

ПРОЦЕССЫ УТОМЛЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ СПОРТИВНОГО РЕЗЕРВА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Ю.Б. Кораблева¹, julya-74@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2337-3531>

Л.В. Смирнова¹, smirnovav@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6446-9164>

И.В. Сафина¹, safinaiv@susu.ru, <http://orcid.org/0009-0006-9102-2134>

И.О. Черепанова², a89853602875@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4310-5673>

А.А. Бакушин¹, bakushinaa@susu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6075-5189>

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Московский политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация. **Цель:** выявить процессы утомления и восстановления в системе подготовки спортивного резерва с использованием диагностирующей аппаратуры и математического анализа. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие лыжники-гонщики группы обследования ($n = 17$) и сравнения ($n = 19$), борцы условной легкой категории ($n = 16$), средней ($n = 13$), тяжелой ($n = 9$), бегуны на средние дистанции ($n = 15+15$). Квалификация спортсменов 18–19 лет находилась на уровне КМС ($n = 50$), МС ($n = 24$). Диагностирующая аппаратура: система Schiller Cardiovit AT-104 PC Ergo-Spiro (Швейцария), системный анализатор АМП (Украина), спирограф «Этон» (РФ), 3D-сканер МБН (РФ), весы-анализаторы Tanita BC-418 MA (Япония), доплерография Digi-Lite (Израиль), Охусон Mobile (Германия), нейхронометр Казанского производства медицинской техники, биоимпедансная тетраполярная реополиграфия «Кентавр» с целью спектрального анализа методики Фурье и закона распределения Дирихле. **Результаты.** При оценке доплеровских паттернов в группе дзюдоистов и лыжников-гонщиков выявлено преобладание избыточного мозгового кровотока с увеличением показателей. **Заключение.** Разработана методика статистического анализа различных показателей функционального состояния спортсменов. Предложен рейтинговый анализ успешности спортсменов в соревнованиях различных рангов и построен интегральный рейтинговый показатель успешности. Построена стохастическая модель спектральных параметров морфофункциональных показателей спортсменов.

Ключевые слова: утомление, восстановление, функциональная система, фундаментальность, избыточность, гетерохронность, интегральный рейтинговый показатель, фазность, ритмичность

Для цитирования: Процессы утомления и восстановления в системе подготовки спортивного резерва с точки зрения математического анализа / Ю.Б. Кораблева, Л.В. Смирнова, И.В. Сафина и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2026. Т. 26, № 3. С. 39–47. DOI: 10.14529/hsm260305

MATHEMATICAL ANALYSIS OF FATIGUE AND RECOVERY IN SPORTS RESERVE TRAINING

Yu.B. Korableva¹, julya-74@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2337-3531>

L.V. Smirnova¹, smirnovav@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6446-9164>

I.V. Safina¹, safinaiv@susu.ru, <http://orcid.org/0009-0006-9102-2134>

I.O. Cherepanova², a89853602875@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4310-5673>

A.A. Bakushin¹, bakushinaa@susu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6075-5189>

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Abstract. Aim. This paper aims to identify fatigue and recovery in sports reserve training using diagnostic equipment and mathematical analysis. **Materials and methods.** This study involved cross-country skiers from the intervention (n = 17) and control (n = 19) groups, wrestlers from different weight classes (light – 16; middle – 13; heavy – 9), and middle-distance runners (n = 15+15). The athletes, aged 18–19 years, held the rank of Candidate for Master of Sport (n = 50) or Master of Sport (n = 24). The following diagnostic equipment was used: the Schiller Cardiovit AT-104 PC Ergo-Spiro exercise testing system (Switzerland), the AMP analyzer (Ukraine), the Eton spirometer (Russia), the MBN 3D body scanner (Russia), the Tanita BC-418 MA body composition analyzer (Japan), the Digi-Lite transcranial doppler ultrasound system (Israel), the Oxycon Mobile exercise testing system (Germany), a neurochronometer (Kazan medical equipment, Russia), and the Kentavr bioimpedance tetrapolar rheograph. Fourier spectral analysis and the Dirichlet distribution were applied to the data. **Results.** Doppler patterns revealed a predominance of excessive cerebral blood flow with increased values in judo athletes and cross-country skiers. **Conclusion.** The study developed a statistical method for analyzing functional performance in athletes, proposed a ranking system for competitive success across different levels, and constructed an integral performance score. A stochastic model of morphofunctional spectral parameters in athletes was also built.

Keywords: fatigue, recovery, functional system, fundamentality, redundancy, heterochrony, integral performance score, phasing, rhythmicity

For citation: Korableva Yu.B., Smirnova L.V., Safina I.V., Cherepanova I.O., Bakushin A.A. Mathematical analysis of fatigue and recovery in sports reserve training. *Human. Sport. Medicine*. 2026;26(3):39–47. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm260305

Введение. Проблема проектирования системы подготовки спортивного резерва интегративно связана с процессами, развивающими адаптоспособность кислородтранспортной функции, энергетического обеспечения, управлением и регуляцией биоэлектрическими эффектами мышц, мозга, защитных функций в условиях агрессивных факторов, психической устойчивости и биологической надежности [1, 5, 9–13].

Цель – выявить процессы утомления и восстановления в системе подготовки спортивного резерва с использованием диагностирующей аппаратуры и математического анализа.

Организация и методы исследования. В исследовании приняли участие лыжники-гонщики группы обследования (n = 17) и сравнения (n = 19), борцы условной легкой катего-

рии (n = 16), средней (n = 13), тяжелой (n = 9), бегуны на средние дистанции (n = 15+15). Квалификация спортсменов 18–19 лет находилась на уровне КМС (n = 50), МС (n = 24). Диагностирующая аппаратура включала систему Schiller Cardiovit AT-104 PC Ergo-Spiro (Швейцария), системный анализатор АМП (Украина), спирограф «Этон» (РФ), 3D-сканер МБН (РФ), весы-анализаторы Tanita BC-418 MA (Япония), доплерографию Digi-Lite (Израиль), Охусон Mobile (Германия). Показатели психомоторики оценивались с помощью нейхронометра Казанского производства медицинской техники, регистрация показателей гемодинамики проводилась биоимпедансной тетраполярной реополиграфией установкой «Кентавр» с целью спектрального анализа методики Фурье и закона распределения Дирихле.

Результаты исследования и их обсуждение. Морфометрические показатели лыжников были следующие: $66,45 \pm 2,24$ кг, длина тела – $179,05 \pm 9,25$ см, индекс массы тела – $20,64 \pm 0,82$ кг/м², общий жир – $7,00 \pm 0,30$ %, ОГК (окружность грудной клетки) на вдохе – $98,75 \pm 1,35$ см и на выдохе – $89,50 \pm 1,60$ см. У дзюдоистов легкой категории: $63,90 \pm 0,76$ кг, $167,40 \pm 3,65$ см, $22,19 \pm 1,23$ кг/м², $9,20 \pm 1,45$ %, $100,20 \pm 1,46$ см и $93,50 \pm 1,74$ см. У борцов средней категории: $70,05 \pm 0,12$ кг, $171,60 \pm 2,66$ см, $23,83 \pm 1,39$ кг/м², $102,12 \pm 1,64$ см и $94,32 \pm 1,82$ см. У борцов тяжелой весовой категории: $95,50 \pm 4,32$ кг, $183,85 \pm 4,40$ см, $28,25 \pm 3,12$ кг/м², $105,61 \pm 2,02$ см и $96,02 \pm 1,26$ см. Анализ темпа прироста морфометрических показателей юных дзюдоистов – длина тела, жизненный индекс, окружность бедра, ширина плеч, длина голени, бедра, предплечья, плеча – имели незначительные изменения (1–4 %) показателей в возрасте 14–17 лет. Наибольшие изменения наблюдались в показателях ЖЕЛ, ОГК, экскурсии грудной клетки, которые в изучаемых возрастах последовательно снижались. Индекс силы по весовым категориям последовательно снижался: $9,84 \pm 0,12$; $9,36 \pm 0,19$; $7,50 \pm 0,23$ ($p < 0,05$). Время сенсомоторных реакций дзюдоистов 18–19 лет по весовым категориям представлено в табл. 1.

Сравнение компонентов реакций выбора достоверно различалось в легкой и остальных категориях ($p < 0,05$). Латентный период – аналогично ($p < 0,01–0,05$), моторный ($p < 0,05$; легкая – средняя), латентный период простой

реакции в легких и средних существенно различался ($p < 0,05$). Можно полагать, что компоненты сенсомоторных реакций не зависели от весовых категорий и от свойств нервной системы. На факторы сенсомоторики влияют биохимические процессы, концентрация внимания, точность реагирования. С.А. Кабановым, А.П. Исаевым (1999) разработаны шкалы оценок психомоторики до и после схваток (уменьшение – увеличение, без изменений) в трех условных весовых категориях. Например, в РДО большинство реакций уменьшалось ($40,00$; $39,13$; $35,71$ %), соответственно увеличилось $35,00$; $21,74$; $28,57$ %. Без изменений – $25,00$; $39,13$; $35,72$ %. Следовательно, по 3 весовым категориям реакции изменялись в зависимости от индивидуальных особенностей и были вариабельны. Полученные показатели свидетельствуют о том, что механизмы регуляции сенсомоторных реакций идут по пути включения рецепторов, рефлексов, мотонейронов и нейронных интеграций, переработки информации и принятия решения. Кроме этого, фактор переносимости нагрузок, степени утомления, фазы адаптации, персональные особенности решают вектор изменений звеньев реакций, в которых вклад каждого фактора в интегративном блоке функциональной системы важен с точки зрения спортивной дифференцированной успешности. В период экстремальных ДД увеличивался средний градиент отклонения показателей динамометрии, снижение количества импульсов и кривой наклона ВР-20/100 Дб, точности движений и скорости реагирования.

Таблица 1
Table 1

Сенсомоторные реакции дзюдоистов трех условных весовых категорий
в специально-подготовительном блоке
Sensorimotor reactions by weight group in judo athletes during special preparation

Категории, количество обследуемых Weight group, n	Статистики Statistics	Время реакции выбора из 3 альтернатив, мс 3-choice reaction time, ms	Скрытый период реакций, мс Latency period, ms	Моторный период реагирования, мс Motor response time, ms	Латентный период простой реакции, мс Simple reaction latency, ms	Реакция на движущийся объект, мс Moving object reaction time, ms
Легкая / Light n = 21	M ± m	$331,50 \pm 9,52$	$168,50 \pm 7,40$	$173,50 \pm 7,53$	$175,00 \pm 4,70$	$3,67 \pm 0,49$
Средняя / Middle n = 16	M ± m	$368,50 \pm 5,10$	$253,50 \pm 2,18$	$153,50 \pm 4,45$	$186,50 \pm 4,43$	$3,60 \pm 0,37$
Р-вероятность / p-value		< 0,05	< 0,01–0,05	< 0,05	< 0,05	> 0,05
Тяжелая / Heavy n = 11	M ± m	$363,50 \pm 12,63$	$201,50 \pm 5,42$	$162,60 \pm 7,17$	$183,50 \pm 6,37$	$3,22 \pm 0,24$
Р-вероятность / p-value		> 0,05	< 0,001	> 0,05	> 0,05	> 0,05

Для того чтобы установить, как связаны спектральные характеристики имеющих в нашем распоряжении параметров и уровень квалификации спортсменов, была разработана методика построения интегрального рейтингового показателя (ИРП), базирующаяся на информации о достижениях спортсменов в соревнованиях высокого ранга. Эта информация содержится в следующих показателях: места спортсмена в общероссийской базе (2 списка) и RUS-пункты (2 списка).

Пример этих данных и рассчитанный на их основании ИРП приведен в табл. 2.

Методы классификации связаны с получением одной или нескольких функций, обеспечивающих возможность отнести данный объект к одной из групп. Эти функции, называемые дискриминантными, зависят от значений показателей таким образом, что появляется возможность отнести каждый объект к одной из групп.

В рассматриваемой нами ситуации межгрупповые различия – это различия в уровне спортивной успешности подвергавшихся обследованию спортсменов (табл. 3).

В табл. 4 приведены коэффициенты классифицирующих функций. Эти функции используются для классификации имеющих наблюдений и для прогноза принадлежности новых измерений для каждой из групп.

Так, например, функция

$$F1 = -6,84 \cdot 10^3 - 3,25 \cdot BP + 53,9 \cdot HR + 42,8 \cdot SV - 664,0 \cdot CO + 36,9 \cdot EF - 3,61 \cdot ATHRX + 11,3 \cdot ATOE + 15,5 \cdot RespX + 20,8 \cdot RespT + 158 \cdot FW$$

используется для идентификации принадлежности к первой группе, аналогично второй, третий и четвертый столбцы дают возможность построить такие функции для второй, третьей и четвертой групп. Индивид относится к той группе, для которой классифицирующая функция принимает наибольшее значение.

Основой для количественного анализа уровня адаптации спортсменов к физическим нагрузкам может служить имитационная модель спектральной структуры исследуемых физиологических показателей спортсменов. Она же дает возможность прогнозировать уровень физической подготовленности и успешности спортсменов.

Таблица 2
Table 2

Интегральный рейтинговый показатель
Integral performance score

ID спортсмена Athlete ID	RUS пункт, дистанция RUS points (distance)	Место Place	RUS пункт, спринт RUS points (sprint)	Место Place	ИРП IPS
1	13,86	9,00	27,73	8,00	0,9327
2	14,18	10,00	80,18	31,00	0,8606
3	15,40	13,00	97,24	63,00	0,7885
4	32,35	34,00	85,10	27,00	0,8029
5	46,28	69,00	109,46	86,00	0,6875
6	67,89	77,00	25,43	5,00	0,8029

Таблица 3
Table 3

Группы дискриминации
Group classification

ИРП IPS	Группа Group	Характеристика группы Description
0,50–1,0	I	Спортсмены экстраквалификации Elite athletes
0,33–0,5	II	Спортсмены высокой квалификации Highly qualified athletes
0,20–0,33	III	Спортсмены средней квалификации Moderately qualified athletes
0,00–0,20	IV	Спортсмены ниже средней квалификации Less qualified athletes

Таблица 4
Table 4

Коэффициенты классифицирующих функций
Coefficients of classification functions

	I	II	III	IV
BP	-3,25	-2,79	-3,3	-2,63
HR	53,9	53,4	54,9	51,0
SV	42,8	42,5	43,6	40,4
CO	-664,0	-659,0	-681,0	-631,0
EF	36,9	36,5	36,5	36,4
ATHRX	-3,61	-3,61	-3,59	-3,37
ATOE	11,3	11,1	11,6	10,8
RespX	15,5	15,4	15,9	14,9
RespT	20,8	20,5	21,4	20,2
FW	158,0	158,0	164,0	151,0
CONSTANT	-6,84E3	-6,73E3	-7,09E3	-6,38E3

Распределение Дирихле. Пусть $\xi = \{P1, P2, P3, P4\}$ – случайный вектор, компоненты которого – приведенная мощность медленноволновых колебаний, $P1 + P2 + P3 + P4 = 1$, $PJ \geq 0$. Говорят, что вектор ξ имеет распределение Дирихле с параметрами $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\}$, если плотность распределения этого вектора задается соотношением

$$f_{\xi}(x; \lambda) = \frac{\Gamma(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)}{\Gamma(\lambda_1)\Gamma(\lambda_2)\Gamma(\lambda_3)\Gamma(\lambda_4)} \times \\ \times x_1^{\lambda_1-1} x_2^{\lambda_2-1} x_3^{\lambda_3-1} x_4^{\lambda_4-1}, \lambda_i \geq 0, \sum_{i=1}^4 x_i = 1.$$

Здесь $\Gamma(\lambda)$ – гамма-функция Эйлера. Оказалось, спектральная структура физиологических показателей спортсменов-лыжников достаточно адекватно может быть описана этим распределением. При этом каждый отдельный показатель характеризуется собственными параметрами распределения Дирихле, которые подлежат определению по имеющимся экспериментальным измерениям.

Оценивание параметров распределения Дирихле. Пусть исследователь располагает экспериментальными данными: $x = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}\}$, $i = 1, 2, \dots, N$, $x_{i1} + x_{i2} + x_{i3} + x_{i4} = 1$, которые можно трактовать как выбранные из распределения Дирихле значения случайной величины ξ , тогда естественным вопросом является вопрос о параметрах $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\}$ этого распределения.

Если наперед известно, что экспериментальные данные однородны (в том смысле, что выбраны из распределения Дирихле с од-

ними и теми же параметрами), то параметры можно оценить, используя один из стандартных методов статистического оценивания, например, метод моментов. В рассматриваемой ситуации система метода моментов всегда однозначно разрешима и ее решением являются статистики, даваемые соотношением

$$\lambda_i = \bar{x}_i \cdot \left(\frac{\bar{x}_k (1 - \bar{x}_k)}{S_k^2} - 1 \right).$$

В формуле индекс k фиксирован (один из возможных 1, 2, 3, 4), а индекс i пробегает все значения 1, 2, 3, 4:

$$\bar{x}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{si}, s = 1, 2, 3, 4,$$

$$S_k^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_k)^2.$$

Проблема повышения саморегулирующей функциональной системы обусловлена соотношением детерминированных и вероятностных нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих адекватные ДД, утомления, восстановления, спонтанной смены концентрированного возбуждения охранительным торможением. Недостатком генерализованного возбуждения оказывается изменение реактивности, повышенная трата энергии и нарушение упорядоченности звеньев функциональной системы. Рецепторно-рефлективное снижение взаимодействия со средой может привести функциональную систему в тормозное состояние. В этих случаях возможно снижение афферентации к минимуму, дегенерации клеток как структурно-функциональных. Избыточность, как и дефицит информации,

обуславливают потери, снижение результативности, моделирующего влияния на агрессивную среду.

Самоорганизация в деятельности функциональной системы обуславливает целенаправленные реакции, поведение, устойчивость биологической системы организма. Адаптивные условия воздействия агрессивной среды определяют процессы управленческие, регуляторные, контролирующие специфическую афферентную импульсацию в звеньях функциональной системы, гибкости неспецифических механизмов, жестких и гибких связей, обеспечивающих текущую деятельность, механизмы самоуправления и самооптимизации единой специализированной функциональной системы, корковых процессов триггерной стимуляции, селективного управления внешней обратной связи амплитудно-частотной характеристики БЭА мозга, неспецифическими регуляторными системами, регулируемыми уровень активации высших отделов головного мозга. Появление в ЭЭГ α - и β -ритмов – результат восстановления реактивности нейрональной интеграции управляющих звеньев коры головного мозга [1, 4, 6].

Можно полагать, что управление активацией звеньев функциональной системы обусловлено возбудимостью субсистемами, диффузной активацией корково-подкорковых образований, спинальных, интеро- и экстерорецепторными, биохимическими процессами скелетных и респираторных мышц, зависимых в совокупности от фаз адаптоспособности. Механизм включения анализаторов в переработку информации, принятия решения, обратной связи обусловлен доминантной активацией регуляторных звеньев функциональной системы. Адаптивно-нейрофизиологический подход управляющих воздействий в условиях тестирования регуляторных характеристик объекта и процесса управления, функционирующего в системе прогрессивной тренировки, заключается в сочетании тренирующего утомления и ускоренного восстановления [2, 7, 8].

Применение раздражителей разной модальности анализаторных систем позволяет установить механизмы их воздействия. Например, звуковой раздражитель действует на слуховой анализатор, вызывая активность нейронов. Неспецифическое управление включает функции возбуждения и торможения. Целевая деятельность функциональной системы обуславливает проявление лабильности высших

отделов головного мозга в условиях энергетических потребностей.

Рациональное соотношение тренирующего утомления и эффективного восстановления позволяют добиваться успешной дифференцированной физической подготовленности, сенсомоторного состояния, спортивной результативности. Обобщенная модель подготовленности и состояния свидетельствует о том, что функциональная система динамична и зависима от ряда факторов: критериев тренированности (адаптоспособности), самоорганизованности, обуславливающей реакции целеполагания, устойчивости субсистем организма спортсмена, жестких и гибких связей, обеспечивающих текущую деятельность. Сопряженность процессов утомления – восстановления обусловлена регулированием активационного уровня по энергетическому критерию эффективности. Пороги управляющих взаимодействий утомления и восстановления определяют поддержание уровня работоспособности, поиска направлений содержания активационного уровня функциональной системы. Фазы работоспособности определяются в процессе тестирующей тренировки. Процесс управления балансом уровней утомления – восстановления обусловлен системой саморегуляции в зависимости от фазы адаптации, сбивающих факторов и биологической надежности звеньев функциональной системы, СКУ.

Параметры распределения Дирихле позволяли осуществлять количественный анализ уровня адаптации спортсменов и позволяют прогнозировать физическую подготовленность и дифференцировать успешность спортивной результативности [3]. Процесс распределения включил модель, оценивание параметров, метод моментов, ИРП, кластеризацию, пирсоновские корреляции ИРП и включаемых параметров. Функция использования позволяет идентифицировать принадлежность к группам успешности, связывая параметры распределения Дирихле с показателями спортивной успешности.

Моделируя в спортивной тренировке показатели мониторингирования автор [2] обусловил составляющие спортивной результативности и контрольное ДД (приседание со штангой, бросковые ДД, прыжки) и сделал попытку создать обобщенную модель по расположению значимости физических качеств, функциональной подготовленности, морфологических характеристик.

Спортсмены-стайеры ($n = 74$), развивающие силовую выносливость, на заключительных этапах подготовки находились в 85 % в зонах повышенной активации – индекс превышал 0,71 ед., спокойной активации (15 %) с вариабельностью 0,52–0,71 ед. Спортсмены-спринтеры (лыжники-гонщики, бегуны, борцы легких и средних весовых категорий) ($n = 74$) распределились согласно уровню адаптационного напряжения следующим образом: реакция тренировки – 30 % (индекс 0,32–0,51 ед.), стресса – 15 % (индекс менее 0,32 ед.), зона спокойной активации – 55 % (индекс 0,52–0,71 ед.).

Вопросы саморегуляции функциональной системы в условиях взаимодействия организма с агрессивной средой рассматриваются исходя из методологических предпосылок использования моделирования. С этой целью нами использовались средства интеллектуально-логической и математической обработки данных. Применялись теории информации и управления, являющихся теоретическими концепциями предмета исследований: времени, пространства, ускорений с точки зрения усиления, инерционности, колебательности, успокоения, подвижности. Рецепторы, рефлексy, нейроны обеспечивают управление упорядоченной деятельности биохимических структур саморегуляции организма, обобщенной деятельности. Управление и регуляция деятельности и функциональных состояний в изменяющихся алгоритмах системы подготовки доступны для моделирования, а деятельность функциональной системы обуслов-

лена динамичностью изменений, сбивающих факторов, ограничений, установленных теорий информации. Сенсорная информация экзогенного характера (интерорецепторы) и воздействие экзогенной среды (эстерорецепторы) обуславливает процессы управления функциональной системой саморегулирования согласно механизмам ее интегративной деятельности, биологической надежности и ее последующего развития. Адаптивно-компенсаторный характер управления и регулирования корково-подкорковыми процессами обеспечивается нейропластичностью на всех уровнях функциональной системы вплоть до соединительных тканей и клеток.

Заключение. Разработана методика статистического анализа морфометрических, биохимических, гематологических и др. показателей функционального состояния спортсменов. Предложен рейтинговый анализ успешности спортсменов в соревнованиях различных рангов и построен интегральный рейтинговый показатель успешности, установлены связи между спектральными характеристиками отдельных показателей и уровнем квалификации спортсменов. Построена стохастическая модель спектральных параметров морфофункциональных показателей спортсменов, которая позволяет установить связь между параметрами распределения Дирихле, морфофункциональными показателями и квалификационным уровнем спортсменов-лыжников, а также проведено сравнение спортсменов различных квалификационных уровней.

Список литературы

1. Анализ терморегуляции кикбоксеров 18–22 лет / А.С. Ушаков, Ю.Б. Кораблева, Е.Н. Сумак и др. // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2025. – Т. 25, № 4. – С. 56–62.
2. Бахарева, А.С. Физиологическая адаптация к большим тренировочным нагрузкам, развивающим выносливость / А.С. Бахарева, А.П. Исаев // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 29–33.
3. Взаимосвязь липидного обмена с результативностью лыжников-гонщиков / А.С. Бахарева, В.И. Заляпин, А.П. Исаев, А.С. Ушаков // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2019. – № 1. – С. 23–25.
4. Влияние развития координационных способностей на техническую подготовленность фигуристов на тренировочном этапе подготовки / И.О. Черепанова, К.С. Дунаев, А.Н. Таланцев, А.И. Ненашев // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 158–163.
5. Профилактика и коррекция нарушений состояния свода стопы пловцов 12–14 лет / Е.Ю. Прокопчик, О.Б. Ведерникова, А.С. Ушаков и др. // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2025. – Т. 25, № 3. – С. 152–159.
6. Развитие механизма сенсорных коррекций у детей с детским церебральным параличом спастической двусторонней формой GMFCS II / И.О. Черепанова, А.В. Ненашева, А.С. Ушаков, А.И. Ненашев // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2024. – Т. 24, № 2. – С. 183–188.
7. Черепанова, И.О. Анализ соревновательной деятельности фигуристов на этапе спортивной

специализации / И.О. Черепанова, К.С. Дунаев, А.И. Ненасhev // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 103–109.

8. Черепанова, И.О. Развитие координационных способностей у детей с ДЦП / И.О. Черепанова, А.А. Пleshakov, Э.В. Егорычева // *Человек. Спорт. Медицина*. – 2025. – Т. 25. – № 2. – С. 161–165.

9. Effect of Rest Duration Between Sets on Fatigue and Recovery After Short Intense Plyometric Exercise / M. Staniszewski, J. Tkaczyk, A. Kęska et al. // *Scientific Reports*. – 2024. – Vol. 14, No. 1. – P. 15080.

10. Effects of Cold Water Immersion After Exercise on Fatigue Recovery and Exercise Performance-meta Analysis / F. Xiao, A.V. Kabachkova, Lu. Jiao et al. // *Frontiers in Physiology*. – 2023. – Vol. 14. – P. 1006512.

11. Kiziltoprak, S. Fatigue and Recovery in Football // *Turkish Journal of Sports Medicine*. – 2020. – Vol. 55, No. 2. – P. 172–185.

12. Smith, L.Sch. Fatigue and Recovery in Ballet: Exploring the Experiences of Professional South African Ballet Dancers / L.Sch. Smith, Q.A. Louw, Y. Brink // *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. – 2024. – Vol. 16, No. 1. – P. 237.

13. Yu, X. Fatigue and Recovery of Wushu Athletes Based on Fatigue Damage Model / X. Yu // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 914, No. 1. – P. 012016.

References

1. Ushakov A.S., Korableva Yu.B., Sumak E.N. et al. [Analysis of Thermoregulation in 18-22-Year-Old Kickboxers]. *Human. Sport. Medicine*, 2025, vol. 25, no. 4, pp. 56–62. (in Russ.)

2. Bakhareva A.S., Isaev A.P. [Physiological Adaptation to Heavy Training Loads that Develop Endurance]. *Human. Sport. Medicine*, 2016, vol. 1, no. 1, pp. 29–33. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm160104

3. Bakhareva A.S., Zalyapin V.I., Isaev A.P., Ushakov A.S. [The Relationship Between Lipid Metabolism and the Performance of Cross-country Skiers]. *Human. Sport. Medicine*, 2019, no. 1, pp. 23–25. (in Russ.)

4. Cherepanova I.O., Dunaev K.S., Talantsev A.N., Nenashev A.I. [The Impact of Coordination Skills Development on Technical Fitness of Figure Skaters at the Training Stage]. *Human. Sport. Medicine*, 2022, vol. 22, no. 3, pp. 158–163. (in Russ.)

5. Prokopchik E.Yu., Vedernikova O.B., Ushakov A.S. et al. [Prevention and Correction of Foot Arch Disorders in 12-14 Year-Old Swimmers]. *Human. Sport. Medicine*, 2025, vol. 25, no. 3, pp. 152–159. (in Russ.)

6. Cherepanova I.O., Nenasheva A.V., Ushakov A.S., Nenashev A.I. [Development of the Mechanism of Sensory Corrections in Children with Cerebral Palsy, Spastic Bilateral form GMFCS II]. *Human. Sport. Medicine*, 2024, vol. 24, no. 2, pp. 183–188. (in Russ.)

7. Cherepanova I.O., Dunaev K.S., Nenashev A.I. [Analysis of the Competitive Activity of Figure Skaters at the Stage of Sports Specialization]. *Human. Sport. Medicine*, 2022, vol. 22, no. 1, pp. 103–109. (in Russ.)

8. Cherepanova I.O., Pleshakov A.A., Egorycheva E.V. [Development of Coordination Abilities in Children with Cerebral Palsy]. *Human. Sport. Medicine*, 2025, vol. 25, no. 2, pp. 161–165. (in Russ.)

9. Staniszewski M., Tkaczyk J., Kęska A. et al. Effect of Rest Duration Between Sets on Fatigue and Recovery After Short Intense Plyometric Exercise. *Scientific Reports*, 2024, vol. 14, no. 1, 15080. DOI: 10.1038/s41598-024-66146-2

10. Xiao F., Kabachkova A.V., Jiao Lu. et al. Effects of Cold Water Immersion After Exercise on Fatigue Recovery and Exercise Performance-meta Analysis. *Frontiers in Physiology*, 2023, vol. 14, 1006512. DOI: 10.3389/fphys.2023.1006512

11. Kiziltoprak S. Fatigue and Recovery in Football. *Turkish Journal of Sports Medicine*, 2020, vol. 55, no. 2, pp. 172–185. DOI: 10.5152/tjsm.2020.174

12. Smith L.Sch., Louw Q.A., Brink Y. Fatigue and Recovery in Ballet: Exploring the Experiences of Professional South African Ballet Dancers. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 2024, vol. 16, no. 1, p. 237. DOI: 10.1186/s13102-024-01026-w

13. Yu X. Fatigue and Recovery of Wushu Athletes Based on Fatigue Damage Model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 914, no. 1, 012016. DOI: 10.1088/1757-899X/914/1/012016

Информация об авторах

Кorableva Юлия Борисовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры спортивного совершенствования, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Смирнова Лариса Викторовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Сафина Ирина Владимировна, преподаватель кафедры физического воспитания и здоровья, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Черепанова Ирина Олеговна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры физического воспитания, Московский политехнический университет, Москва, Россия.

Бакушин Антон Андреевич, старший преподаватель кафедры физического воспитания и здоровья, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Information about the authors

Yulia B. Korableva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Athletic Performance Enhancement, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Larisa V. Smirnova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Theory and Methods of Physical Education and Sports, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Irina V. Safina, Lecturer, Department of Physical Education and Health, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Irina O. Cherepanova, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Education, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia.

Anton A. Bakushin, Senior Lecturer, Department of Physical Education and Health, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12.04.2026

The article was submitted 12.04.2026