Дата публикации: 01.12.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_04_1
УДК 612.176.4

Publication date: 01.12.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_04_1
UDC 612.176.4

ИНТЕГРАЦИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА ЮНЫХ СПОРТСМЕНОВ ШОРТ-ТРЕКОВИКОВ ПРИ ДОСТИЖЕНИИ РАЗЛИЧНОГО РЕЗУЛЬТАТА В ПОКАЗАТЕЛЯХ АНАЭРОБНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ

Т.М. Брук, П.А. Терехов
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Смоленский государственный университет спорта», г. Смоленск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Цель работы – выявить интеграцию физиологических функций организма юных спортсменов при достижении различного результата на гликолитическую нагрузку по ведущим маркерам функционального состояния и специальной работоспособности. ***Методы.*** В исследовании приняли участие 28 юных шорт-трековиков города Смоленска. Функциональная диагностика включала оценку нейронального метаболизма, вариабельности сердечного ритма и микрогемоциркуляции крови. Оценка специальной работоспособности состояла из полевого и велоэргометрического тестирований. ***Результаты*** исследования показали, что достижение высокого результата в анаэробной выносливости у шорт-трековиков 13 лет сопровождалось меньшими сдвигами его «физиологической цены» по сравнению с 12-летними атлетами. ***Заключение.*** Полученные данные способствовали построению модели интегративной диагностики текущего состояния организма у юных шорт-трековиков различного возраста.

Ключевые слова: интеграция, вариабельность сердечного ритма, микрогемоциркуляция, нейроэнергокартирование, велоэргометрия, анаэробная выносливость, специальная работоспособность, шорт-трек.

INTEGRATION OF PHYSIOLOGICAL FUNCTIONS OF THE BODY OF YOUNG SHORT-TRACK ATHLETES WHEN ACHIEVING VARIOUS RESULTS IN ANAEROBIC ENDURANCE INDICATORS

T.M. Bruk, P.A. Terekhov
Smolensk State University of Sports, Smolensk, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The aim of the work is to identify the integration of physiological functions of the body of young athletes when achieving different results on the glycolytic load according to the leading markers of the functional state and special performance. ***Methods.*** The study involved 28 young short track athletes from Smolensk. Functional diagnostics included an assessment of neuronal metabolism, heart rate variability and blood microhemocirculation. Special performance consisted of field and bicycle ergometric testing. ***The results*** of the study showed that achieving a high result in anaerobic endurance in 13-year-old short track athletes was accompanied by smaller shifts in its "physiological cost" compared to 12-year-old athletes. ***Conclusion.*** The data obtained contributed to the construction of a model of integrative diagnostics of the current state of the body in young short track athletes of different ages.

Keywords: integration, heart rate variability, microhemocirculation, neuroenergy mapping, bicycle ergometry, anaerobic endurance, special performance, short track speed skating.

Введение. Научных данных по оценке специальной работоспособности атлетов шорт-трековиков посредством велоэргометрии и полевого тестирования чрезвычайно мало несмотря на медальную емкость (9 комплектов наград) этого вида спорта на Олимпийских играх [1-3].

Более того в большинстве доступных работ представлены исследования, изучающие функциональные изменения в организме и особенности их регуляции в процессе профессиональной деятельности атлетов в рамках одной системы обеспечения: крови [1], биохимических показателей [4,5], морфофункциональных характеристик [6], кровообращения [7]. Исходя из этого, актуальной задачей является анализ гликолитических параметров анаэробной работы, так как именно они вносят наибольший вклад в единство функционирования

центрального управления, периферического обеспечения и внешнего исполнения у юных спортсменов, что, в свою очередь, необходимо для оперативного управления многолетней подготовкой и качественного медико-биологического сопровождения спортивной деятельности.

Цель работы – выявить интеграцию физиологических функций организма юных спортсменов при достижении различного результата на гликолитическую нагрузку по ведущим маркерам функционального состояния и специальной работоспособности.

Методы и организация исследования. В эксперименте, охватывающем подготовительный период спортивной подготовки, приняли участие 28 спортсменов из Смоленска в возрасте 12-13 лет, занимающихся шорт-треком (I спортивный разряд и кандидаты в мастера спорта). Во время исследования юные спортсмены были проинформированы о его конечной цели, методах и этапах проведения. Участие было добровольным в соответствии с принципами Хельсинской декларации. Родители спортсменов были осведомлены обо всех этапах эксперимента, включающих велоэргометрическое и полевое тестирования, а также о медико-биологическом сопровождении процесса, после чего дали свое письменное согласие.

Организация исследования включала следующие этапы:

1. Формирование основных групп, выбор методик лабораторного/полевого (вне/на льду) тестирования с учетом специфики избранного вида спорта (ИВС).

2. Физиологическое обоснование целесообразности применения велоэргометрического анаэробного тестирования в сочетании со стандартными тестами для ИВС (шорт-трек).

3. Интерпретация оценки функционального состояния и изменения дельт их «физиологической цены» (качественный уровень тренированности).

4. Построение экспериментальных моделей оценки различного результата в показателях анаэробной выносливости в единстве функционирования трех основных блоков: центрального управления, периферического обеспечения и внешнего исполнения.

Для реализации первых двух этапов на уровне внешнего исполнения была применена количественная оценка лабораторного тестирования с помощью трех тестов на модернизированном велоэргометре «Ergomedic 894E Peak Bike» фирмы «Monark Exercise AB» (Швеция) [8]. Кратковременное анаэробное тестирование (с 7% внешним отягощением от массы тела (МТ)) состояло из 6-секундного теста с целью определения скоростно-силовых способностей атлетов. Учитывались максимальная частота движений (Fmax6, об/мин) и время ее достижения, равное 70% от максимально возможной (t70%6, с), максимальная мощность (Nmax6, Вт), относительная мощность (Not6, Вт/кг) и градиент ее прироста во время выполнения первого движения на велоэргометре (J6, Вт/с).

Промежуточное (с 5% внешним отягощением от МТ) и продолжительное (с 3% внешним отягощением от МТ) анаэробное тестирование состояло из 15- и 45-секундного тестов с целью определения параметров максимальной анаэробной мощности и гликолитической выносливости спортсменов. Регистрировались объем работы (А15, 45, Дж), максимальная (пиковая) мощность (Nmax 15, 45, Вт), относительная мощность (Not15, 45, Вт/кг), коэффициент выносливости (КВ15, 45, усл.ед.) и число оборотов колеса велоэргометра (обороты 15, 45, количество раз за время пробы).

Стандартное тестирование функциональной подготовленности шорт-трековиков вне льда [9, 10] состояло из следующих тестов:

1. Упражнение «Маятник»: количество прыжков за 10 с. Исходное положение (И.П.) – посадка конькобежца, правая нога отведена в сторону. 1 – смена ног прыжком, левая нога в стороне; 2 – смена ног прыжком, правая нога в стороне.

2. Тест «Имитационная доска»: количество шагов за 30 с.

3. Прыжок вверх с места по Абалакову.

На льду у юных шорт-трековиков оценивались следующие временные пробы: ½ круга со старта (общее время двух кругов) и тест Добровольского [11-13]. Учет велоэргометрических и стандартных тестов на основе специфики избранного вида спорта

был необходим для выявления межгрупповых различий, а также для определения ведущих маркеров анаэробной выносливости по силе и тесноте связей их корреляционного анализа.

В дальнейшем для реализации третьего и четвертого этапов эксперимента оценивались исходные параметры центрального управления и периферического обеспечения организма, а также их изменения по данным дельт «физиологической цены» после 45-секундного велоэргометрического теста как наиболее продолжительного из всех лабораторных тестов, который позволяет в наибольшей степени оценить вклад нейронального метаболизма и вегетативной регуляции.

Вначале для оценки процессов в системе периферического обеспечения организма до и после гликолитической нагрузки был применен амплитудно-частотный, спектральный и интегральный анализы вариабельности сердечного ритма (ВСР) по стандартной схеме (аппаратно-программный комплекс «Варикард 2.6», программа «Иским-6», г. Рязань, Россия) [14, 15]. Использовались пульсограммы продолжительностью 5 минут. Для анализа учитывались общая мощность спектра ВСР (TP, мс^2), мощность высоко- и очень низкочастотной области спектра (HF, VLF мс^2), отражающих активность парасимпатического отдела, симпато-парасимпатического барорефлекторного контроля и центральных гипоталамических механизмов регуляции соответственно, индекс вагосимпатического равновесия (LF/HF, усл.ед.), амплитуда моды (AMo, %), индекс напряжения (SI, усл.ед.), среднеквадратичное различие между длительностью соседних R–R-интервалов (RMSSD, мс^2), параметры вариационного размаха (MxDMn, мс). Последние два из указанных показателей в большей степени отражают парасимпатическую активность в регуляции ритма сердца.

Затем для оценки процессов, происходящих в системе микрогемоциркуляции (МГЦ), применялся анализатор перфузии ЛАКК-М (НПО «Лазма» г. Москва, Россия) с записью 5-минутной ЛДФ-граммы по традиционной методике [16]. В работе учитывались следующие временные маркеры (пф. ед.): М – параметр микроциркуляции; СКО – среднее квадратическое отклонение (флакс); Мнутр – величина нутритивного кровотока. К спектральным характеристикам МГЦ относились следующие параметры амплитуд (пф. ед.): Аэ – активные эндотелий-зависимые; Ан – активные нейрогенные; Ам – активные миогенные; Ад – пассивные дыхательные; Ас – пассивные сердечные колебания.

В завершении осуществлялось нейроэнергокартирование головного мозга (НЭК) с помощью прибора «Нейро-КМ», производимого фирмой «Статокин» (г. Москва, Россия) по технологии оценки В.Ф. Фокина [17] и рекомендациям В.И. Шмырева [18]. Учитывались показатели уровня постоянных потенциалов (УПП) во фронтальном (Fz, mV), теменном (Cz, mV), затылочном (Oz, mV), правом и левом височных (Td, mV, Ts, mV) отведениях.

Статистическая обработка материала проведена с помощью пакета программы «IBM SPSS Statistics 19» для Windows (StatSoft, Inc., США). Проверка на нормальность и гомогенность распределения данных проводилась с применением критерия Шапиро-Уилка. Для количественных показателей, имеющих нормальное распределение, проводился расчет средних арифметических (M) и стандартных отклонений (σ). Для величин в нормально распределенных совокупностях рассчитывался t-критерий Стьюдента. При отсутствии нормального распределения вычисляли медиану (Me) с межквартильным диапазоном (IQR), нижний и верхний квартили (25% и 75%) (Me [Q1; Q3]), рассчитывался U-критерий Манна-Уитни.

Сила и теснота взаимосвязей оценивались по Спирмену. Для анализа полученных коэффициентов корреляции между изученными параметрами специальной работоспособности юных шорт-трековиков 12 и 13 лет применялись методы построения корреляционных плеяд на уровне «срезов» $r \geq 0{,}8$, $r \geq 0{,}7$, $r \geq 0{,}6$ и $r \geq 0{,}5$.

Результаты исследования и их обсуждение. По данным количественной оценки анаэробной работоспособности (рис. 1) выявлен значительный уровень функциональных резервов у мальчиков 13-летнего возраста по результатам всех велоэргометрических

тестов в сравнении с 12-летними. Наиболее выраженные межвозрастные различия у мальчиков обнаружились в 45-секундном тесте на оценку параметров гликолитической выносливости. Так, в объеме выполненной работы юные спортсмены 13 лет были выше на 39,8% ($p<0,01$), в максимальной мощности – на 34,2% ($p<0,01$), в относительной мощности – на 24,1% ($p<0,05$), в коэффициенте выносливости – на 3,3% ($p<0,05$), в оборотах колеса велоэргометра за время теста – на 31,1% ($p<0,01$).

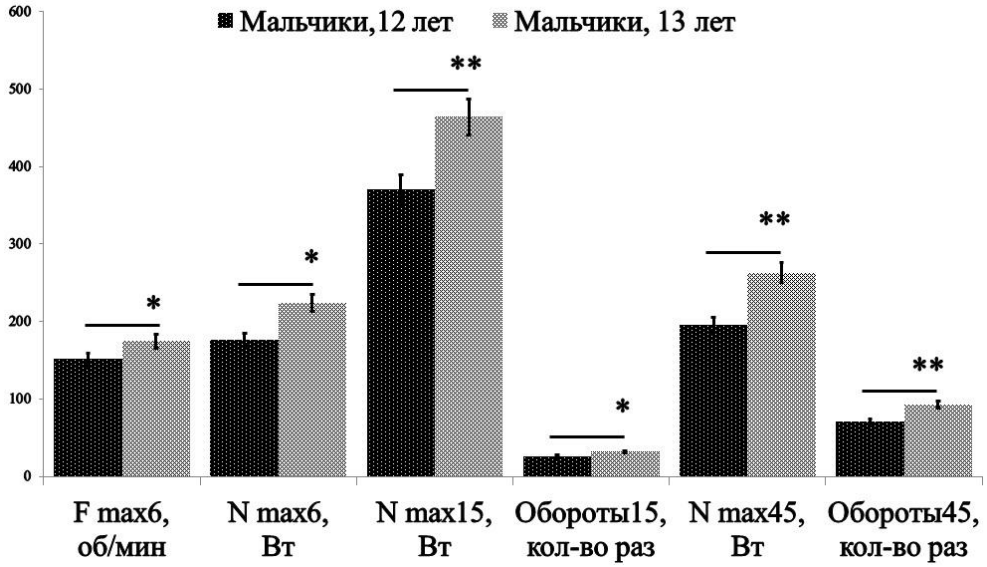


Рис. 1. Оценка показателей анаэробной работоспособности юных шорт-трековиков 12 и 13 лет в процессе эксперимента, M±σ

Примечание: * – $p<0,05$ или ** – $p<0,01$ – уровень значимости различий; Fmax6 – максимальная частота движений в 6-секундном тесте; Nmax6 – максимальная мощность работы в 6-секундном тесте; Nmax15 – максимальная мощность работы в 15-секундном тесте; Обороты15 – количество оборотов колеса велоэргометра в 15-секундном тесте; Nmax45 – максимальная мощность работы в 45-секундном тесте; Обороты45 – количество оборотов колеса велоэргометра в 45-секундном тесте.

Таблица

Оценка показателей специальной работоспособности (вне и на льду) юных шорт-трековиков 12 и 13 лет в процессе эксперимента

Группы / Тесты	Мальчики 12 лет (n=14)	Мальчики 13 лет (n=14)	%	P<
Доска, 30 с, Me [Q1; Q3]	18,6 [16,3; 20,2]	22,8 [19,5; 25,1]	22,5±0,20	0,05
Маятник, 10 с, M±σ	17,3±2,5	21,7±2,3	25,4±0,35	0,01
Абал., см., M±σ	47,3±3,2	57,5±3,6	21,5±0,51	0,05
Тест Добр., усл.ед., M±σ	88,2±3,5	105,6±4,1	19,7±1,25	0,05
½ кр. со старта, с, Me [Q1; Q3]	8,1 [6,8; 9,1]	6,9 [5,2; 7,8]	-14,8±0,55	0,05
Общ. t, 2 кр., с, Me [Q1; Q3]	26,7 [23,5; 29,1]	22,3 [19,6; 24,2]	-16,4±0,30	0,05

Примечание: Доска, 30 с – упражнение на имитационной доске за 30 секунд; Маятник, 10 с. – прыжковый тест «Маятник» за 10 секунд; Абал. – тест прыгучести Абалакова; Тест Добр. – тест Добровольского; ½ кр. со старта – тест ½ круга со старта; Общ. t, 2 кр. – общее время (в секундах) двух кругов.

Межгрупповая закономерность проявилась также и в тестах на оценку специальной работоспособности вне и на льду (табл.). В частности, в контрольно-педагогических испытаниях вне льда на имитационной доске 13-летние спортсмены превосходили 12-летних атлетов на 22,5% ($p<0,05$), в упражнении «Маятник» – на 25,4% ($p<0,01$), в пробе Абалакова – на 21,5% ($p<0,05$) и тесте Добровольского – на 19,7% ($p<0,05$).

Подобная закономерность сохранилась и при тестировании на льду: в скоростной

пробе (½ кр. со старта, с) межгрупповая разница составила 14,8%, в скоростно-силовой пробе (Общ. t, 2 кр., с) – 16,4% во всех случаях ($p<0,05$).

В дальнейшем были проанализированы корреляционные плеяды показателей специальной работоспособности с целью выявления ее ведущих маркеров у юных шорт-трековиков 12 и 13 лет для дальнейшего построения моделей обеспечения различного результата в оценке анаэробной выносливости на уровне внешнего исполнения.

Анализ данных корреляционных плеяд у юных шорт-трековиков 12 лет (рис. 2) выявил наличие прямых и обратных связей между параметрами специальной работоспособности и анаэробной выносливости (Not,45; КВ45) на уровне «срезов» $r\geq0,5$ и $r\geq0,7$. Так, к слабым зависимостям были отнесены взаимоотношения относительной мощности и коэффициента выносливости в 45-секундном тесте с пробой Добровольского (r=0,524; r=0,512); имитационной доской (r=0,519; r=0,535); общим временем прохождения двух кругов по ледовой дистанции (r=0,531; r=0,545) и коэффициентом выносливости в 15-секундном тесте (r=0,517; r=0,524). В то же время к прогностическим маркерам, лимитировавшим результат в велоэргометрической пробе (Not,45; КВ45), были отнесены следующие маркеры: тест Абалакова (r=0,711; r=0,727); упражнение «Маятник» (r=0,718; r=0,722); дистанция на льду ½ круга со старта (r=-0,742; r=-0,753); время (r=-0,728; r=-0,737) и градиент (r=0,751; r=0,762) прироста мощности в 6-секундном тесте, а также абсолютная (r=0,725; r=0,736) и относительная (r=0,734; r=0,740) мощность в 15-секундном тесте.

У юных шорт-трековиков 13 лет основные корреляции были обнаружены на уровне «срезов» $r\geq0,6$ и $r\geq0,8$. К средним по силе и тесноте зависимостям были отнесены взаимоотношения относительной мощности и коэффициента выносливости в 45-секундном тесте с тестом Абалакова (r=0,611; r=0,618); пробой «Маятник» (r=0,625; r=0,632); дистанцией на льду ½ круга со старта (r=-0,615; r=-0,620); временем (r=-0,641; r=-0,637) и градиентом (r=0,617; r=0,623) прироста мощности в 6-секундном тесте и объемом (r=0,645; r=0,641); коэффициентом выносливости (r=0,635; r=0,639) и абсолютной мощностью (r=0,628; r=0,631) в 15-секундном тесте.

В то же время к ведущим маркерам ($r\geq0,8$), определившим высокий результат в анаэробной выносливости (Not,45; КВ45), были отнесены следующие маркеры: тест Добровольского (r=0,805; r=0,810); имитационная доска (r=0,812; r=0,820); общее время двух кругов по ледовой дистанции (r=0,831; r=0,842), параметры относительной мощности (r=0,825; r=0,833) и коэффициента выносливости (r=0,830; r=0,827) в 15-секундной пробе.

Для анализа всесторонней интеграции ведущих индикаторов в блоках центрального управления и периферического обеспечения функций организма у юных шорт-трековиков 12 и 13 лет оценивались изменения в динамике 45-секундного велоэргометрического теста. Для этого вычислялась «физиологическая цена» результата (дельта двух сигм начального и конечного результата) в качестве главного системного критерия эффективности спортивной деятельности, оценку которой осуществляли по классической формуле: $\rho, \% = \sqrt{} \sigma n12 + \sigma n22$ [19], включив в нее ведущие информативные маркеры, полученные на основе данных собственного исследования, с целью изучения «нагрузочной ценности» стандартного тестирования для организма.

Установлено (рис. 3), что у юных шорт-трековиков 12 лет относительно низкие показатели анаэробной выносливости в 45-секундном тесте, что сопровождалось более выраженными дельтами их «физиологической цены» по данным интегральных маркеров НЭК, спектрального анализа вариабельности сердечного ритма и пассивных (внешних) механизмов регуляции сосудистого тонуса. Так, статистически значимые различия в сдвигах нейронального метаболизма в центральной и теменной областях составили 32,3% ($p<0,05$), суммарной мощности спектра к ее высокочастотному компоненту – 26,2% ($p<0,05$), дыхательных и пульсовых амплитуд сосудистого тонуса – 25,8% ($p<0,05$).

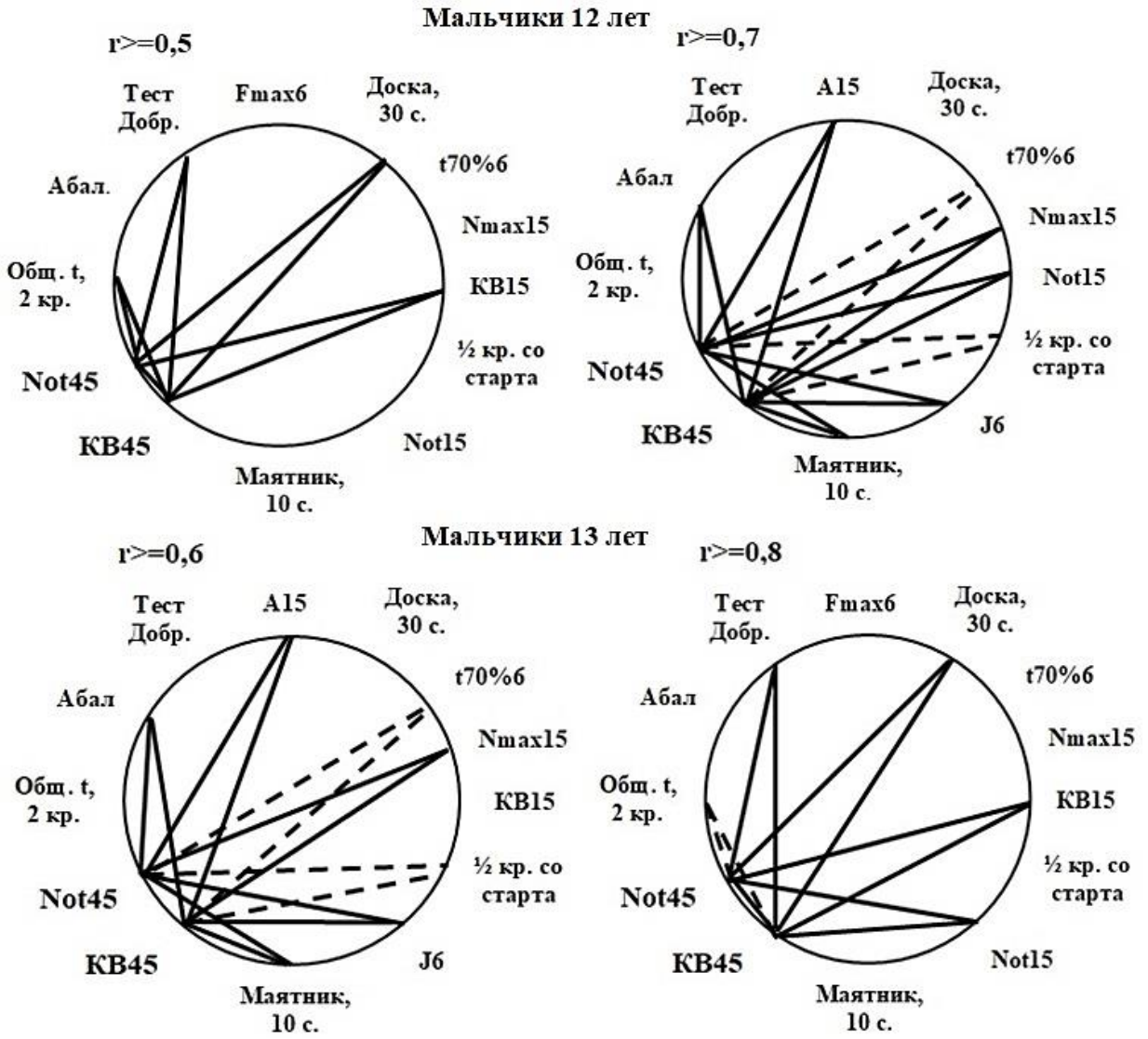


Рис. 2. Корреляционные плеяды специальной работоспособности с параметрами анаэробной выносливости (Not,45; КВ45) юных шорт-трековиков 12 и 13 лет

Примечание: —— – прямые взаимосвязи; - - - - – обратные взаимосвязи; Fmax6 – максимальная частота движений в 6-секундном тесте; J6 – градиент прироста мощности во время выполнения первого движения в 6-секундном тесте; t70%6 – время достижения максимальной частоты движений, 70% от максимально возможной в 6-секундном тесте; Nmax15 – максимальная мощность работы в 15-секундном тесте; Not15 – относительная мощность работы в 15-секундном тесте; КВ15 – параметры коэффициента выносливости в 15-секундном тесте; Not45 – относительная мощность работы в 45-секундном тесте; КВ45 – параметры коэффициента выносливости в 45-секундном тесте; Доска, 30 с – упражнение на имитационной доске за 30 с; ½ кр. со старта – тест ½ круга со старта; Маятник, 10 с. – прыжковый тест «Маятник» за 10 с; Общ. t, 2 кр. – общее время (в секундах) двух кругов; Абал. – тест прыгучести Абалакова; Тест Добр. – тест Добровольского.

У 13-летних атлетов сравнительно высокие результаты анаэробной выносливости в 45-секундном тесте сопровождались большими сдвигами в периферических маркерах НЭК, амплитудно-частотных характеристиках вариабельности сердечного ритма, временных маркерах микрогемоциркуляции, активных (внутренних) механизмах регуляции сосудистого тонуса. Так, статистически значимые различия в сдвигах нейронального метаболизма в затылочной и правой височной областях составили 33,9% ($p<0,01$), вариационного размаха и амплитуды моды – 37,5% ($p<0,01$), параметра

микроциркуляции и нутритивного кровотока – 30,2% ($p<0,05$), нейрогенных и миогенных амплитуд сосудистого тонуса – 28,3% ($p<0,05$).

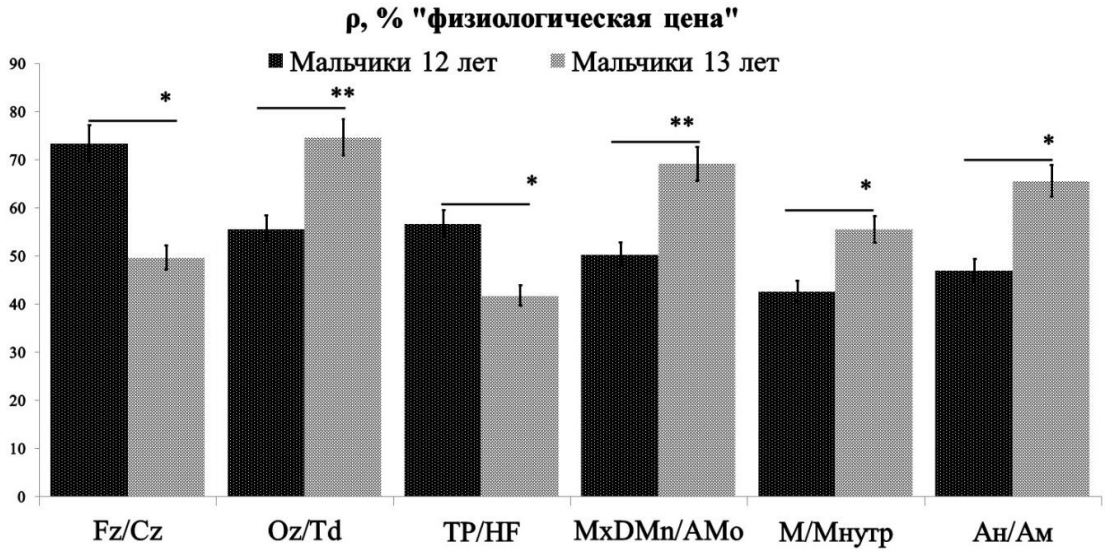


Рис. 3. Изменения «физиологической цены» (Δ, ρ, %) анаэробной 45-секундной велонагрузки у юных шорт-трековиков 12 и 13 лет

Примечание: * – $p<0,05$ или ** – $p<0,01$ – уровень значимости различий; Fz/Cz – фронтальная и теменная область коры головного мозга; Oz/Td – затылочная и правая височная область коры головного мозга; TP/HF – суммарная мощность спектра и мощность высокочастотных волн; MxDMn/AMo – вариационный размах и амплитуда моды; M/Мнутр – параметр микрогемоциркуляции и нутритивный кровоток; Ан/Ам – амплитуда нейрогенных и миогенных колебаний.

С учетом процентной разницы дельт «физиологической цены», результата в 45-секундном тесте и его ведущих маркеров, по данным корреляционного анализа были построены экспериментальные модели физиологической интеграции нервной регуляции, вегетативных и двигательных функций у юных шорт-трековиков 12 и 13 лет с целью диагностики их практической значимости для тренера.

В частности, было установлено (рис. 4), что у 12-летних шорт-трековиков низкий результат велоэргометрического тестирования в 45-секундном тесте на уровне центрального управления сопровождался включением интегральных зон (фронтальной, теменной) уровня постоянных потенциалов головного мозга. Подобная активация омега-потенциала в системе периферического обеспечения сопровождалась мобилизацией спектральных критериев кардиоинтервалограмм за счет повышения дельт индекса вагосимпатического равновесия, снижения амплитуды пассивных (внешних) механизмов регуляции сосудистого тонуса, а именно дыхательных и пульсовых флуктуаций.

Исходя из этого, на уровне внешнего исполнения для снижения физиологической стоимости стандартной нагрузки на организм 12-летних шорт-трековиков и повышения их адаптационных механизмов на уровне регуляции полевых упражнений необходима экспресс-диагностика переносимости полевых тестов фосфагенной направленности вне льда (тест Абалакова, Маятник за 10 с) и на льду (дистанция ½ круга со старта). Более того, на уровне регуляции произвольных движений в лабораторных условиях необходим учет эффективно-объемных характеристик велоэргометрии по данным 6-секундного (индикаторов времени набора максимальной частоты движений, градиента взрывной силы) и 15-секундного тестов (оценки абсолютной и относительной величин мощности и объема произведенной работы).



Рис. 4. Физиологическая интеграция нервной регуляции, вегетативных и двигательных функций у юных шорт-трековиков 12 лет при достижении низкого результата в показателях анаэробной выносливости

Примечание: знак «-» – снижение показателя/результата в тесте; знак «+» – повышение показателя/результата в тесте; ρ – «физиологическая цена»; Fz – фронтальная область коры головного мозга; Cz – теменная область коры головного мозга; VLF – мощность очень низкочастотных волн; TP – суммарная мощность спектра; LF/HF – индекс вагосимпатического равновесия; HF – мощность высокочастотных волн; SI – индекс напряжения; Ад – амплитуда дыхательных колебаний; Ас – амплитуда сердечных колебаний; Абал. – тест прыгучести Абалакова; Маятник, 10 с – прыжковый тест «Маятник» за 10 секунд; ½ кр. со старта – тест ½ круга со старта; t70%6 – время достижения максимальной частоты движений, 70% от максимально возможной в 6-секундном тесте; J6 – градиент прироста мощности во время выполнения первого движения в 6-секундном тесте; Not15 – относительная мощность работы в 15-секундном тесте; A15 – объем работы в 15-секундном тесте; Nmax15 – максимальная мощность работы в 15-секундном тесте.

У 13-летних шорт-трековиков (рис. 5) высокий результат велоэргометрического тестирования в 45-секундном тесте на уровне центрального управления сопровождался включением периферических зон (затылочной, правой и левой височной) нейронального метаболизма.

Подобная активация в системе периферического обеспечения сопровождалась мобилизацией амплитудно-частотных критериев кардиоинтервалограмм за счет активации дельт временных маркеров микрогемоциркуляции и снижения амплитуды активных механизмов регуляции сосудистого тонуса, эндотелий-зависимых, миогенных и нейрогенных флуктуаций без включения дополнительных внешних воздействий.

На уровне внешнего исполнения для системного снижения физиологической стоимости стандартной нагрузки на организм 13-летних шорт-трековиков и мобилизации их адаптационных резервов на уровне регуляции упражнений специальной работоспособности целесообразным является экспресс-диагностика переносимости полевых тестов гликолитической (более длительной) направленности. К подобным пробам вне льда относятся тест Добровольского и имитационная доска, 30 с, а на льду – учет общего времени 2 кругов по 8 шагов. На уровне регуляции произвольных движений в лабораторных условиях необходим учет емкостно-эффективных характеристик велоэргометрии по данным 15- и 45-секундных тестов с учетом индикаторов коэффициента выносливости и относительной мощности.

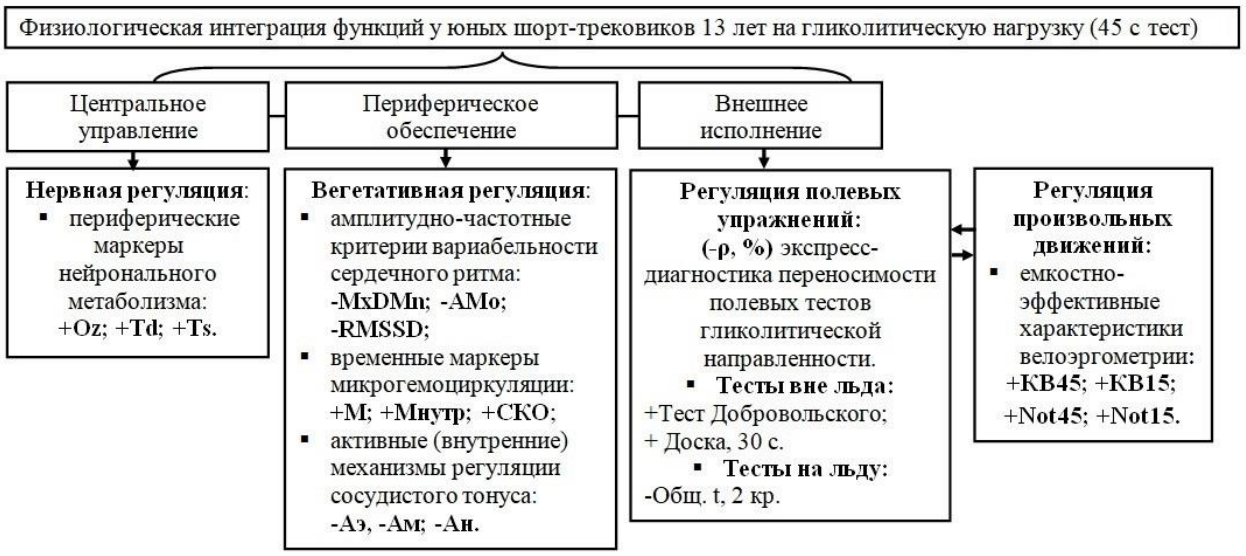


Рис. 5. Физиологическая интеграция нервной регуляции, вегетативных и двигательных функций у юных шорт-трековиков 13 лет при достижении высокого результата в анаэробной выносливости

Примечание: знак «-» – снижение показателя/результата в тесте; знак «+» – повышение показателя/результата в тесте; ρ – «физиологическая цена»; Oz – затылочная область коры головного мозга; Td – правая височная область коры головного мозга; Ts – левая височная область коры головного мозга; MxDMn – вариационный размах; AMo – амплитуда моды; RMSSD – среднеквадратичное различие между длительностью соседних R–R-интервалов; М – параметр микрогемоциркуляции; Мнутр – нутритивный кровоток; СКО – среднеквадратическое отклонение; Аэ – амплитуда эндотелий зависимых колебаний; Ан – амплитуда нейрогенных колебаний; Ам – амплитуда миогенных колебаний; Тест Добр. – тест Добровольского; Доска, 30 с – упражнение на имитационной доске за 30 секунд; Общ. t, 2 кр. – общее время (в секундах) двух кругов; КВ45 – параметры коэффициента выносливости в 45-секундном тесте; КВ15 – параметры коэффициента выносливости в 15-секундном тесте; Not45 – относительная мощность работы в 45-секундном тесте; Not15 – относительная мощность работы в 15-секундном тесте.

Заключение. Анализ первых трех этапов проведенного исследования показал, что традиционные технические подходы к интерпретации коэффициентов корреляции [20, 21] с точки зрения физиологии спорта должны применяться с обязательным условием объективизации их системного обоснования в единстве качественной оценки регуляторно-адаптивного статуса организма (с помощью расчета «физиологической цены») и количественного измерения достигнутого уровня избранной нагрузки.

Обнаруженные закономерности по данным четвертого этапа эксперимента привели к выводу, что физиологическая интеграция функций организма юных спортсменов при достижении различного результата в показателях анаэробной выносливости представляет собой сложную многопараметрическую задачу, требующую системного подхода к решению. По данным системного анализа, количественная оценка результата существенно варьировала и обеспечивалась совершенно иной физиологической интеграцией функций в «блоках» индикаторов функционального обеспечения деятельности и ее регуляции, что привело к формированию дифференциации на основе учета возрастных особенностей юных спортсменов.

Полученные данные способствовали организации интегративной экспресс-диагностики оценки функционального состояния в зависимости от возраста атлетов с помощью ведущих маркеров обеспечения спортивного результата в сочетании с изменениями нервной регуляции, вегетативных и двигательных реакций в процессе тестирования анаэробной выносливости. Обнаруженные закономерности открывают

перспективы к индивидуализации режима тренировок в сторону как повышения, так и снижения их объема при условии выявления достоверности различий в избранных прогностических показателях оценки текущего состояния организма, прогнозирования «физиологической цены» гликолитической нагрузки, что подчеркивает фундаментальную значимость проведенного исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Взаимосвязи между показателями крови как важный фактор эффективности тренировочного процесса спортсменов по шорт-треку / А.И. Нехвядович, А.Н. Будко, Е.А. Мороз, Г.Ю. Никулина // Прикладная спортивная наука. – 2019. – № 1(9). – С. 39-47.
2. Эффекты применения периферической магнитной стимуляции мышц торса спортсменов в период интенсивных тренировочных нагрузок / Ю.В. Корягина, С.М. Абуталимова, Ю.В. Кушнарева [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_28.
3. Нопин, С.В. Функциональные резервы адаптации двигательной системы спортсменов с позиций физиолого-биомеханического подхода / С.В. Нопин, Ю.В. Корягина // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12. – № 2. – С. 191-200. DOI: 10.37482/2687-1491-Z190.
4. Будко, А.Н. Сравнительный анализ изменений индивидуальных биохимических показателей у мужчин в шорт-треке в годичном цикле подготовки / А.Н. Будко, Н.В. Шераш, С.О. Гаврилова // Прикладная спортивная наука. – 2020. – № 2(12). – С. 33-43.
5. Комплексная диагностика парафункций жевательных и шейных мышц у шорт-трековиков / Ю.О. Новиков, Л.П. Герасимова, С.А. Елистратов [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. – 2024. – Т. 24. – № 3. – С. 171-177. DOI: 10.14529/hsm240320.
6. Хакимуллина, Д.Р. Модельные антропометрические характеристики участников зимних Олимпийских игр (2010 и 2014 г.) / Д.Р. Хакимуллина, Г.С. Кашеваров, И.И. Ахметов // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология. – 2016. – № 2. – С. 85-91.
7. Крылова, Т.И. Морфофункциональная характеристика высококвалифицированных шорт-трековиков / Т.И. Крылова // Омский научный вестник. – 2014. – № 2(126). – С. 187-189.
8. Показатели вариабельности сердечного ритма у профессиональных футболистов при различных режимах анаэробного тестирования в динамике подготовительного периода / П.А. Терехов, Т.М. Брук, Е.А. Киндюхин, О.С. Глазачев // Спортивная медицина: наука и практика. – 2024. – Т. 14. – № 2. – С. 5-15. DOI: 10.47529/2223-2524.2024.2.7.
9. Воскресенский, М.В. Общие закономерности тактики бега на дистанции 1000 метров сильнейших спортсменов мирового шорт-трека / М.В. Воскресенский, А.М. Воскресенский, П.А. Терехов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2018. – № 11(165). – С. 53-56.
10. Морозова, Е.А. Анализ динамики скоростных показателей российских конькобежцев на дистанции 500 м в зависимости от возраста и квалификации / Е.А. Морозова // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2017. – Т.12. – № 2. – С. 38-48.
11. Шевченко, Е.И. Дифференциация нагрузок шорт-трекеров высокой квалификации при тренировке скоростной выносливости / Е.И. Шевченко, И.В. Мартыненко // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2022. – № 1(203). – С. 476-481.
12. Добровольский, О.Б. Тестирование физической готовности конькобежцев / О.Б. Добровольский // Конькобежный спорт: ежегодник. – М.: Изд-во «Физическая культура и спорт». – 1977. – № 1. – С. 50-51.
13. Чернов, И.П. Методика определения и оценки основных индивидуальных параметров тренировочных программ и тренировочных занятий в конькобежном спорте / И.П. Чернов // Конькобеж. спорт: ежегодник. – М.: Изд-во «Физическая культура и спорт», 1985. – С. 35-40.
14. Котов-Смоленский, А.М. Изменчивость показателей функционального состояния центральной нервной системы при занятиях иммерсивной двигательной тренировкой / А.М. Котов-Смоленский, Е.Ю. Федорова // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_8.
15. Вариабельность сердечного ритма как отражение эффективности учебно-тренировочных сборов / Ф.Б. Литвин, О.В. Калабин, И.А.

Васильева, И.А. Злобина / Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 3. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_03_13.
16. Андреева, И.В. Комплексное изучение возрастных особенностей центральной, периферической гемодинамики и микроциркуляции у лиц без сердечно-сосудистых заболеваний / И.В. Андреева, А.С. Григорьев // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_2.
17. Сопряженность показателей энергетического обмена и уровня гормона стресса кортизола с когнитивными характеристиками больных дисциркуляторной энцефалопатией / В.Ф. Фокин, А.А. Шабалина, Н.В. Пономарева [и др.] // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. – 2018. – Т. 12. – № 4. – С. 47-51.
18. Шмырев, В.И. Нейроэнергокартирование (НЭК) – высокоинформативный метод оценки функционального состояния мозга: методические рекомендации / В.И. Шмырев, Н.К. Витько. – М.: Изд-во «Медицина», 2010. – 21 с.
19. Классина, С.Я. Влияние произвольного гиповентиляционного дыхания на физическую работоспособность и «удельную физиологическую цену» у спортсменов с различным уровнем тренированности / С.Я. Классина, Н.А. Фудин // Вестник новых медицинских технологий. – 2019. – Т. 26. – № 3. – С. 81-84. DOI: 10.24411/1609-2163-2019-16430.
20. Сажина, О.А. Взаимосвязь показателей вариабельности сердечного ритма и параметров нейромоторики юных велосипедистов / О.А. Сажина, А.В. Шаханова, М.Н. Силантьев // Теория и практика физической культуры. – 2021. – № 12. – С. 16-18.
21. Баврина, А.П. Современные правила применения корреляционного анализа / А.П. Баврина, И.Б. Борисов // Медицинский альманах. – 2021. – № 3(68). – С. 70-79.

REFERENCES

1. Nekhvyadovich A.I., Budko A.N., Moroz E.A., Nikulina G.Yu. Interrelations between blood parameters as an important factor in the effectiveness of the training process of short track athletes. *Applied Sports Science*, 2019, no. 1(9), pp. 39-47. (in Russ.)
2. Koryagina Yu.V., Abutalimova S.M., Kushnareva Yu.V., Nopin S.V., Mitin I.N. Peripheral magnetic stimulation of the torso muscles of athletes during intense training activity. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 3. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_28. (in Russ.)
3. Nopin S.V., Koryagina Yu.V. Functional Reserves of Motor System Adaptation in Athletes from the Standpoint of the Physiological and Biomechanical Approach. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 191-200. DOI: 10.37482/2687-1491-Z190. (in Russ.)
4. Budko A.N., Sherash N.V., Gavrilova S.O. Comparative analysis of changes in individual biochemical parameters in men in short track in the annual training cycle. *Applied Sports Science*, 2020, no. 2(12), pp. 33-43. (in Russ.)
5. Novikov Yu.O., Gerasimova L.P., Elistratov S.A. et al. Complex diagnostics of parafunctions of masticatory muscles in short-track athletes. *Human. Sport. Medicine*, 2024, vol. 24, no. 3, pp. 171-177. DOI: 10.14529/hsm240320. (in Russ.)
6. Khakimullina D.R., Kashevarov G.S., Ahmetov I.I. Model anthropometric characteristics of participants of the winter Olympic games (years 2010 and 2014). *Lomonosov Journal of Anthropology*, 2016, no. 2, pp. 85-91. (in Russ.)
7. Krylova T.I. Morphofunctional characteristics of highly skilled short track athletes. O*msk Scientific Bulletin*, 2014, no. 2(126), pp. 187-189. (in Russ.)
8. Terehov P.A., Bruk T.M., Kindjuhin E.A., Glazachev O.S. Heart rate variability indices in professional football players under various anaerobic testing modes in dinamics of the preparatory period. *Sports medicine: research and practice*, 2024, vol. 14, no. 2, pp. 5-15. DOI: 10.47529/2223-2524.2024.2.7. (in Russ.)
9. Voskresenskij M.V., Voskresenskij A.M., Terehov P.A. General regularities of running tactics for 1000 meters distance of highly qualified athletes of the world short track. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2018, no. 11(165), pp. 53-56. (in Russ.)
10. Morozova E.A. The dynamics of speed indices analysis among Russian ice-skaters at 500 meters distance depending on age and qualification. *Russian Journal of Physical Education and Sport*, 2017, vol. 12, no. 2, pp. 38-48. (in Russ.)
11. Shevchenko E.I., Martynenko I.V. Differentiation of loads of highly qualified short trackers during speed endurance training. *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*, 2022, no. 1(203), pp. 476-481. (in Russ.)
12. Dobrovol'skij O.B. Testing the physical fitness of speed skaters. Speed-skating. sport: yearbook. Moscow: Fizkultura i sport, 1977, no. 1, pp. 50-51. (in Russ.)
13. Chernov I.P. Methodology for determining and evaluating the main individual parameters of training programs and training sessions in speed skating. Speed-skating: yearbook. Moscow: Fizkultura i sport, 1985, pp 35-40. (in Russ.)
14. Kotov-Smolenskij A.M., Fedorova E.Yu. Variability of indices of the functional state

of the central nervous system during immersive motor training. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_8. (in Russ.)
15. Litvin F.B., Kalabin O.V., Vasil'eva I.A., Zlobina I.A. Heart rate variability as a reflection of the training camps efficiency. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 3. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_03_13. (in Russ.)
16. Andreeva I.V., Grigor'ev A.S. Complex study of age features of central, peripheral hemodynamics and microcirculation in people without cardiovascular diseases. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_2. (in Russ.)
17. Fokin V.F., Shabalina A.A., Ponomareva N.V., Medvedev R.B., Lagoda O.V., Tanashjan M.M. Association of parameters of energy metabolism and levels of stress hormone cortisol with cognitive characteristics of patients with vascular encephalopathy. *Annals of clinical and experimental neurology*, 2018, vol. 12, no. 4, pp. 47-51. (in Russ.)
18. Shmyrev V.I., Vit'ko N.K. Neuroenergy mapping (NEM) – a highly informative method for assessing the functional state of the brain: methodological guidelines. Moscow: Meditsina, 2010. 21 p. (in Russ.)
19. Klassina S.Ya., Fudin N.A. Influence of the arbitrary hypoventilation breathe on the physical efficiency and on "physiological price per unit of a time" in athletes with different training levels. *Journal of New Medical Technologies*, 2019. vol. 26, no. 3, pp. 81-84. (in Russ.)
20. Sazhina O.A., Shakhanova A.V., Silant'ev M.N. Relationship between heart rate variability and neuromotor parameters of young cyclists. Theory and Practice of Physical Culture, 2021, no. 12, pp. 16-18. (in Russ.)
21. Bavrina A.P., Borisov I.B. Modern rules of the application of correlation analysis. *Medical almanac*, 2021, no. 3(68), pp. 70-79. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Татьяна Михайловна Брук – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой биологических дисциплин Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Смоленский государственный университет спорта», Смоленск, e-mail: bryktmcenter@rambler.ru.
Павел Александрович Терехов – доктор биологических наук, доцент, доцент кафедры биологических дисциплин Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Смоленский государственный университет спорта», Смоленск, e-mail: terechov_86@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Tatyana M. Bruk – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biological Disciplines, Smolensk State University of Sports, Smolensk, e-mail: bryktmcenter@rambler.ru.
Pavel A. Terekhov – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biological Disciplines, Smolensk State University of Sports, Smolensk, e-mail: terechov_86@mail.ru.

Для цитирования: Брук, Т.М. Интеграция физиологических функций организма юных спортсменов шорт-трековиков при достижении различного результата в показателях анаэробной выносливости / Т.М. Брук, П.А. Терехов // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 4(34). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_04_1

For citation: Bruk T.M., Terekhov P.A. Integration of physiological functions of the body of young short-track athletes when achieving various results in anaerobic endurance indicators. Modern Issues of Biomedicine, 2025, vol. 9, no. 4(34). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_04_1