,80 \cdot 10^3$ ,  $C_{01} = 2,11 \cdot 10^3$ ,  $C_{11} = 8,92 \cdot 10^2$ ; 5-параметрическая модель:  $C_{10} = -7,49 \cdot 10^3$ ,  $C_{01} = 7,95 \cdot 10^3$ ,  $C_{11} = -1,77 \cdot 10^5$ ;  $C_{20} = 6,79 \cdot 10^4$ ,  $C_{02} = 1,21 \cdot 10^5$ ; 9-параметрическая модель:  $C_{10} = -1,48 \cdot 10^4$ ,  $C_{01} = 1,54 \cdot 10^4$ ,  $C_{11} = 1,51 \cdot 10^7$ ;  $C_{20} = -7,81 \cdot 10^6$ ,  $C_{02} = -7,28 \cdot 10^6$ ;  $C_{21} = 1,19 \cdot 10^7$ ,  $C_{12} = -1,52 \cdot 10^7$ ,  $C_{30} = -2,83 \cdot 10^6$ ,  $C_{03} = 7,80 \cdot 10^6$  МПа. «Невязка» (normalized error) составила

для 2-, 3- и 5-параметрических моделей 2,05, 0,46 и 0,11 соответственно.

В связи со значительным отличием результатов моделирования в программах Mathcad и ПК ANSYS, а также при использовании инженерных и истинных напряжений и деформаций в ПК ANSYS мы выполнили специальное исследование этого вопроса. Результаты представлены в рисунке 2. Как видно, все кривые, практически идентичные в исследованном интервале деформаций, сильно различаются вне его. Очевидно, что Mathcad и ANSYS используют разные алгоритмы при нахождении решения и «движутся» к нему по разным траекториям. Поэтому данные, полученные с помощью этих приложений, значительно различаются. Отметим, что переход в ANSYS на ввод истинных (Коши) напряжений и деформаций вместо инженерных (условных), рекомендованный в [11], не дал положительных результатов в плане уменьшения расхождений с данными Mathcad. На наш взгляд, различия в результатах расчетов Mathcad и ANSYS должны стать предметом дальнейшего отдельного изучения. Действительно, с одной стороны существуют вышеупомянутые рекомендации [11] и справочная информация ANSYS с другой [12], согласно которой при вводе экспериментальных данных в гиперупругие модели нужно использовать инженерные значения. По утверждению Т.В. Муриной и соавт. «...все напряжения в ANSYS должны быть заданы в условном виде, за исключением объемных, которые задаются в истинном виде» [13].

Модель Муни-Ривлина должна удовлетворять критерий устойчивости (табл. 3), чтобы воспроизводить реальное поведение материала. Критерий устойчивости может быть записан как:

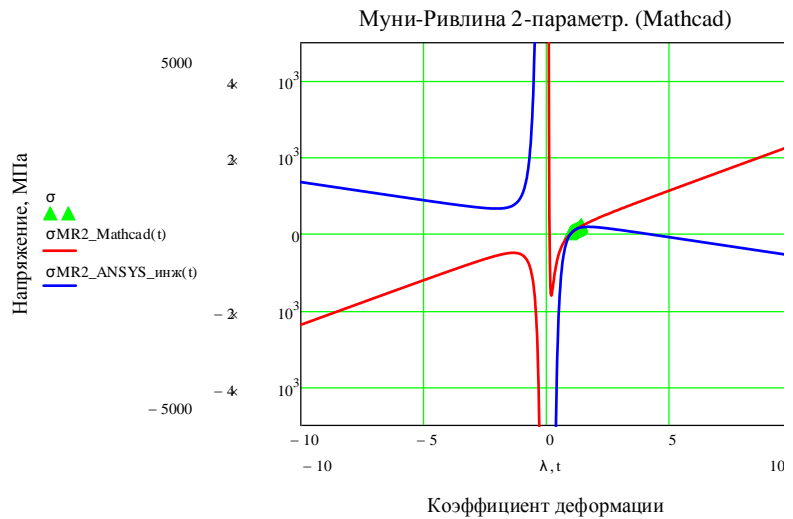
$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial \varepsilon_{ij}} \geq 0, \quad (9)$$

где  $\sigma_{ij}$  и  $\varepsilon_{ij}$  – компоненты тензоров напряжений и деформаций соответственно. В литературной форме критерий означает, что деформации должны расти при

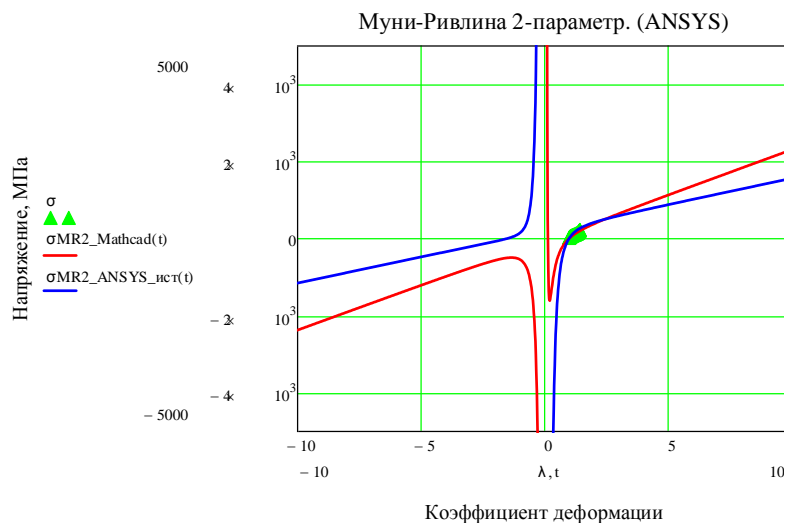
увеличении соответствующих приложенных напряжений. В контексте энергии деформации, связанной с увеличением

напряжения, она должна быть больше нуля согласно данному критерию.

А) Mathcad-ANSYS  
 (инженерные  
 напряжения и  
 деформации)



Б) Mathcad-ANSYS  
 (истинные напряже-  
 ния и деформации)



В) ANSYS (инженер-  
 ные напряжения и  
 деформации) –  
 ANSYS (истинные  
 напряжения и  
 деформации)

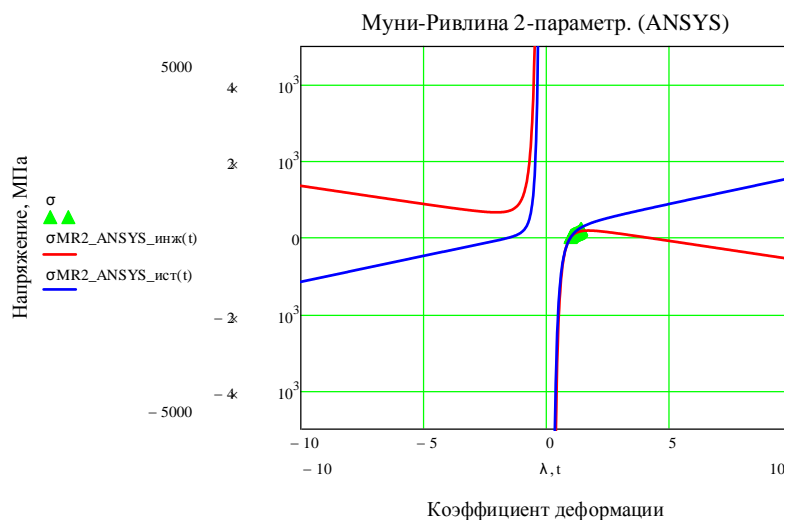


Рис. 2. Сравнение расчетных кривых, полученных в системе Mathcad и ПК ANSYS (2-параметрическая модель Муни-Ривлина)

Таблица 3

Критерии стабильности моделей Муни-Ривлина

Порядок модели	Критерии	Выполнение
2-параметрическая	$C_{10} + C_{01} \geq 0$	+
	$C_{01} \geq 0$	-
3-параметрическая	$C_{10} + C_{01} \geq 0$	+
	$C_{11} \geq 0$	+
5-параметрическая	$C_{10} + C_{01} \geq 0$	+
	$C_{20} \geq 0$	+
	$C_{02} \leq 0$	-
	$C_{20} + C_{02} + C_{11} \geq 0$	+
9-параметрическая	$C_{10} + C_{01} \geq 0$	+
	$C_{30} \geq 0$	-
	$C_{03} \leq 0$	+
	$C_{20} + C_{02} + C_{11} \geq 0$	-
	$C_{30} + C_{03} + C_{12} + C_{21} \geq 0$	-

Примечание:  $C_{10}, C_{01}, C_{11}, C_{20}, C_{02}, C_{21}, C_{12}, C_{30}, C_{03}$  – материальные константы гиперупругих моделей Муни-Ривлина

Это условие, разработанное Hill R. (1958) [14] и Drucker D.C. (1959) [15], предусматривает определенные ограничения на параметры моделей Муни-Ривлина

при одноосной нагрузке, как указано ниже (табл. 3). Например, для 2-параметрической модели при малых одноосных деформациях:

$$\sigma = 2C_{10}(1 + \varepsilon - (1 - 2\varepsilon)) + 2C_{01}(1 - (1 - 3\varepsilon)) = 2C_{10}(3\varepsilon) + 2C_{01}(3\varepsilon) = 6\varepsilon(C_{10} + C_{01}),$$

$$\text{откуда } \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = 6(C_{10} + C_{01}).$$

Здесь учтено, что  $\lambda = \varepsilon + 1$  и разложение в ряд:  $(1 + \varepsilon)^n = 1 + n\varepsilon$  при  $\varepsilon \ll 1$ .

Видно, что в ряде случаев некоторая часть неравенств не выполняется. Впрочем, это видно и из графиков (рис. 2), построенных для расширенного диапазона деформаций, хотя он отсутствует в исследованном деформационном интервале (рис. 1).

Отметим, что модельный начальный модуль Юнга  $E_0$ , определенный по графикам (рис. 1) как производная  $d\sigma/d\lambda$  ( $\lambda=1$ ), полностью совпал со значениями, найденными по формуле  $E_0 \approx 3\mu_0 = 6(C_{10} + C_{01})$ , и составил 599,89 МПа, 1,39, 1,92 и 2,84 ГПа. Для 9-параметрической модели эти данные весьма близки к результатам, полученным опытным путем.

**Заключение:**

1. Рассмотрены 2-, 3-, 5- и 9-параметрические гиперупругие модели

Муни-Ривлина волос человека и определены их параметры.

2. Наименьший коэффициент корреляции с опытными данными и, соответственно, наибольшее стандартное отклонение продемонстрировала 2-параметрическая модель ( $SD=15,742, R=0,974$ ), наибольший коэффициент и наименьшее стандартное отклонение – 9-параметрическая модель ( $SD=2,857, R=0,99889$ ). 9-параметрическая модель наилучшим образом описывает механические свойства волос человека, однако подтверждено, что и 3-параметрической модели уже достаточно, чтобы описать кривую нагружения с одной точкой перегиба.

3. Начальный модуль Юнга 9-параметрической модели составил  $E_0=2,84$  ГПа, что весьма близко к литературным данным, полученным опытным путем.

4. Данные, полученные в системе компьютерной алгебры Mathcad, существенно отличаются от полученных с помощью ПК ANSYS, что, очевидно, связано с различными алгоритмами вычислений, используемыми программами. При вводе данных в ПК ANSYS оперировали как с инженерными напряжениями и деформациями, так и с их истинными значениями.

5. Оценку устойчивости моделей Муни-Ривлина при одноосном нагружении

производили с помощью критерия Хилла и Друкера. Установлено, что определенные ограничения на параметры моделей не выполняются, что было подтверждено анализом кривых  $\sigma$ - $\lambda$ .

Результаты работы могут быть использованы для интерпретации связи параметров моделей с физическими свойствами материала и выбора модели, подходящей для конкретных практических целей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев, В. П. Нормальная физиология / В. П. Дегтярев, Н. Д. Сорокина. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 480 с.
2. Yamada, H. Strength of Biological Materials / H. Yamada. – Baltimore, 1973. – 297 p.
3. Fung, Y. C. Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues, 2nd Edition / Y. C. Fung. – Springer, June 18, 1993. – 586 p.
4. Муслов, С. А. Упругость и гиперупругость урогенитальных тканей человека и животных / С. А. Муслов, Е. А. Лапшихина, Д. С. Кобзев // Эффективная фармакотерапия. Урология и нефрология. – 2021. – Т. 17. – № 25. – С. 6-24.
5. Измерение и расчет характеристик упругости стенки общего желчного протока человека / С. А. Муслов, Н. В. Зайцева, А. А. Корнеев, А. А. Сеницын // Актуальные вопросы биологической физики и химии. – 2022. – Т. 7. – № 1. – С. 92-98.
6. Grebeniuk, L. A. The mechanical properties of human skin / L. A. Grebeniuk, A. A. Utenkin // Fiziologiya Cheloveka. – 1994. – № 20. – P. 157.
7. Measurement of Young's modulus and Poisson's ratio of Human Hair using Optical techniques / Hu Z., Li G., Xie H. [et al] // Article in Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. – December, 2009. – 10 p. DOI: 10.1117/12.851415.
8. Hearle, J. W. S. A critical review of the structural mechanics of wool and hair fibres / J. W. S. Hearle // International Journal of Biological Macromolecules. – 2000. – № 27(2). – pp. 123-138.
9. Structure and mechanical behavior of human hair / Y. Yu, W. Yang, B. Wang, M. Meyers // Materials Science and Engineering: C. – 2017. – № 73. – pp. 152-163.
10. Kumar, N. Hyperelastic Mooney-Rivlin model: Determination and physical interpretation of material constants / N. Kumar, V. V. Rao //

MIT International Journal of Mechanical Engineering. – 2016. – № 6(1). – pp. 43-46.

11. Browell, R. The Power of Nonlinear Materials Capabilities / R. Browell, G. Lin. – In: Ray Browell, ANSYS Product Line Manager. – ANSYS Solutions, 2000. – Vol. 2. – № 1. – 7 p.

12. Интернет-ресурс. Официальный сайт ANSYS. Раздел HELP – Mechanical APDL 2022 R2. Input the Hyperelastic Experimental Data. URL: [https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v222/en/ans\\_mat/Hlp\\_G\\_STRmcfhyp.html?q=hyperelastic](https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v222/en/ans_mat/Hlp_G_STRmcfhyp.html?q=hyperelastic). (дата обращения: 20.12.22)

13. Мурина, Т. А. Определение параметров гиперупругих моделей материалов в пакете ANSYS / Т. А. Мурина, В. В. Кузнецов, В. Н. Водяков // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы». Саранск, 2016. – С. 450-456.

14. Hill, R. General theory of uniqueness and stability in elastic-plastic solids / R. Hill // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. – 1958. – № 6(3). – pp. 236-249. DOI: 10.1016/0022-5096(58)90029-2.

15. Drucker, D. C. A definition of a stable inelastic material / D. C. Drucker // Journal of Applied Mechanics. – 1959. – № 26(1). – pp. 101-195. DOI: 10.1115/1.4011929.

#### REFERENCES

1. Degtyarev V.P., Sorokina N.D. Normal Physiology. Moscow: GEOTAR-Media, 2019. 480 p. (in Russ.)
2. Yamada H. Strength of Biological Materials. Baltimore, 1973. 297 p.
3. Fung Y.C. Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues, 2nd Edition. Springer, June 18, 1993. 586 p.

4. Muslov S.A., Lapshikhina E.A., Kobzev D.S. Elasticity and hyperelasticity of urogenital tissues of human and animals. *Effective Pharmacotherapy. Urology and Nephrology*, 2021, vol. 17, no. 25, pp. 6-24. (in Russ.)
5. Muslov S.A., Zajtseva N.V., Korneev A.A., Sinitsyn A.A. Measurement and calculation of characteristics describing elasticity of the common bile duct's wall in human. *Relevant Issues of Biological Physics and Chemistry*, 2022, vol. 7, no. 1, pp. 92-98. (in Russ.)
6. Grebeniuk L.A., Uten'kin A.A. The mechanical properties of human skin. I. *Fiziologiya Cheloveka*, 1994, no. 20, p. 157.
7. Hu Z., Li G., Xie H., Hua T., Chen P., Huang F. Measurement of Young's modulus and Poisson's ratio of Human Hair using Optical techniques. Article in *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. December, 2009. 10 p. DOI: 10.1117/12.851415.
8. Hearle J.W.S. A critical review of the structural mechanics of wool and hair fibres. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2000, no. 27(2), pp. 123-138.
9. Yu Y., Yang W., Wang B., Meyers M.A. Structure and mechanical behavior of human hair. *Materials Science and Engineering: C*, 2017, no. 73, pp. 152-163.
10. Kumar N., Rao V.V. Hyperelastic Mooney-Rivlin model: Determination and physical interpretation of material constants. *MIT International Journal of Mechanical Engineering*, 2016, no. 6(1), pp. 43-46.
11. Browell R., Lin G. The Power of Nonlinear Materials Capabilities. In: Ray Browell, ANSYS Product Line Manager. ANSYS Solutions, 2000, vol. 2, no. 1, 7 p.
12. Official ANSYS website. HELP section – Mechanical APDL 2022 R2. Input the Hyperelastic Experimental Data. Available at: [https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v222/en/ans\\_mat/Hlp\\_G\\_STRmcfhyp.html?q=hyperelastic](https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v222/en/ans_mat/Hlp_G_STRmcfhyp.html?q=hyperelastic) (accessed 20.12.22)
13. Murina V.A., Kuznetsov V.V., Vodikov V.N. Identifying parameters of hyperelastic material models with the ANSYS package. Collection of works of the International Scientific and Practical Conference “Energy Efficient and Resource Preserving Technologies and Systems. Saransk, 2016. pp. 450-456. (in Russ.)
14. Hill R. General theory of uniqueness and stability in elastic-plastic solids. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 1958, no. 6(3), pp. 236-249. DOI: 10.1016/0022-5096(58)90029-2.
15. Drucker D.C. A definition of a stable inelastic material. *Journal of Applied Mechanics*, 1959, no. 26 (1), pp. 101-195. DOI: 10.1115/1.4011929.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Сергей Александрович Муслов** – кандидат физико-математических наук, доктор биологических наук, профессор кафедры нормальной физиологии и медицинской физики МГМСУ им. А.И. Евдокимова, Москва, e-mail: muslov@mail.ru, elibrary AuthorID: 185513, ORCID ID: 0000-0002-9752-6804.

**Сергей Дарчоевич Арутюнов** – Заслуженный врач РФ, Заслуженный деятель науки РФ, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой цифровой стоматологии, МГМСУ им. А.И. Евдокимова, Москва, e-mail: sd\_arutjunov@mail.ru.

**Сергей Сергеевич Перцов** – доктор медицинских наук, профессор, директор ФГБНУ «НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина», Москва, e-mail: s\_pertsov@mail.ru.

**Карен Григорьевич Каракоев** – Заслуженный врач РФ, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ставрополь, e-mail: terstomsgma@yandex.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Sergej Aleksandrovich Muslov** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Normal Physiology and Medical Physics, Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, e-mail: muslov@mail.ru, elibrary AuthorID: 185513, ORCID ID: 0000-0002-9752-6804.

**Sergej Darchoevich Arutyunov** – Honored Doctor of Russia, Honored Scientist of Russia, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Digital Dentistry, Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, e-mail: sd\_arutjunov@mail.ru.

**Sergej Sergeevich Pertsov** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Director, Research Institute of Normal Physiology named after P.K. Anokhin, Moscow, e-mail: s\_pertsov@mail.ru.

**Karen Grigor'evich Karakov** – Honored Doctor of Russia, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Therapeutic Dentistry, Stavropol State Medical University, Stavropol, e-mail: ter-stomsgma@yandex.ru.

**Для цитирования:** Анализ механических свойств волос человека с помощью гиперупругих моделей Муни-Ривлина / С. А. Муслов, С. Д. Арутюнов, С. С. Перцов, К. Г. Караков // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_37

**For citation:** Muslov S.A., Arutyunov S.D., Pertsov S.S., Karakov K.G. Analysis of mechanical properties of human hair using hyperelastic Mooney-Rivlin models. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_37

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_38  
УДК 611.6

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_38  
UDC 611.6

## ПАРАМЕТРЫ ГИПЕРУПРУГИХ МОДЕЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ УРОГЕНИТАЛЬНЫХ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

С.А. Муслов<sup>1</sup>, А.А. Солодов<sup>1</sup>, К.Г. Каракон<sup>2</sup>, И.А. Рева<sup>3</sup>, С.Д. Арутюнов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Ставропольский государственный медицинский университет, г. Ставрополь, Россия

<sup>3</sup>Клинический медицинский центр «Кусково» МГМСУ им. А.И. Евдокимова, г. Москва, Россия

**Аннотация.** Исследованы гиперупругие модели биологических тканей урогенитальных органов человека и животных: неогуконская (англ. Neo-Hookean), 2-параметрическая Муни-Ривлина, Огдена 1-го порядка, 5-параметрические полиномиальные гиперупругие модели и модель Веронда-Вестманн (англ. V-W). Параметры гиперупругих моделей вычислялись с помощью 2-х альтернативных методов: в системе компьютерной алгебры Mathcad 13.0 (функции linfit и genfit) и в многоцелевом пакете программ ANSYS 2022 R2. Рассчитывали материальные константы моделей тканей. Значения коэффициентов  $\mu$ ,  $C_{10}$ ,  $C_{01}$ ,  $C_{20}$ ,  $C_{02}$  и  $C_{11}$  моделей в результате представлены в МПа, постоянная  $\alpha$  в модели Огдена – безразмерным параметром. Для гиперупругой неогуконской модели в файлах Mathcad вычислялся параметр  $\mu$ , ANSYS –  $2\mu$ . Исследованы деформационные свойства тканей: кривые  $\sigma$ - $\varepsilon$  и дифференциальные упругие модули.

**Ключевые слова:** биомеханика, гиперупругие модели, ткани органов мочевыделительной и репродуктивной системы.

## PARAMETERS OF HYPERELASTIC MODELS OF UROGENITAL ORGANS' BIOLOGICAL TISSUES OF HUMAN AND ANIMALS

S.A. Muslov<sup>1</sup>, A.A. Solodov<sup>1</sup>, K.G. Karakov<sup>2</sup>, I.A. Reva<sup>3</sup>, S.D. Arutyunov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia

<sup>3</sup>Clinical Medical Center "Kuskovo", Moscow, Russia

**Annotation.** We have studied hyperelastic models of biological tissues in urogenital organs of human and animals: the Neo-Hookean model, the 2 parameter Mooney-Rivlin model, the Ogden model, 5 parameter polynomial hyperelastic models and the Veronda-Westmann model. The hyperelastic model parameters were calculated with 2 alternative methods: in the Mathcad 13.0 system (using linfit and genfit functions) and in the ANSYS 2022 R2 software package. The matter constants of the tissue models were identified. Values of  $\mu$ ,  $C_{10}$ ,  $C_{01}$ ,  $C_{20}$ ,  $C_{02}$  and  $C_{11}$  were presented in MPa, the  $\alpha$  constant in the Ogden model – as a nondimensional parameter. For the Neo-Hookean model, the  $\mu$  parameter was identified, for ANSYS –  $2\mu$ . The authors have studied deforming properties of the tissues: the  $\sigma$ - $\varepsilon$  curves and the differential elastic modules.

**Keywords:** biomechanics, hyperelastic models, tissues of organs of the urinary and reproductive systems.

**Введение.** Решение урологических и гинекологических проблем мужчин и женщин [1-2] требует знаний, касающихся механических свойств урогенитальных тканей. Урогенитальные ткани, как почти все мягкие биологические ткани, характеризуются большими упругими деформациями

и незначительным изменением объема при деформации и являются гиперупругими. Для гиперупругих материалов закон Гука не выполняется, а для описания деформационных свойств гиперупругих материалов необходимо применение различных реологических моделей, при этом выбор и

установление параметров моделей для гиперупругих материалов представляют актуальную задачу биомеханики [3]. С точки зрения медицины оценка этих параметров может служить диагностическим показателем состояния урогенитальных тканей, а знание характеристик их деформационных свойств может быть применено при реконструктивных вмешательствах и разработке эндопротезов.

**Методы и организация исследования.** Выбор гиперупругих моделей для биологических материалов является нерешенной задачей биомеханики.

В 2-х параметрической модели Муни-Ривлина 2-го порядка при одноосном растяжении зависимость напряжения от деформации гиперупругих тел описывается функцией [4]:

$$\sigma = 2(C_{10} - \frac{C_{01}}{\lambda})(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}) = 2C_{10}(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}) + 2C_{01}(1 - \frac{1}{\lambda^3}), \quad (1)$$

где  $\sigma$  – инженерное (условное) напряжение, а две материальные константы  $C_{10}$  и  $C_{01}$  имеют размерность напряжений и определяют функцию плотности энергии

деформированного материала как линейную комбинацию двух инвариантов тензора деформации Коши-Грина:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3), \quad (2)$$

$I_1$  и  $I_2$  – первый и второй инварианты тензора, равные  $I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2$  и  $I_2 = \frac{1}{\lambda_1^2} + \frac{1}{\lambda_2^2} + \frac{1}{\lambda_3^2}$ , а значения  $\lambda_i = \varepsilon_i + 1$  ( $i=1, 2, 3$ ) – главные компоненты,  $\varepsilon_i$  – главные относительные деформации. Если  $C_{01}=0$ , модель эквивалентна неогукковской

модели. При малых деформациях вклад  $C_{10}$  практически отсутствует и можно показать, что  $E=6C_{10}$ . Модель Муни-Ривлина является дальнейшим развитием неогукковской модели.

В рамках гиперупругой модели Огдена формула для упругого потенциала при одноосной деформации имеет вид:

$$W = \sum_{p=1}^n \frac{\mu_p}{\alpha_p} (\lambda^{\alpha_p} - 3), \quad (3)$$

что дает

$$\sigma = \sum_{p=1}^n \mu_p (\lambda^{\alpha_p} - \lambda^{-\frac{1}{2}\alpha_p}), \quad (4)$$

где  $\mu_p$  и  $\alpha_p$  – материальные константы,  $n$  – порядок модели [5].

В полиномиальной 5-параметрической модели 2-го порядка соответствующие выражения имеют вид [6-7]:

$$W = \sum_{i=0, j=0}^n C_{ij} (I_1 - 3)^i \cdot (I_2 - 3)^j, \quad (5)$$



где  $i = 0, 1, 2, a$

$$\begin{aligned} \sigma = 2(\lambda - \lambda^{-2})[C_{10} + C_{01}\lambda^{-1} + 2C_{20}(\lambda^2 + 2\lambda^{-1} - 3) + 2\lambda^{-1}C_{02}(2\lambda + \lambda^{-2} - 3) + 3C_{11}(\lambda - 1 - \lambda^{-1} + \\ + \lambda^{-2})] = 2C_{10}(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}) + 2C_{01}(1 - \frac{1}{\lambda^3}) + 4C_{20}(\lambda^3 - 3\lambda + 1 + \frac{3}{\lambda^2} - \frac{2}{\lambda^3}) + 4C_{02}(2\lambda - 3 - \frac{1}{\lambda^2} + \frac{3}{\lambda^3} - \\ - \frac{1}{\lambda^5}) + 6C_{11}(\lambda^2 - \lambda - 1 + \frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda^3} - \frac{1}{\lambda^4}). \end{aligned} \quad (6)$$

Полиномиальная модель – это наиболее общий вариант записи потенциала энергии деформации. Она лежит в основе других известных моделей [3].

Неогуковскую модель можно получить из полиномиальной модели 1-го порядка при  $C_{01}=0$  и  $C_{10}=\mu/2$ , где  $\mu$  – начальный модуль сдвига. Она представляет собой модель, аналогичную закону Гука, которая может быть использована для прогнозирования нелинейного поведения напряжений и деформаций материалов, испытывающих большие деформации. Модель была

представлена Рональдом Ривлиным в 1948 году. В отличие от линейно-упругих материалов, кривая «напряжение-деформация» неогуковского материала не является линейной. На начальном этапе соотношение линейно, но в какой-то момент кривая выходит на плато. Это самая простая гиперэластичная модель, в которой используется постоянный модуль сдвига. Ее удобно использовать на начальном этапе, поскольку она требует минимального количества констант. Устанавливающие уравнения для этой модели:

$$\begin{aligned} W &= \frac{\mu}{2}(I_1 - 3), \\ \sigma &= 2\mu(\lambda^2 - \frac{1}{\lambda}) \end{aligned} \quad (7)$$

Модель Веронда-Вестманн (англ. Veronda-Westmann, V-W) задается соотношениями, указанными ниже, и весьма часто применяется при анализе материалов с

механическими нелинейными свойствами, поскольку хорошо коррелирует с опытными данными [8].

$$\begin{aligned} W &= C_1[e^{C_2(I_1-3)} - 1] - \frac{C_1C_2}{2}(I_2 - 3), \\ \sigma &= 2C_1C_2e^{C_2(\lambda^2+2\lambda^{-1}-3)}(\lambda - \lambda^{-2}) + 2C_3(1 - \lambda^{-3}) \end{aligned} \quad (8)$$

**Результаты исследования и их обсуждение.** Численные значения параметров моделей представлены в таблицах 1-5, а графические результаты моделирования в Mathcad – на рисунках 1-10.

*Паренхима почки.* Почки состоит из паренхимы, а также системы накопления и выведения мочи. В паренхиме расположены структурно-функциональные единицы – нефроны.

Известные экспериментальные кривые «напряжение-деформация» [9] были оцифрованы с помощью приложения GetData Graph Digitizer. Далее данные экспортировались в пакет программ для алгебраических вычислений Mathcad 13.0. Численные массивы описывались соотношениями  $\sigma = \alpha(e^{\beta\epsilon} - 1)$ , где коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  определялись с помощью функции genfit, приближающей набор данных к

экспонентам наилучшим образом. Значения модулей упругости почечной паренхимы оказались равными:  $E_{\min}=0,5$  кПа,  $E_{\text{ср}}=81$  кПа,  $E_{\max}=626$  кПа соответственно. Экспериментальная и расчетная кривые  $\sigma$ - $\varepsilon$

паренхимы почки представлены на одном графике (рис. 1).

Параметры гиперупругих моделей паренхимы почки систематизированы в таблице 1.

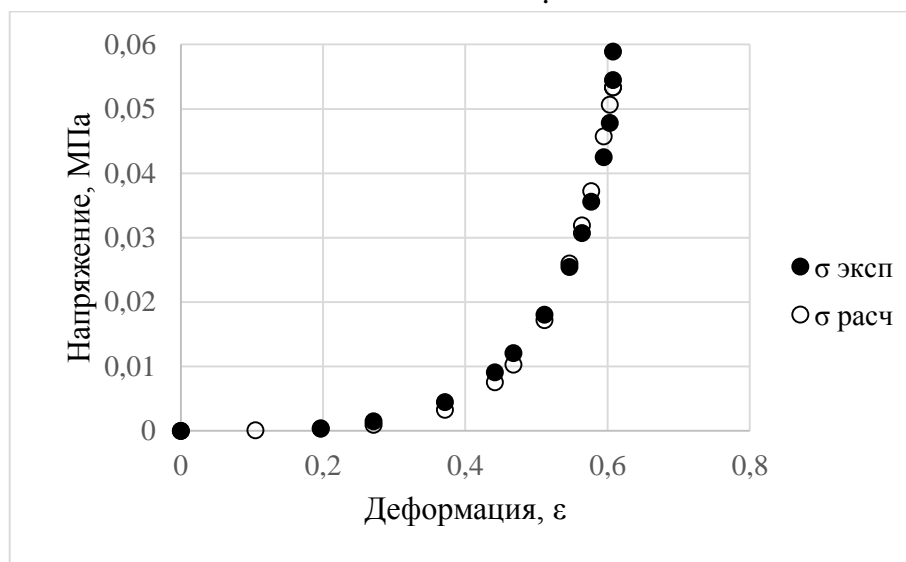


Рис. 1. Кривые  $\sigma$ - $\varepsilon$  почечной паренхимы (у лиц в возрасте от 10 до 19 лет)

Таблица 1

Параметры гиперупругих моделей паренхимы почки

Гиперупругая модель	Метод	$C_{10}$ , $\mu$ , $2\mu$	$C_{01}$ , $\alpha$	$C_{20}$	$C_{02}$	$C_{11}$	СКО/ $r$
Неогуковская	Mathcad	0,014					0,015/0,788
	ANSYS	0,025					
Муни-Ривлина, 2-х параметрическая	Mathcad	0,094	-0,123				0,008/0,923
	ANSYS	0,086	-0,111				
Огдена	Mathcad	$6,60 \cdot 10^{-6}$	18,977				0,002/0,9947
	ANSYS	1,56E-05	18,043				
Полиномиальная	Mathcad	-0,878	0,924	2,295	5,435	-6,756	0,002/0,995
	ANSYS	-0,646	0,680	1,789	4,161	-5,223	
Веронда-Вестманн	Mathcad	0,451	-0,568	0,289			0,005/0,9763

Примечание: СКО – среднее квадратичное отклонение;  $r$  – коэффициент корреляции;  $\mu$ ,  $\alpha$ ,  $C_{10}$ ,  $C_{01}$ ,  $C_{11}$ ,  $C_{20}$ ,  $C_{02}$  – материальные константы гиперупругих моделей; параметры вычислялись двумя методами: в системе Mathcad 13.0 и пакете программ ANSYS 2022 R2

В рамках неогуковской модели модуль Юнга паренхимы почки  $E=2(1+\nu)\mu \approx 3\mu=42$  кПа, где  $\nu \approx 0,5$  – коэффициент Пуассона, что соответствует диапазону модуля, установленному в Mathcad с помощью экспоненциальной модели (0,5-626 кПа).

Гиперупругие модели должны удовлетворять критерию устойчивости, чтобы воспроизводить реальное поведение материала. Критерий устойчивости может быть записан как:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial \varepsilon_{ij}} \geq 0, \quad (9)$$

где  $\sigma_{ij}$  и  $\varepsilon_{ij}$  – компоненты тензоров напряжений и деформаций соответственно. В литературной форме критерий означает, что деформации должны расти при увеличении приложенного напряжения. Это условие, разработанное Hill, R. (1958) [10] и Drucker, D.C. (1959) [11], предусматривает определенные ограничения на параметры моделей при одноосной нагрузке. Например, для 2-параметрической модели Муни-Ривлина при одноосной деформации оно

имеет вид:  $C_{10}+C_{01}>0$ ,  $C_{01}>0$  и для паренхимы почки не выполняется, о чем свидетельствует ход кривой  $\sigma_{MR}(t)$  на графике (рис. 2). Также на определенных участках гиперупругих кривых теряют устойчивость полиномиальная модель и модель Веронда-Вестманн паренхимы почки. Для неогуксовской модели и модели Огдена условие (9) выполняется во всем диапазоне деформаций.

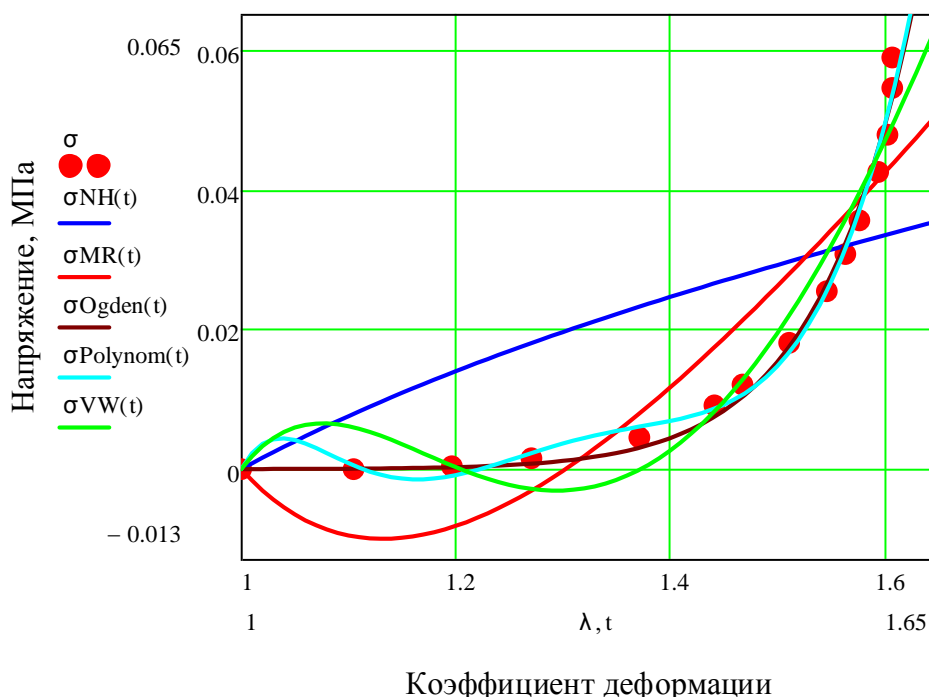


Рис. 2. Гиперупругие модели паренхимы почки

Примечание: NH – неогуксовская; MR – Муни-Ривлина; Ogden – Огдена; Polynom – полиномиальная; VW – Веронда-Вестманн

*Мочеточник.* I. Asami и соавт. (1961) [9] исследовали деформационные свойства мочеточника у 60 пациентов. Кривые напряжения-деформации в продольном и поперечном направлениях для образцов мочеточника у лиц в возрасте от 10 до 29 лет можно видеть на рисунке 3. Расчетные зависимости так же, как и для тканей почки были

получены нами в приложении Mathcad 13.0. Установлена выраженная анизотропия А механических свойств мочеточника в продольном (l) и поперечном (t) направлениях: отношение упругих модулей  $E_{lcp}/E_{tcp}$  равнялось 9,9, что значительно больше единицы и подтверждается ходом кривых на рисунке 3.

Отметим, что численные значения постоянных, рассчитанные в модели Муни-Ривлина и полиномиальной в Mathcad и ANSYS полностью совпали. При этом условие механической устойчивости Hill-Drucker  $C_{10}+C_{01}>0$ ,  $C_{01}>0$  в модели

Муни-Ривлина мочеточника, также как и для паренхимы почки, не выполняется.

Гиперупругие модели мочеточника представлены на рисунке 4, а их параметры – в таблице 2.

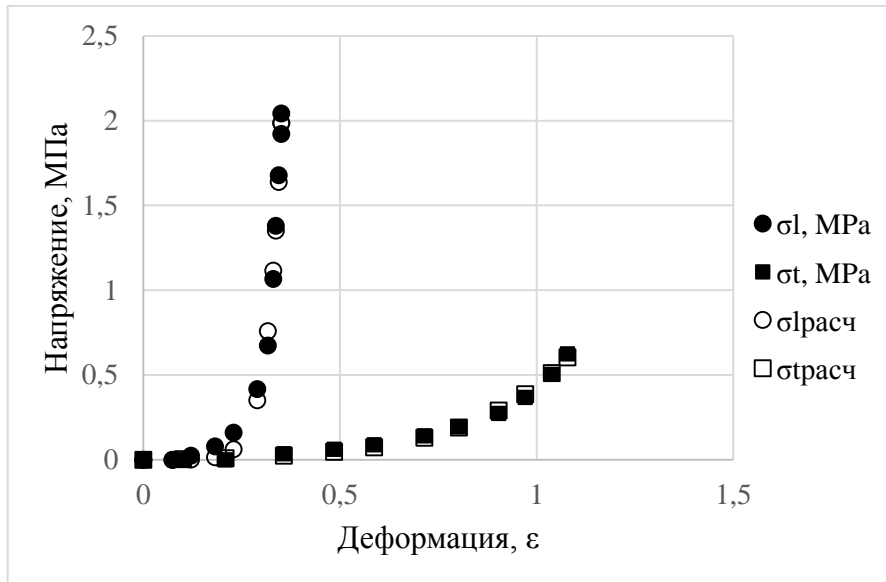


Рис. 3 Кривые  $\sigma$ - $\epsilon$  мочеточника у лиц в возрасте от 10 до 29 лет (экспериментальные и расчетные с помощью функции genfit Mathcad 13.0) в продольном (l) и поперечном (t) направлении

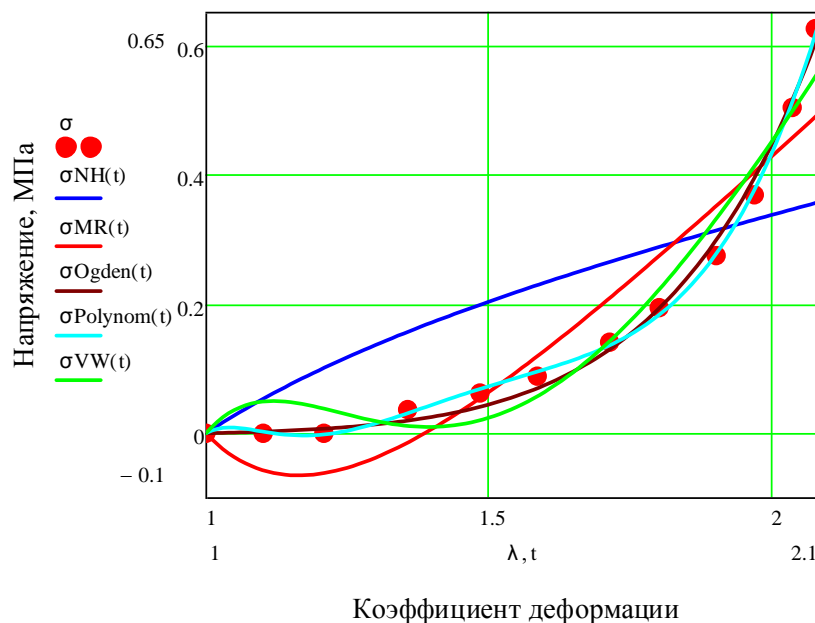


Рис. 4. Гиперупругие модели мочеточника

Примечание: NH – неогоковская; MR – Муни-Ривлина; Ogden – Огдена; Polynom – полиномиальная; VW – Веронда-Вестманн

Таблица 2

Параметры гиперупругих моделей мочеочника

Гиперупругая модель	Метод	$C_{10}, \mu, 2\mu$	$C_{01}, \alpha$	$C_{20}$	$C_{02}$	$C_{11}$	СКО/r
Неогуковская	Mathcad	0,096					0,132/0,839
	ANSYS	0,192					
Муни-Ривлина, 2-х параметрическая	Mathcad	0,398	-0,551				0,067/0,949
	ANSYS	0,398	-0,551				
Огдена	Mathcad	$1,76 \cdot 10^{-3}$	7,974				0,117/0,997
	ANSYS	0,0017	8,99				
Полиномиальная	Mathcad	-1,384	1,468	1,293	4,322	-4,357	0,007/0,9995
	ANSYS	-1,384	1,468	1,293	4,322	-4,357	
Веронда-Вестманн	Mathcad	2,049	-0,402	0,994			0,041/0,9809

Примечание: СКО – среднее квадратичное отклонение; r – коэффициент корреляции;  $\mu, \alpha, C_{10}, C_{01}, C_{11}, C_{20}, C_{02}$  – материальные константы гиперупругих моделей; параметры вычислялись двумя методами: в системе Mathcad 13.0 и пакете программ ANSYS 2022 R2

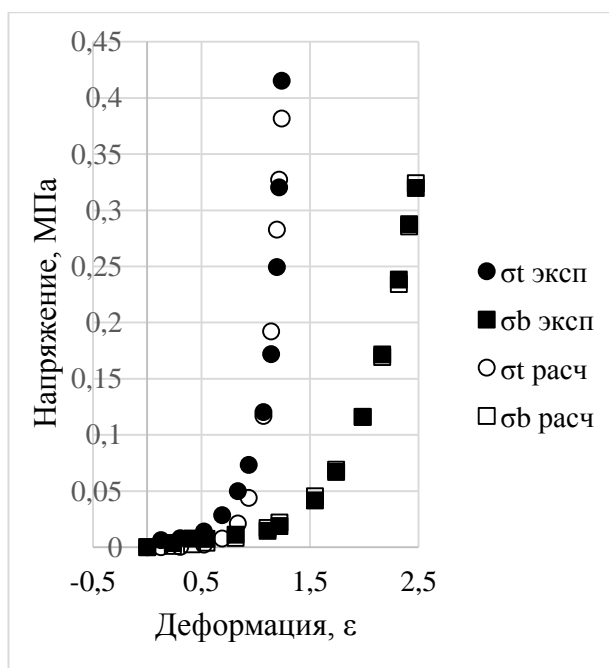


Рис. 5. Опытные и расчетные кривые  $\sigma$ - $\epsilon$  тела (b – body) и треугольника (t – trigone) мочевого пузыря пациентов в возрасте от 10 до 29 лет в продольном (l) и поперечном (t) направлениях

*Мочевой пузырь.* Полый мышечный орган у людей и других позвоночных, который накапливает мочу из почек перед удалением при мочеиспускании. Деформационные свойства стенки мочевого пузыря были исследованы у 59 пациентов [9]. Изучали механические характеристики тела

и треугольника Льево – образования в дне мочевого пузыря. При тех же напряжениях тело мочевого пузыря имеет гораздо большие удлинения, чем треугольник (рис. 5). Явная неоднородность упругих свойств стенок мочевого пузыря выражена безразмерным отношением усредненных модулей

Юнга треугольника  $E_t$  и тела пузыря  $E_b$ :  $A = E_{tcp}/E_{bcp} = 2,29$  ( $E_{tcp} = 316$  кПа,  $E_{bcp} = 137$  кПа), что соответствует более развитому мышечному слою треугольника, чем тела мочевого пузыря. Этот слой пузыря, сокращаясь, обуславливает мочеиспускание. Отношение максимальных значений  $E$  дает

еще большую величину  $A$ :  $E_{tmax}/E_{bmax} = 3,88$  ( $E_{tmax} = 2,79$  МПа,  $E_{bmax} = 0,72$  МПа,  $A = 3,88$ ) [12].

Результаты исследований гиперупругих свойств мочевого пузыря представлены на рисунке 6 и в таблице 3.

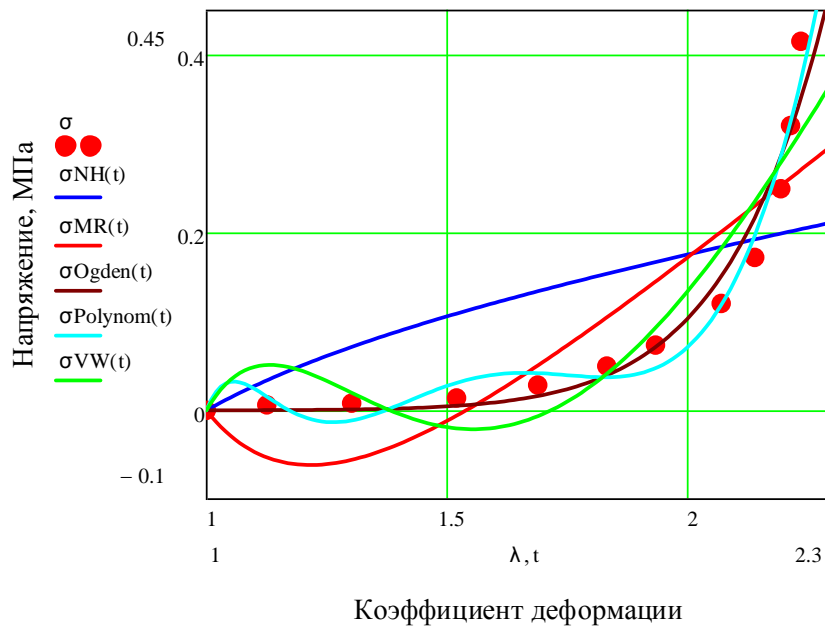


Рис. 6. Гиперупругие модели стенки мочевого пузыря

Примечание: NH – неогоковская; MR – Муни-Ривлина; Ogden – Огдена; Polynom – полиномиальная; VW – Веронда-Вестманн

Таблица 3

Параметры гиперупругих моделей мочевого пузыря (треугольник)

Гиперупругая модель	Метод	$C_{10}, \mu, 2\mu$	$C_{01}, \alpha$	$C_{20}$	$C_{02}$	$C_{11}$	СКО/г
Неогоковская	Mathcad	0,05					0,1/0,747
	ANSYS	0,100					
Муни-Ривлина, 2-х параметрическая	Mathcad	0,214	-0,329				0,068/0,874
	ANSYS	0,214	-0,329				
Огдена	Mathcad	$5,07 \cdot 10^{-5}$	10,988				0,028/0,9792
	ANSYS	$1,55E-06$	16,417				
Полиномиальная	Mathcad	-2,759	2,987	1,224	5,318	-4,559	0,022/0,9869
	ANSYS	-2,759	2,987	1,224	5,318	-4,559	
Веронда-Вестманн	Mathcad	2,188	-0,287	0,784			0,047/0,9407

Примечание: СКО – среднее квадратичное отклонение; г – коэффициент корреляции;  $\mu, \alpha, C_{10}, C_{01}, C_{11}, C_{20}, C_{02}$  – материальные константы гиперупругих моделей; параметры вычислялись двумя методами: в системе Mathcad 13.0 и пакете программ ANSYS 2022 R2

*Матка.* Матка представляет собой средний отдел репродуктивной системы женщин и самок животных. Деформационные свойства матки нескольких крольчих были изучены Т. Ohara (1953) (рис. 7-8,

табл. 4) [13]. Характеристики механических свойств ткани матки важны для понимания механических повреждений стенок матки и путей коррекции пролапса тазовых органов женщин.

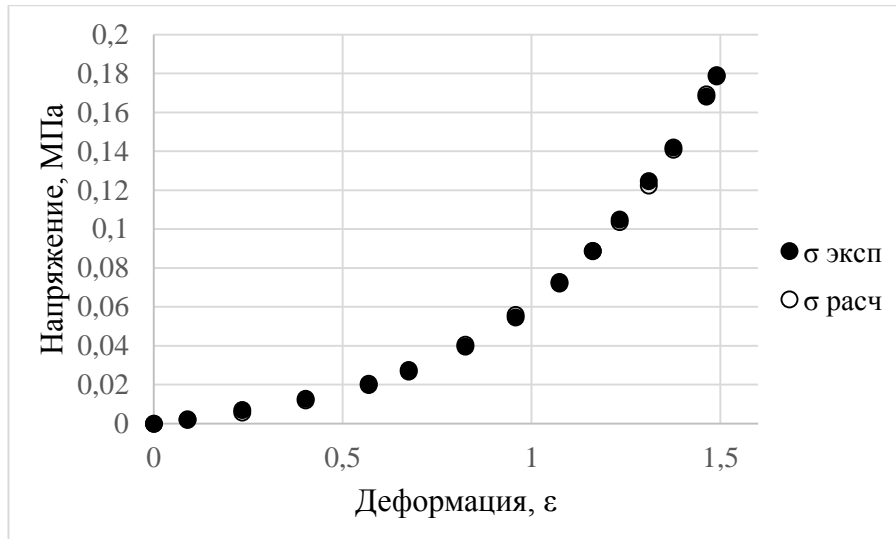


Рис. 7. Кривые  $\sigma$ - $\epsilon$  матки самки кролика. Продольное направление (опытная и расчетная кривые)

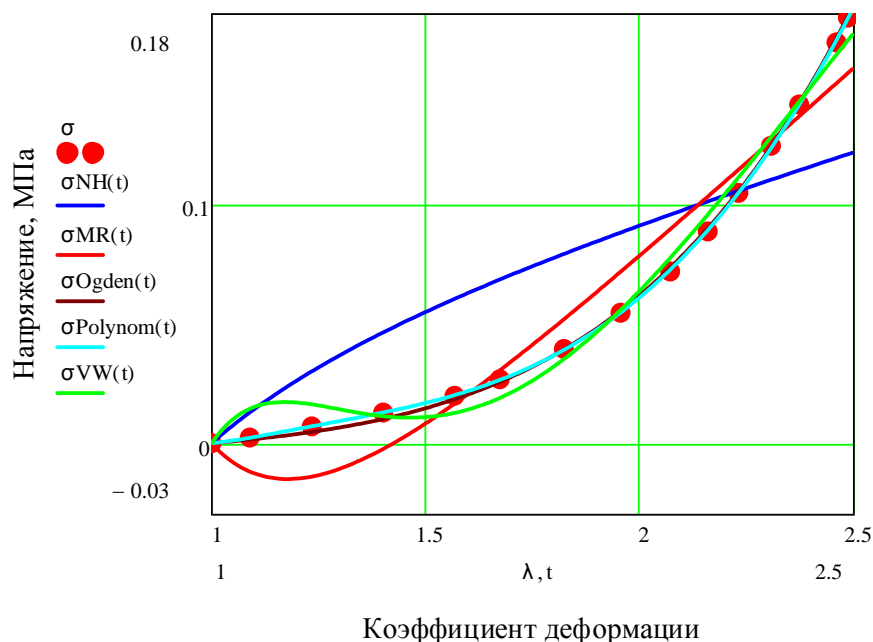


Рис. 8. Гиперупругие модели матки самки кролика

Примечание: NH – неогукская; MR – Муни-Ривлина; Ogden – Огдена; Polynom – полиномиальная; VW – Веронда-Вестманн

Таблица 4

Параметры гиперупругих моделей матки (самка кролика)

Гиперупругая модель	Метод	$C_{10}, \mu, 2\mu$	$C_{01}, \alpha$	$C_{20}$	$C_{02}$	$C_{11}$	СКО/ $\gamma$
Неогуковская	Mathcad	0,026					0,033/0,892
	ANSYS	0,052					
Муни-Ривлина, 2-х параметрическая	Mathcad	0,078	-0,111				0,014/0,974
	ANSYS	0,078	-0,111				
Огдена	Mathcad	$2,17 \cdot 10^{-3}$	4,841				0,001/0,9999
	ANSYS	*	*				
Полиномиальная	Mathcad	0,032	-0,029	0,012	$-5,55 \cdot 10^{-3}$	-0,018	0,0004/1
	ANSYS	0,032	-0,029	0,012	-0,006	-0,018	
Веронда-Вестманн	Mathcad	0,462	-0,322	0,192			0,006/0,9943

Примечание: СКО – среднее квадратичное отклонение;  $\gamma$  – коэффициент корреляции; \* – некорректность процедуры Curve fitting;  $\mu, \alpha, C_{10}, C_{01}, C_{11}, C_{20}, C_{02}$  – материальные константы гиперупругих моделей; параметры вычислялись двумя методами: в системе Mathcad 13.0 и пакете программ ANSYS 2022 R2

*Влагалище.* Влагалище – это полая эластичная мышечная трубка, который соединяет область наружных половых органов и матку.

Т. Ohara (1953) [13] исследовал упругие свойства стенки влагалища нескольких крольчих (рис. 9-10, табл. 5). На рисунке 9 показаны кривые напряжения деформации стенки влагалища крольчих в продольном и

поперечном направлениях. Видно, что стенка влагалища жестче в продольном направлении, чем в поперечном. Об этом говорит и значение коэффициента упругой анизотропии, определенное как безразмерное отношение среднего модуля упругости в продольном к среднему модулю упругости в поперечном (радиальном) направлении  $E_{lcp}/E_{tcp} = 1,83$ , т.е. почти 2 раза.

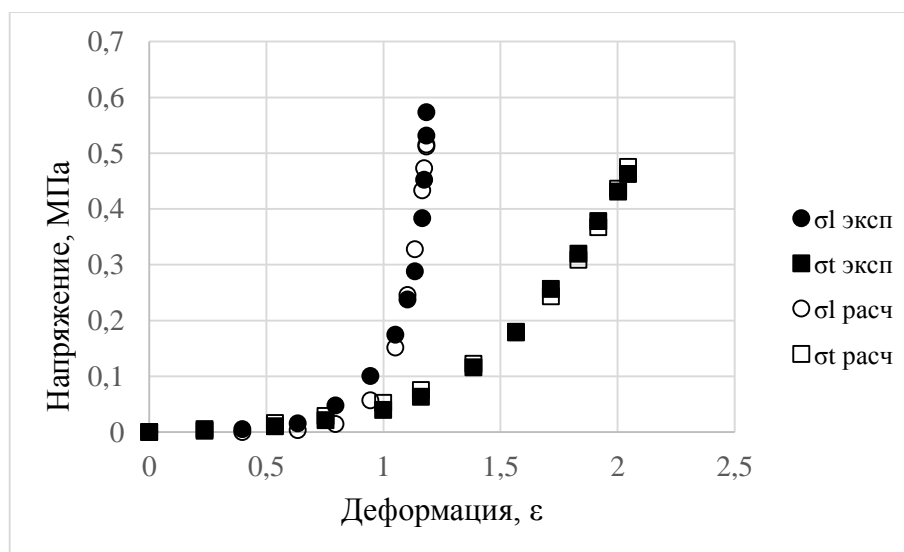


Рис. 9. Экспериментальные и расчетные кривые  $\sigma$ - $\epsilon$  стенки влагалища самки в продольном (l) и поперечном (t) направлениях



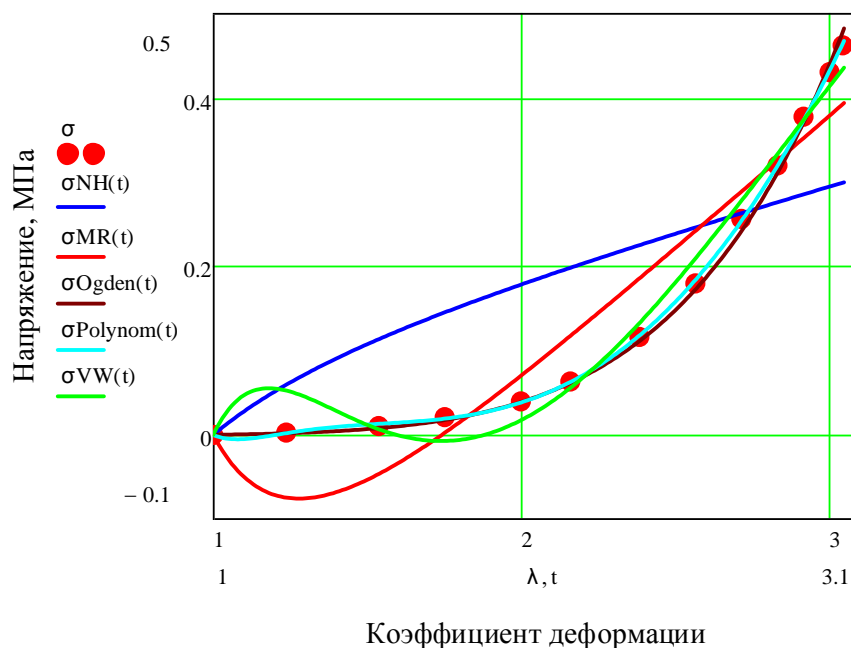


Рис. 10. Гиперупругие модели стенки влагалища (самка кролика)

Примечание: NH – неогукковская; MR – Муни-Ривлина; Ogden – Огдена; Polynom – полиномиальная; VW – Веронда-Вестманн

Таблица 5

Параметры гиперупругих моделей влагалища самки кролика

Гиперупругая модель	Метод	$C_{10}, \mu, 2\mu$	$C_{01}, \alpha$	$C_{20}$	$C_{02}$	$C_{11}$	СКО/r
Неогукковская	Mathcad	0,051					0,107/ 0,854
	ANSYS	0,102					
Муни-Ривлина, 2-х параметрическая	Mathcad	0,156	-0,272				0,051/ 0,956
	ANSYS	0,156	-0,272				
Огдена	Mathcad	$6,27 \cdot 10^{-4}$	5,96				0,008/0,9991
	ANSYS	0,00096	6,56				
Полиномиальная	Mathcad	0,223	-0,25	0,0097	-0,117	0,009	0,002/ 0,9999
	ANSYS	0,222	-0,250	0,0097	-0,116	0,009	
Веронда-Вестманн	Mathcad	1,769	-0,205	0,491			0,024/ 0,990

Примечание: СКО – среднее квадратичное отклонение; r – коэффициент корреляции;  $\mu, \alpha, C_{10}, C_{01}, C_{11}, C_{20}, C_{02}$  – материальные константы гиперупругих моделей; параметры вычислялись двумя методами: в системе Mathcad 13.0 и пакете программ ANSYS 2022 R2

### Заключение:

1. Анализ данных, приведенных в таблицах 1-5, показал, что результаты, полученные с помощью приложений Mathcad 13.0 и ANSYS 2022 R2, совпадают или очень близки.

2. Касательно адекватного выбора той или иной модели для описания гиперупругих свойств органов, как показали рисунки 1-10, результаты могут существенно различаться. Об этом свидетельствуют представленные в таблицах численные значения

среднего квадратичного отклонения СКО и коэффициента корреляции  $r$ . Наименьшие значения СКО наблюдались в моделях Огдена, полиномиальных моделях и моделях Веронда-Вестманн, соответственно для этих моделей зафиксирована наибольшая степень корреляции между опытными и расчетными данными (например, СКО=0,0004 в полиномиальной модели,  $r=1$  и СКО=0,0001,  $r=0,9999$  в модели Огдена стенки матки). Наибольшие значения СКО и наименьшие значения  $r$  были обнаружены у простейших гиперупругих моделей: неогукковской и Муни-Ривлина (например, СКО=0,015,  $r=0,788$  у неогукковской модели паренхимы почки, а также СКО=0,068,  $r=0,874$  в модели Муни-Ривлина мочевого пузыря). Численные значения постоянных, рассчитанные в моделях Муни-Ривлина и полиномиальной в Mathcad 13.0 и ANSYS 2022 R2 для мочеточника человека, матки и влагалища самки кролика, полностью совпали.

3. Для всех типов исследованных тканей мочевыводящей и репродуктивной систем условие механической устойчивости (стабильности) Hill-Drucker  $C_{10}+C_{01}>0$ ,  $C_{01}>0$  в моделях Муни-Ривлина материалов

не выполняется. На отдельных участках деформирования теряет устойчивость модель Веронда-Вестманн, а также полиномиальная модель (последняя – кроме тканей стенки матки самки кролика). Неогукковская модель и модель Огдена стабильны во всем диапазоне деформаций.

4. Параметры гиперупругой модели Огдена 1-го порядка стенки матки животных в приложении ANSYS получены не были, очевидно, вследствие несовершенства процедур итерации в работе программы при расчете данной модели.

5. Результаты работы могут быть использованы для интерпретации связи параметров моделей с физическими свойствами материала и выбора модели, подходящей для конкретных практических целей.

В заключении отметим, что определенные в данном исследовании коэффициенты гиперупругих моделей могут быть использованы при численном моделировании напряженно-деформированного состояния (НДС) тканей органов урогенитальной зоны, а характеристики деформационных свойств тканей – при реконструктивных вмешательствах и разработке эндопротезов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roccabianca, S. Understanding the mechanics of the bladder through experiments and theoretical models: where we started and where we are heading / S. Roccabianca, T. R. Bush // *Technology*. – Vol. 4. – № 1. – pp. 30-41.
2. Пушкарь, Д. Ю. Пропалс гениталий / Д. Ю. Пушкарь, П. И. Раснер, М. Ю. Гвоздев // *Русский медицинский журнал*. – 2013. – № 34. – С. 11.
3. Шмурак, М. И. Анализ гиперупругих моделей для описания поведения мягких тканей организма человека / М. И. Шмурак, А. Г. Кучумов, Н. О. Воронова // *Master`s Journal*. – 2017. – № 1. – С. 230-243.
4. A review on material models for isotropic hyperelasticity / S. K. Melly, L. Liu, Y. Liu, J. Leng // *Int J Mech Syst Dyn*. – 2021. – № 1. – pp. 71-88.
5. Ogden, R. W. Large deformation isotropic elasticity – on the correlation of theory and experiment for incompressible rubberlike solids / R. W. Ogden // *Proc. R. Soc. Lond. A*. – 1972. – Vol. 326. – № 1567. – pp. 565-584.
6. Rackl, M. Curve Fitting for Ogden, Yeoh and Polynomial Models / M. Rackl // *ScilabTEC 2015, 7th International Scilab Users Conference*. Paris, France, 21st and 22nd May 2015. – 18 p.
7. Calvo-Gallego, J. L. polynomial hyperelastic model for the mixture of fat and glandular tissue in female breast / J. L. Calvo-Gallego, J. Martínez-Reina, J. Domínguez // *Int. J. Numer. Meth. Biomed. Engng*. – 2015. – № 31(9). – Art. № e02723. DOI: 10.1002/cnm.2723.
8. Chanda, A. Biomechanical Modeling of Human Skin Tissue Surrogates / A. Chanda // *Biomimetics*. – 2018. – Vol. 3. – Art. № 18. DOI: 10.3390/biomimetics3030018.
9. Asami, I. Study on the strength of human urinary organs / I. Asami // *J. Kyoto Pref. Med. Univ*. – 1961. – Vol. 70. – pp. 767-788.
10. Hill, R. General theory of uniqueness and stability in elastic-plastic solids / R. Hill // *Journal of the*

Mechanics and Physics of Solids. – 1958. – № 6 (3). – pp. 236-249, DOI: 10.1016/0022-5096(58)90029-2.

11. Drucker, D. C. A definition of a stable inelastic material / D. C. Drucker // Journal of Applied Mechanics. – 1959. – № 26 (1). – pp. 101-195. DOI: 10.1115/1.4011929.

12. Муслев, С. А. Упругость и гиперупругость урогенитальных тканей человека и животных / С. А. Муслев, Е. А. Лапшихина, Д. С. Кобзев // Эффективная фармакотерапия. Урология и нефрология. – 2021. – Т. 17. – № 25. – С. 6-24.

13. Ohara, T. On the comparison of strengths of the various organs-tissues / T. Ohara // J. Kyoto Prev. Med. Univ. – 1953. – Vol. 53. – pp. 577-597.

#### REFERENCES

1. Roccabianca S., Bush T.R. Understanding the mechanics of the bladder through experiments and theoretical models: where we started and where we are heading. *Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 30-41.

2. Pushkar' D.Yu., Rasner P.I., Gvozdev M.Yu. Genital prolapse. *Russian Medical Journal*, 2013, no. 34, p. 11 (in Russ.)

3. Shmurak M.I., Kuchumov A.G., Voronova N.O. Hyperelastic models analysis for description of soft human tissues behavior. *Master's Journal*, 2017, no. 1, pp. 230-243. (in Russ.)

4. Melly S.K., Liu L., Liu Y., Leng J. A review on material models for isotropic hyperelasticity. *Int J Mech Syst Dyn*. 2021, no. 1, pp. 71–88.

5. Ogden R.W. Large deformation isotropic elasticity – on the correlation of theory and experiment for

incompressible rubberlike solids. *Proc. R. Soc. Lond. A*, 1972, vol. 326, no. 1567, pp. 565-584.

6. Rackl M. Curve Fitting for Ogden, Yeoh and Polynomial Models. ScilabTEC 2015, 7<sup>th</sup> International Scilab Users Conference. Paris, France. May 21<sup>st</sup> and 22<sup>nd</sup>, 2015. 18 p.

7. Calvo-Gallego J.L., Martínez-Reina J., Domínguez J. A polynomial hyperelastic model for the mixture of fat and glandular tissue in female breast. *Int. J. Numer. Meth. Biomed. Engng*, 2015, no. 31(9), art. no. e02723. DOI: 10.1002/cnm.2723.

8. Chanda A. Biomechanical Modeling of Human Skin Tissue Surrogates. *Biomimetic*, 2018, vol. 3(3), art. no. 18. DOI: 10.3390/biomimetics3030018.

9. Asami I. Study on the strength of human urinary organs. *J. Kyoto Pref. Med. Univ*, 1961, vol. 70, pp. 767-788.

10. Hill R. General theory of uniqueness and stability in elastic-plastic solids. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 1958, vol. 6 (3), pp. 236-249. DOI: 10.1016/0022-5096(58)90029-2.

11. Drucker D.C. A definition of a stable inelastic material. *Journal of Applied Mechanics*, 1959, no. 26 (1), pp. 101-195. DOI: 10.1115/1.4011929.

12. Muslov S.A., Prof., Lapshikhina E.A., Kobzev D.S. Elasticity and Hyperelasticity of Urogenital Tissues of Human and Animals. *Effective Pharmacotherapy. Urology and Nephrology*, 2021, vol. 17, no 25, pp. 6-24. (in Russ.)

13. Ohara T. On the comparison of strengths of the various organs-tissues. *J. Kyoto Prev. Med. Univ*, 1953, vol. 53, pp. 577-597.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Сергей Александрович Муслев** – кандидат физико-математических наук, доктор биологических наук, профессор кафедры нормальной физиологии и медицинской физики МГМСУ им. А.И. Евдокимова, Москва, elibrary AuthorID: 185513, ORCID ID 0000-0002-9752-6804, e-mail: muslov@mail.ru.

**Александр Анатольевич Солодов** – доктор медицинских наук, профессор, врач анестезиолог-реаниматолог, главный врач Клинического медицинского центра «Кусково» МГМСУ им. А.И. Евдокимова, заведующий кафедрой анестезиологии, реаниматологии и интенсивной терапии лечебного факультета МГМСУ им. А.И. Евдокимова, Москва, e-mail: Docsol@mail.ru.

**Карен Григорьевич Караков** – заслуженный врач РФ, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии, Ставропольский государственный медицинский университет, Ставрополь, e-mail: terstomsgma@yandex.ru.

**Игорь Анатольевич Рева** – член Европейской ассоциации урологов (EAU), Американской урологической ассоциации (AUA), Российского общества онкоурологов (РООУ), Российского общества урологов (РОУ), кандидат медицинских наук, исполняющий обязанности заведующего отделением урологии Клинического медицинского центра «Кусково» МГМСУ им. А.И. Евдокимова, Москва, e-mail: rewa-igor@rambler.ru.

**Сергей Дарчоевич Арутюнов** – Заслуженный врач РФ, Заслуженный деятель науки РФ, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой цифровой стоматологии МГМСУ им. А.И. Евдокимова, Москва, e-mail: sd\_arutjunov@mail.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Sergej Aleksandrovich Muslov** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Normal Physiology and Medical Physics, Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, elibrary AuthorID: 185513, ORCID ID: 0000-0002-9752-6804, e-mail: muslov@mail.ru.

**Aleksandr Anatol'evich Solodov** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Intensivist, Chief Physician of the “Kuskovo” Medical Center, Head of the Department of Anesthesiology, Resuscitation and Intensive Care of the Medical Faculty, Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, e-mail: Docsol@mail.ru.

**Karen Grigor'evich Karakov** – Honored Doctor of Russia, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Therapeutic Dentistry, Stavropol State Medical University, Stavropol, e-mail: terstomsgma@yandex.ru.

**Igor' Anatol'evich Reva** – Member of the European Urologist Association, American Urologist Association, Russian Association of Oncological Urology, Russian Society of Urology, Candidate of Medical Sciences, acting as a Head of the Urology Department in the “Kuskovo” Medical Center, Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, e-mail: rewa-igor@rambler.ru.

**Sergej Darchoevich Arutyunov** – Honored Doctor of Russia, Honored Scientist of Russia, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Digital Dentistry, Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, e-mail: sd\_arutjunov@mail.ru.

**Для цитирования:** Параметры гиперупругих моделей биологических тканей урогенитальных органов человека и животных / Муслов С. А., Солодов А. А., Караков К. Г. [и др.] / Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_28

**For citation:** Muslov S.A., Solodov A.A., Karakov K.G., Reva I.A., Arutyunov S.D. Parameters of hyperelastic models of biological tissues in urogenital organs of human and animals. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_38

Дата публикации: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_39  
УДК 796.035; 612.176.4

Publication date: 01.06.2023  
DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_39  
UDC 796.035; 612.176.4

## ВЛИЯНИЕ ЗАНЯТИЙ СКАНДИНАВСКОЙ ХОДЬБОЙ НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ЖЕНЩИН ЗРЕЛОГО ВОЗРАСТА

Е.Б. Тимофеева<sup>1</sup>, Г.И. Семёнова<sup>1</sup>, В.А. Шемятихин<sup>1</sup>, А.М. Тимофеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия

**Аннотация.** Для оценки эффективности оздоровительных тренировок на основе скандинавской ходьбы, уровня стресса и степени напряжения регуляторных систем у женщин зрелого возраста может быть использовано исследование variability сердечного ритма. В исследовании участвовали женщины, которые регулярно занимались оздоровительными занятиями на основе скандинавской ходьбы (n=10) – экспериментальная группа и женщины, которые не занимались регулярно физическими упражнениями (n=10) – контрольная группа. Было выявлено, что функциональное состояние женщин, занимающихся регулярно оздоровительными занятиями на основе скандинавской ходьбы, в большей степени характеризуется оптимальным уровнем регуляции физиологических функций. Также выявлено, что женщины не занимающиеся регулярно физическими упражнениями, находятся в состоянии, которое характеризуется выраженным истощением регуляторных систем.

**Ключевые слова:** скандинавская ходьба, функциональное состояние, variability сердечного ритма, ЭКГ, вегетативная нервная система, индекс напряжения.

## INFLUENCE OF NORDIC WALKING ON HEART RATE VARIABILITY OF MATURE WOMEN

E.B. Timofeeva<sup>1</sup>, G.I. Semenova<sup>1</sup>, V.A. Shemyatikhin<sup>1</sup>, A.M. Timofeeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

**Annotation.** To assess the efficiency of health training based on Nordic walking, stress levels and the degree of tension of regulatory systems in mature women, a study of heart rate variability may be applied. The study involved women who regularly engaged in health classes based on Nordic walking (n=10) – the experimental group and women who did not regularly exercise (n=10) – the control group. The authors have found that the functional state of women who regularly engage in health classes is more characterized by an optimal level of regulation of physiological functions. It was also revealed that women who do not exercise regularly are in a state characterized by pronounced depletion of regulatory systems.

**Keywords:** Nordic walking, functional state, heart rate variability, ECG, autonomic nervous system, stress index.

**Введение.** Организм женщин – сложный механизм, состоящий из множества органов и тканей. Наиболее важный орган человеческого организма – сердце. Сердце выполняет функцию насоса для продвижения крови по сосудам. Болезни сердца остаются основной причиной смертности во всем мире уже 15 лет. На долю болезней сердца на данный момент приходится 16% всех случаев смерти в мире [1]. Основной

причиной сердечно-сосудистых, дыхательных и других заболеваний у современных женщин являются условия жизни современного общества, такие как гиподинамия, стрессовые ситуации, вызванные в том числе пандемией COVID-19 и геополитической обстановкой в мире. Для борьбы с «болезнями цивилизации», такими как гиподинамия и эмоциональные перегрузки, необходима разработка эффективных мер.

Скандинавская ходьба представляет собой оздоровительную фитнес-технологию, доступную для людей любого возраста с разным уровнем физической тренированности и функционального состояния. Ходьба со специальными палками является аэробной нагрузкой. Тренировки по скандинавской ходьбе проходят на свежем воздухе, в парках и лесопарковых зонах. Скандинавская ходьба улучшает работу внутренних органов, опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой и нервной системы, укрепляет мышцы и связки, повышает тонус [2-3]. Посредством ходьбы с палками представляется возможным снять нервное напряжение. Зарубежные и отечественные научные исследования показывают, что ходьба с палками нормализует сон, улучшает депрессию, повышает общую устойчивость к повреждающим воздействиям и неблагоприятным факторам у людей разного возраста [4-5].

При разработке методики оздоровительных тренировок на основе скандинавской ходьбы важно учитывать персональные особенности организма женщин зрелого возраста. Для оценки эффективности оздоровительных тренировок на основе скандинавской ходьбы, уровня стресса и степени напряжения регуляторных систем у женщин зрелого возраста может быть использовано исследование variability сердечного ритма. Исследование variability сердечного ритма является эффективным методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека, регуляции сердечно-сосудистой системы, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы [6].

Цель исследования: выявление влияния оздоровительных занятий на основе скандинавской ходьбы на variability сердечного ритма (VCP) у женщин зрелого возраста.

**Методы и организация исследования.** Исследование проводилось в Уральском федеральном университете на кафедре

теории физической культуры. В исследовании принимали участие 2 группы женщин зрелого возраста от 34 до 58 лет, проживающих в г. Екатеринбург. Испытуемые женщины были разделены на 2 группы: женщины, которые регулярно (3 раза в неделю) занимались оздоровительными тренировками на основе скандинавской ходьбы в течение двух лет, с марта 2020 года по март 2022 года (n=10) – экспериментальная группа и женщины, которые не занимались регулярно физическими упражнениями (n=10) – контрольная группа.

Регистрация показателей и статистическая обработка проводились на аппаратно-программном комплексе «Варикард 3.0» с программой «Иским 6.1» (ООО «РАМЕНА», Россия) в соответствии с требованиями Европейского Кардиологического общества [7]. Перед началом проведения измерений обследуемые женщины были ознакомлены с правилами тестирования. Измерения проводились в утреннее время с 8 до 11 часов в положении сидя в состоянии покоя. Длительность записи составляла пять минут при температуре воздуха  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

При проведении тестирования было получено большое количество данных: электрокардиограмма (ЭКГ), кардиоинтервалограмма, показатель активности регуляторных систем (ПАРС+), гистограмма, скатерграмма и другие показатели сердечного ритма. В ходе исследования, в соответствии с уровнем значимости (p), определены значимые показатели ( $p < 0,01$ ) variability сердечного ритма, такие как: среднее квадратическое отклонение (SDNN, мс), квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар RR-интервалов (RMSSD, мс), суммарная мощность спектра (TP, мс<sup>2</sup>), индекс напряжения (ИН, усл.ед.), мощность спектра высокочастотного компонента variability от суммарной мощности колебаний (HF, %), мощность спектра низкочастотного компонента variability от суммарной мощности колебаний (LF, %), разность между максимальным и

минимальными значениями кардиоинтервалов ( $MxDMn$ , мс), коэффициент вариации полного массива кардиоинтервалов ( $CV$ , %) [6].

Результаты данной работы базируются на методах математического, статистического анализа и сравнения показателей вариабельности сердечного ритма с учетом исходного фона, нагрузок физического и психоэмоционального характера.

Рассчитывали средние величины ( $M \pm m$ ) и стандартное отклонение результатов измерения. Достоверность различий определялась по t-критерию Стьюдента. Статистическая обработка полученных результатов выполнена с использованием табличного редактора Excel. Нормальность распределения определялась на основе критерия Колмогорова-Смирнова.

**Результаты исследования и их обсуждение.** В ходе обработки результатов было выявлено, что общее функциональное

состояние женщин экспериментальной группы характеризуется оптимальным уровнем регуляции физиологических функций, однако функциональное состояние женщин контрольной группы характеризуется выраженным истощением регуляторных систем. Об этом говорит индекс ПАРС+ (усл.ед.). Среднее значение ПАРС+ в контрольной группе – 5,3 усл.ед., что свидетельствует о нахождении организма в состоянии функционального напряжения. Среднее значение ПАРС+ в экспериментальной группе – 2,4 усл.ед., что соответствует состоянию нормы или удовлетворительной адаптации.

Средний уровень функционирования системы кровообращения, показателем которого является частота сердечных сокращений (ЧСС) в экспериментальной группе ниже – 66,8 уд/мин, чем в контрольной группе – 80,1 уд/мин,  $p < 0,001$  (табл.), что говорит о лучшей тренированности женщин в экспериментальной группе.

Таблица

Различия между основными показателями вариабельности сердечного ритма в контрольной и экспериментальной группах

	ПАРС+, усл.ед.	ЧСС, уд/мин	ИН, усл.ед.	SDNN, мс
$\bar{x}_э$	2,4	66,8	127,2	47,3
$\bar{x}_к$	5,3	80,1	326,2	27,3
t	3,8	4,6	7,7	4,5
p	0,01	0,001	0,001	0,001

Примечание:  $\bar{x}_э$  – среднее значение в экспериментальной группе;  $\bar{x}_к$  – среднее значение в контрольной группе; p – уровень значимости; t – критерий Стьюдента; ЧСС – частота сердечных сокращений; ИН – индекс напряжения; ПАРС+ – показатель активности регуляторных систем; SDNN – среднее квадратическое отклонение

ИН повышается с усилением тонуса симпатической нервной системы при физических и стрессовых нагрузках. У женщин зрелого возраста из экспериментальной группы среднее значение ИН равно 123,9 усл.ед., что соответствует норме (от 70 до 150 усл.ед.), в то время как средний показатель ИН в контрольной группе значительно выше нормы и составляет 326,2 усл.ед. У женщины из экспериментальной группы ИН, характеризующий степень напряжения регуляторных систем, значительно ниже, чем у женщин из контрольной группы. Оценка достоверности различий

подтверждается критерием Стьюдента ( $t=7,7$ ).

Показатель SDNN [8] говорит о влиянии дыхательной системы на ритм сердца. Все участники экспериментальной группы имеют SDNN в норме (от 40 до 80 мс), однако женщины в контрольной группе имеют сниженный SDNN (среднее значение – 27,3 мс). Пониженный уровень SDNN свидетельствует о значительном напряжении регуляторных и адаптивных систем, когда в процесс регуляции включаются высшие уровни управления, такое состояние говорит о возможной общей ваготонии.

При сравнении фоновых значений вариабельности ритма сердца в покое у женщин зрелого возраста различия достоверны на высоком уровне,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,001$  (табл.).

При рассмотрении скатерограммы было выявлено, что кардиоинтервалы в основном находятся в норме, однако в экспериментальной группе есть 2 женщины с умеренной тахикардией и 2 с умеренной брадикардией, в то время как в контрольной группе 3 человека имеют выраженную тахикардию.

Обычно дыхательная составляющая (HF) занимает 40-55% суммарной мощности спектра. При анализе спектрального показателя HF было выявлено снижение относительно нормы у 4 человек из контрольной группы, что говорит о смещении вегетативного баланса в сторону преобладания симпатического отдела. Однако в экспериментальной группе 6 человек имеют незначительное повышение относительно нормы, это свидетельствует об умеренном преобладании центральной или автономной системной регуляции.

Можно сказать, что организм женщин из экспериментальной группы, которые регулярно занимаются скандинавской ходьбой, более устойчив к эмоциональным и

физическим нагрузкам. При регулярных занятиях скандинавской ходьбой функциональное состояние организма женщин позволяет легче адаптироваться к комплексу стресс-факторов различной природы.

**Заключение.** Проведенное исследование показало, что функциональное состояние женщин зрелого возраста, занимающихся регулярно оздоровительными тренировками на основе скандинавской ходьбы, в большей степени характеризуется оптимальным уровнем регуляции физиологических функций. Организм женщин хорошо справляется со стрессом. Можно сказать, что большинство женщин, не занимающихся регулярно физическими упражнениями, находятся в состоянии, которое характеризуется выраженным истощением регуляторных систем. Женщинам зрелого возраста из контрольной группы даны рекомендации по устранению факторов риска для их организма, а именно наладить режим сна, питания, труда, отдыха и физических упражнений на свежем воздухе. Это необходимо для обеспечения здоровья женщин зрелого возраста, а также профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всемирная организация здравоохранения. URL: <https://www.who.int/ru/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public> (дата обращения: 12.01.2023).
2. Ачкасов, Е. Е. Основы скандинавской ходьбы: учебное пособие / Е. Е. Ачкасов, К. А. Володина, С. Д. Руненко. – Москва: 2018. – С. 224.
3. Владимиров, О. А. Лечебная дозированная ходьба как новая современная форма ЛФК в санаторно-курортных условиях: методические рекомендации / О. А. Владимиров. – Киев: Олимпийская литература, 2011. – С. 19.
4. Адаптация к физической нагрузке женщин зрелого возраста: (опыт применения курса оздоровительной гимнастики) / З. Ф. Зверева, Е. В. Морошник, О. В. Еланская, Н. А. Исаева // Ученые записки ун-та им. П.Ф. Лесгафта. – 2019. – № 2 (168). – С. 152-158.
5. The Effect of Nordic Walking Training with Poles with an Integrated Resistance Shock Absorber on the Functional Fitness of Women over the Age of 60 / Katarzyna M., Janusz M., Magdalena C-W. [et al] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Vol. 17. – № 7. – Art. № 2197. DOI: 10.3390/ijerph17072197.
6. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (часть 1) / Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. [и др.] // Вестник аритмологии. – 2002. – № 24. – С. 65-86.
7. Laborde, S. Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting / S. Laborde, E. Mosley, J. F. Thayer // Frontiers in Psychology – 2017. – № 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>.



8. Шлык, Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов / Н. И. Шлык. – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2009. – 259 с.

#### REFERENCES

1. World Health Organization website. Available at: <https://www.who.int/ru/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public> (accessed 12.01.2023). (in Russ.)
2. Achkasov E.E., Volodina K.A., Runenko S.D. Fundamentals of Nordic walking: textbook. Moscow, 2018. p. 224. (in Russ.)
3. Vladimirov O.A. Therapeutic metered walking as a new modern form of physical therapy in sanatorium-resort conditions: methodological recommendations. Kiev: Olimpijskaya literatura, 2011. p. 19. (in Russ.)
4. Zvereva Z.F., Moroshnik E.V., Elanskaya O.V., Isaeva N.A. Adaptation to physical activity of women of mature age (experience of application of a course of fitness training). *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2019, no. 2 (168), pp. 152-158. (in Russ.)
5. Katarzyna M., Janusz M., Magdalena C-W., Szeklicki R., Maćkowiak Z., Sadowska D.,

- Stemplewski R. The Effect of Nordic Walking Training with Poles with an Integrated Resistance Shock Absorber on the Functional Fitness of Women over the Age of 60. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 7, art. no. 2197. DOI: 10.3390/ijerph17072197
6. Baevskij R.M., Ivanov G.G., Chirejkin L.V., Gavrilushkin A.P., Dovgalevskij P.Ya., Kukushkin Yu.A., Mironova T.F., Prilutskij D.A., Semenov A.V., Fedorov V.F., Fleishman A.N., Medvedev M.M. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (part 1). *Journal of Arrhythmology*, 2002, no. 24, pp. 65-86. (in Russ.)
7. Laborde S., Mosley E., Thayer J.F. Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Frontiers in Psychology*, 2017, no. 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>
8. Shlyk N.I. Heart rate and type of regulation in children, adolescents and athletes. Izhevsk: Publishing House “Udmurt University”, 2009. 259 p. (in Russ.)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Евгения Борисовна Тимофеева** – аспирант, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, e-mail: jonytim79@gmail.com.

**Галина Ивановна Семёнова** – кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры теории физической культуры, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, e-mail: galsem@list.ru.

**Вадим Александрович Шемятихин** - кандидат педагогических наук, доцент кафедры физической культуры, Уральский федеральный университет, Екатеринбург, e-mail: v19051964@mail.ru.

**Анна Михайловна Тимофеева** – студент, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, e-mail: timofeevaam7@gmail.com.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Evgenia Borisovna Timofeeva** – Post-Graduate Student, Ural Federal University, Ekaterinburg, e-mail: jonytim79@gmail.com.

**Galina Ivanovna Semyonova** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical Culture Theory, Ural Federal University, Ekaterinburg, e-mail: galsem@list.ru.

**Vadim Aleksandrovich Shemyatikhin** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Culture, Ural Federal University, Ekaterinburg, e-mail: v19051964@mail.ru.

**Anna Mikhajlovna Timofeeva** – Student, Ural State Medical University, Ekaterinburg, e-mail: timofeevaam7@gmail.com.

**Для цитирования:** Влияние занятий скандинавской ходьбой на вариабельность сердечного ритма у женщин зрелого возраста / Е. Б. Тимофеева, Г. И. Семёнова, В. А. Шемятихин, А. М. Тимофеева // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_39

**For citation:** Timofeeva E.B., Semenova G.I., Shemyatikhin V.A., Timofeeva A.M. Influence of Nordic walking on heart rate variability of mature women. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2. DOI: 10.24412/2588-0500-2023\_07\_02\_39



**СКФНКЦ  
ФМБА России**

Северо-Кавказский федеральный  
научно-клинический центр



## Контакты

Тел.: 8 (906) 471-14-05  
Тел./факс: 8 (87934) 992-91  
e-mail: [svb@skfmba.ru](mailto:svb@skfmba.ru)

Адрес: Россия, Ставропольский край,  
г.Ессентуки, ул.Советская, д.24  
Почтовый индекс: 357340

[www.svbskfmba.ru](http://www.svbskfmba.ru)