

ВАРИАТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ У ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ НА ТРЕНИРОВОЧНЫЕ НАГРУЗКИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА

А.С. Бахарева, *bxar@bk.ru*, <http://orcid.org/0000-0003-0518-7751>

Д.З. Шибкова, *shibkova2006@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0002-8583-6821>

А.А. Кравченко, *kra-sport@ya.ru*, <http://orcid.org/0009-0000-7357-7378>

В.В. Эрлих, *erlih-vadim@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0003-4416-1925>

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Цель: выявить эффективные функционально-метаболические ответы организма у лыжников-гонщиков на тренировочные нагрузки подготовительного периода. **Материалы и методы.** Исследование проходило на базе Института спорта, туризма и сервиса Южно-Уральского государственного университета (НИУ). В состав общей выборки на основании добровольного информированного согласия на участие в исследовании были включены 45 спортсменов. Из общей выборки по результатам относительной скорости ($V_{отн.}$), показанной на пятой ступени нагрузочного тестирования, была сформирована группа «лидеры» ($n = 10$) с показателями от 0,075 до 0,001 усл. ед., из них мастеров спорта ($n = 7$), кандидатов в мастера спорта ($n = 2$), первый разряд ($n = 1$). Определяли количественно-качественные показатели эритроцитарного, лейкоцитарного, тромбоцитарного состава и биохимические компоненты плазмы крови на гематологических анализаторах Sysmex XN-1000 (Япония) и Roche Diagnostics (Швейцария). Показатели центральной и периферической гемодинамики определяли методом биоимпедансной тетраполярной реополиграфии (компьютерная система «Кентавр КРС» и «МАРГ 10-01» фирмы «Микролюкс»). Статистический анализ результатов исследования проводился с помощью пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics v. 23. **Результаты** факторного анализа исследуемых показателей позволили установить, что на разных этапах подготовительного периода у спортсменов на физические нагрузки формируется специфический адаптационный комплекс параметров функционально-метаболического состояния организма. Полученная факторная структура демонстрирует особенности иерархии системных, клеточных и молекулярных механизмов обеспечения адаптации к воздействию физических нагрузок на разных этапах подготовительного периода. **Заключение.** Результаты факторного анализа показателей клеточного состава системы крови, ее биохимических компонентов и гемодинамических параметров позволили установить, что на этапах подготовительного периода организм спортсменов на физические нагрузки отвечает комплексом переменных, характеризующих разную структуру функционально-метаболического состояния организма спортсменов.

Ключевые слова: клеточные и биохимические компоненты крови, центральная и периферическая гемодинамика, функционально-метаболическое состояние, лыжники-гонщики, факторный анализ

Для цитирования: Вариативность функционально-метаболических процессов у лыжников-гонщиков на тренировочные нагрузки подготовительного периода / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, А.А. Кравченко, В.В. Эрлих // Человек. Спорт. Медицина. 2024. Т. 24, № 1. С. 33–41. DOI: 10.14529/hsm240104

FUNCTIONAL AND METABOLIC RESPONSES TO EXERCISE IN THE PREPARATORY PERIOD IN CROSS-COUNTRY SKIERS

A.S. Bakhareva, baxar@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0518-7751>
D.Z. Shibkova, shibkova2006@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8583-6821>
A.A. Kravchenko, kra-sport@ya.ru, <http://orcid.org/0009-0000-7357-7378>
V.V. Erlikh, erlih-vadim@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4416-1925>
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Aim. To identify effective functional and metabolic responses to exercise in the preparatory period in cross-country skiers. **Materials and methods.** The study was conducted at the Institute of Sport, Tourism and Service (South Ural State University, National Research University). Forty-five athletes were enrolled in the study. Prior to the study, informed consent was obtained from each participant. From the general sample, a group of the so-called leaders was formed based on the data of relative velocity (V_{rel}) recorded at the 5th stage of exercise testing ($n = 10$). The results obtained in this group were within 0.075 and 0.001 c.u. and corresponded to the ranks of Master of Sport ($n = 7$), Candidate for Master of Sport ($n = 2$), and 1st rank ($n = 1$). Erythrocyte, leukocyte, and thrombocyte counting and blood biochemistry were performed at Sysmex XN-1000 (Japan) and Roche Diagnostics (Switzerland). The data on central and peripheral hemodynamics was obtained by tetrapolar bioelectrical impedance measurements (Kentavr KRS and MARG 10-01 computer systems, Microlux). The statistical processing of the results obtained was performed with IBM SPSS Statistics v. **Results.** Factor analysis shows that at different stages of the preparatory period, athletes develop a specific set of functional and metabolic parameters as a response to exercise. The factor structure shows the features of the hierarchy of systemic, cellular, and molecular mechanisms of adaptation to exercise at different stages of the preparatory period. **Conclusion.** The factor analysis of the cellular composition of the blood and its biochemical and hemodynamic parameters allowed for the establishment of a set of parameters that characterize a different structure of functional and metabolic states in athletes as a response to exercise at different stages of the preparatory period.

Keywords: cellular and biochemical blood components, central and peripheral hemodynamics, functional and metabolic state, cross-country skiers, factor analysis

For citation: Bakhareva A.S., Shibkova D.Z., Kravchenko A.A., Erlikh V.V. Functional and metabolic responses to exercise in the preparatory period in cross-country skiers. *Human. Sport. Medicine.* 2024;24(1):33–41. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm240104

Введение. Проблема вариативности в функционировании различных биологических систем – одна из актуальных в области физиологии человека. Вариативность следует рассматривать не как случайный разброс в функционировании системы, а как положительное явление, позволяющее системе адаптироваться к требованиям двигательной задачи [5]. Оценка адаптационных процессов в динамике воздействия тренировочных физических нагрузок предполагает использование адекватных и информативных методов исследования [11, 13, 14]. Динамику адаптационных процессов организма спортсменов к высокоинтенсивной физической деятельности позволяет оценить молекулярно-клеточный контроль тренировочного процесса, в частности, определять уровень тренированности,

эффекты от применения восстанавливающих средств, роль энергетических метаболических систем в мышечной деятельности и другое [15, 16]. Для оценки функционального состояния используется ряд медико-биологических методов исследования в спортивной физиологии [2, 4, 7, 8].

Для определения связей между параметрами гомеостаза исследуются значительные по объему массивы информации, применяются различные статистические методы, однако большинство из них не дают возможности системной оценки нарушений гомеостаза. В этой связи представляется целесообразным внедрение в практику этих исследований факторного анализа, который представляет собой эффективный метод раскрытия внутренней структуры больших массивов информации

[3, 9]. Анализировать информацию о состоянии спортсмена в обобщенном формате возможно на основе анализа факторной структуры работоспособности. Исследователь выделяет для этого набор параметров, который в целом отражает особенности конкретного вида спорта. При адаптации к специфической мышечной деятельности формируются функциональные системы с особой архитектоникой энергообеспечения организма спортсменов [10]. Суммируясь, адаптационные изменения в этих функциональных системах обуславливают кумулятивный эффект тренировки. Показатели, которые служат критериями адаптации к данной деятельности в данных функциональных системах, дают возможность оценивать восстановление, индивидуализировать тренировочный процесс и эффективно управлять тренировочной деятельностью [1, 6].

Организация и методы исследования.

Исследование проходило на базе Института спорта, туризма и сервиса Южно-Уральского государственного университета (НИУ) в три этапа подготовительного периода: начало базового (I этап), окончание базового (II этап), окончание специально-подготовительного (III этап). В состав общей выборки на основании добровольного информированного согласия на участие в исследовании были включены 45 спортсменов в возрасте $20,87 \pm 4,34$ ($M \pm \delta$). Из общей выборки по результатам относительной скорости ($V_{отн}$), показанной на пятой ступени нагрузочного тестирования, была сформирована группа «лидеры» ($n = 10$) с показателями от 0,075 до 0,001 усл. ед., из них мастеров спорта ($n = 7$), кандидатов в мастера спорта ($n = 2$), первый разряд имели ($n = 1$) [4]. Средний возраст лыжников-гонщиков группы «лидеров» составил $23,50 \pm 2,99$ ($M \pm \delta$). Анализировали количественно-качественные показатели эритроцитарного, лейкоцитарного (абсолютные значения), тромбоцитарного звена и биохимических компонен-

тов плазмы крови (АЛТ, ед./л; АСТ, ед./л; ЛДГ, ед./л; мочевина, ммоль/л; глюкоза (Glu), ммоль/л; триглицериды (ТГ), ммоль/л; тестостерон (Tst), нг/мл; кортизол, нг/мл). Результаты показателей крови были получены на гематологических анализаторах Sysmex XN-1000 (Япония) и Roche Diagnostics (Швейцария). Показатели гемодинамики определяли методом биоимпедансной тетраполярной реополиграфии (компьютерная система «Кентавр КРС» и «МАРГ 10-01» фирмы «Микролюкс»), анализировали параметры: ЧСС, уд./мин; УОК, мл; МОК, л/мин; ОПСС, $\text{дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$; ИДК, $\text{мл}/\text{мин}/\text{м}^2$; SpO_2 , %; Афпг, мОм. Статистический анализ результатов исследования проводился с помощью пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics v. 23. Для снижения размерности данных использовали факторный анализ. При выполнении факторного анализа вращение было задано по типу «варимакс с нормализацией Кайзера», которое на I этапе сошлось за 10 итераций, на II этапе – за 7 итераций, на III этапе – за 6 итераций. Мера адекватности выборки Кайзера – Майера – Олкина, а также критерий сферичности Бартлетта указали на достоверность факториального анализа ($r > 0,6$).

Результаты. Всего проанализированы 34 показателя, в том числе 27 – системы крови, включая биохимические компоненты, и 7 – системы кровообращения.

В табл. 1 представлены результаты совокупной дисперсии компонентов у лыжников-гонщиков группы лидеров на этапах подготовительного периода (%).

Результаты, представленные в табл. 1, свидетельствуют, что дисперсионная доля каждого фактора на I и II этапах подготовительного периода изменялась в пределах 10 %. При этом совокупная дисперсия первых двух факторов составляет более 50 %, а именно: на первом этапе – 58,86 %, на втором этапе – 71,52 %, на третьем – 58,32 %. Наибольшие

Таблица 1
Table 1

Дисперсия факторного анализа у лыжников-гонщиков группы лидеров
на этапах подготовительного периода, %
Factor analysis among cross-country skiers of the leading group
at the stages of the preparatory period, %

Этап подготовки Stage	Фактор I Factor I	Фактор II Factor II	Фактор III Factor III	Фактор IV Factor IV
I	29,82	29,04	20,65	20,48
II	38,33	33,19	28,48	–
III	34,06	24,26	22,36	19,32

Таблица 2
Table 2

Количественная оценка корреляционных взаимосвязей функционально-метаболических показателей лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода ($r > 0,5$)
Correlations between functional and metabolic parameters of cross-country skiers at the stages of the preparatory period ($r > 0,5$)

Этап подготовки Stage	Всего Total	«+»	«-»
I	42	24	18
II	44	29	15
III	47	34	13

Таблица 3
Table 3

Совокупность переменных фактора I с очень высокой и высокой факторной нагрузкой на этапах подготовительного периода у лыжников-гонщиков группы лидеров
A set of factor I variables with very high and high factor loadings at the stages of the preparatory period among cross-country skiers of the leading group

I этап / I stage		II этап / II stage		III этап / III stage	
Параметр Parameter	r	Параметр Parameter	r	Параметр Parameter	r
МОК	0,965	RDW-SD	0,986	ОПСС	-0,997
PWD	-0,960	SpO ₂	0,977	НСТ	0,963
PLT	0,957	RBC	-0,974	MCV	0,958
ЧСС	0,941	MCV	0,971	СОЭ	0,945
MPV	-0,925	Ba	0,961	АСТ	-0,939
АЛТ	0,867	Мочевина	0,944	RDW-SD	0,917
Ео	-0,766	PLT	0,920	ТГ	0,882
АСТ	0,754	RDW-CV	0,888	Кортизол	0,853
		MON	0,864	MCHC	-0,833
		НСТ	0,736	RDW-CV	0,741
		PCT	0,728	ЧСС	0,717

Примечание: МОК – минутный объем кровообращения; PWD – показатель гетерогенности тромбоцитов; PLT – количество тромбоцитов; ЧСС – частота сердечных сокращений; MPV – средний объем тромбоцитов; АЛТ – аланинаминотрансфераза; Ео – эозинофилы; АСТ – аспаратаминотрансфераза; RDW-SD – ширина распределения эритроцитов; SpO₂ – сатурация крови; RBC – количество эритроцитов; MCV – объем эритроцитов; Ba – базофилы; RDW-CV – индекс распределения эритроцитов; MON – моноциты; НСТ – гематокрит; PCT – тромбоцит; ОПСС – общее периферическое сопротивление сосудов; СОЭ – скорость оседания эритроцитов; ТГ – триглицериды; MCHC – концентрация гемоглобина в эритроците.

Note: CO – cardiac output; PDW – platelet distribution width; PLT – platelets; HR – heart rate; MPV – mean platelet volume; ALT – alanine transaminase; Eo – eosinophils; AST – aspartate transaminase; RDW-SD – red cell distribution width – standard deviation; SpO₂ – saturation of peripheral oxygen; RBC – red blood cell; MCV – mean corpuscular volume; Ba – basophil; RDW-CV – red cell distribution width – coefficient of variation; MON – monocyte; HCT – hematocrit; PCT – platelet crit; SVR – systemic vascular resistance; ESR – erythrocyte sedimentation rate; TG – triglyceride; MCHC – mean corpuscular hemoglobin concentration.

значения общей доли дисперсии первых двух факторов были установлены в конце базового этапа подготовительного периода. Считается, что чем выше доля дисперсии, тем больше вклад этого фактора в объяснение общей вариации данных.

Количественное отражение структуры отношений между переменными, характеризующими функционально-метаболическое состояние организма спортсменов на разных этапах подготовительного периода, по пара-

метрам системы крови и гемодинамики представлено в табл. 2.

Анализ данных, представленных в табл. 2, показывает преобладание прямых (+) корреляционных взаимосвязей, количество которых от этапа к этапу увеличивалось, а отрицательных – уменьшалось. Такое соотношение прямых и обратных корреляционных связей указывает на мобилизацию функционально-метаболических процессов в организме лыжников в динамике подготовительного периода.

Результаты факторного анализа (табл. 3), отражающего состав переменных, позволили выявить три группы корреляций с очень высокой ($r > 0,90$), высокой ($r = 0,70-0,90$) и средней теснотой связи ($r = 0,50-0,70$).

Далее при анализе полученных результатов мы акцентировали внимание на переменных фактора I и фактора II с очень высокой и высокой факторной нагрузкой.

Результаты, представленные в табл. 3, указывают на то, что в группе лидеров в начале базового этапа подготовки фактор I (29,82 % дисперсии) объединил 13 переменных с преобладанием положительных взаимосвязей 9 (+). Очень высокую силу положительной взаимосвязи с фактором I имели переменные центральной гемодинамики (МОК и ЧСС), тромбоцитарного звена системы крови (количество тромбоцитов) и отрицательные взаимосвязи (-) (распределение и объем тромбоцитов). Высокую силу положительной связи имели биохимические параметры крови АЛТ и АСТ, а отрицательной связи – показатель лейкоцитарного звена – эозинофилы.

В конце базового этапа подготовки фактор I включал 18 переменных с общей суммой дисперсии 38,33 %, из которых 12 имели (+) корреляционную связь, 6 (-) связь. Очень высокую силу связи с фактором I имели пере-

менные клеточного состава крови: индекс распределения эритроцитов (+), количеством эритроцитов (-), объемом эритроцитов (+), количеством тромбоцитов (+) и базофилов (+), показатели сатурации (+) и мочевины (+). Высокую факторную нагрузку (+) имели следующие переменные: RDW-CV, MON, HCT, PCT.

В конце подготовительного периода фактор I включил 15 переменных с общей суммой дисперсии 34,06 %, из которых 11 имели (+) корреляционную связь, 4 (-) связь. Наиболее эффективным параметром системы гемодинамики в конце подготовительного периода оказалось ОПСС (-). Также высокую положительную силу связи с фактором I имели следующие переменные: HCT, COЭ, MCV, RDW-SD (+) и АСТ (-).

Результаты, представленные в табл. 4, позволяют установить, что фактор II в начале подготовительного периода объединил 29,04 % компонентов от совокупной дисперсии, из которых 8 (+) и 6 (-). Очень высокую силу взаимосвязи с фактором II имели переменные эритроцитарного звена системы крови (количество (-) и объем эритроцитов (+)), показатели периферического звена системы кровообращения (ИДК (+)) и метаболических процессов (мочевина (+)). Высокой силе связи соответствовали переменные центральной

Таблица 4
Table 4

Совокупность переменных фактора II с очень высокой и высокой факторной нагрузкой на этапах подготовительного периода у лыжников-гонщиков группы лидеров
A set of factor II variables with very high and high factor loadings at the stages of the preparatory period among cross-country skiers of the leading group

I этап / I stage		II этап / II stage		III этап / III stage	
Параметр Parameter	r	Параметр Parameter	r	Параметр Parameter	r
RBC	-0,981	ТГ	-0,984	ЛДГ	-0,977
MCV	0,952	Кортизол	0,964	LYMF	0,974
ИДК	0,938	Ne	0,955	PWD	-0,965
Мочевина	0,933	ЧСС	-0,923	MPV	-0,930
УОК	-0,879	ЛДГ	0,899	Ne	-0,772
Tst	-0,833	WBC	0,883	АЛТ	0,760
MCH	0,825	LYMF	-0,869		
Ne	0,798	HGB	0,809		
ЛДГ	0,788				

Примечание: RBC – количество эритроцитов; MCV – объем эритроцитов; ИДК – индекс доставки кислорода; УОК – ударный объем крови; Tst – тестостерон; MCH – содержание гемоглобина в эритроците; Ne – нейтрофилы; ЛДГ – лактатдегидрогеназа; ТГ – триглицериды; WBC – количество лейкоцитов; LYMF – количество лимфоцитов; PWD – показатель гетерогенности тромбоцитов; MPV – средний объем тромбоцитов.

Note: RBC – red blood cell; MCV – mean corpuscular volume; OI – oxygenation index; CO – cardiac output; Tst – testosterone; MCH – mean corpuscular hemoglobin; Ne – neutrophil; LDG – lactate dehydrogenase; TG – triglyceride; WBC – white blood cell; LYMPH – lymphocyte; PDW – platelet distribution width; MPV – mean platelet volume.

гемодинамики (УОК (-)), гормональной активности (тестостерон (-)), эритроцитарного звена системы крови (содержание гемоглобина в эритроците (+)), лейкоцитарного (количество нейтрофилов (+)) и ферментативной активности (ЛДГ (+)).

Фактор II в конце базового этапа подготовки включал 14 переменных с общей суммой дисперсии 33,19 %, из которых 10 имели (+) корреляционную связь, 4 (-) связь. Наибольшие весовые нагрузки по данному фактору имели такие показатели, как триглицериды (-), кортизол (+), нейтрофилы (+) и ЧСС (-). Высокую факторную нагрузку имели следующие переменные: ЛДГ (+), количество лейкоцитов (+), количество лимфоцитов (-) и содержание гемоглобина (+).

Фактор II на заключительном этапе подготовительного периода составил 24,26 % от общей совокупности дисперсии, из которых 6 переменных имели (+) корреляционную связь, 5 (-) связь. Ведущими параметрами с очень высокой теснотой связи оказались показатели ЛДГ (-), лимфоцитов (+), ширина и объем тромбоцитов (-).

Обсуждение результатов. При проведении исследований в области физиологии важной задачей является поиск взаимосвязей между параметрами, характеризующими функциональное состояние организма на разных его уровнях. Факторный анализ позволяет выявить структуру связей множества переменных, которые при использовании парной корреляции не выявляются [9]. Выявление связей с использованием факторного анализа углубляет понимание структурной организации сложной многокомпонентной системы и обеспечивает поиск биомаркеров различных физиологических состояний [12]. Интерпретация результатов факторного анализа требует знания фундаментальных основ предметной области и тщательного анализа результатов исследования, что обеспечивает выявление скры-

тых факторов и разработку новых концепций или теорий.

Результаты факторного анализа исследуемых нами показателей позволили установить, что на физические нагрузки разных этапов подготовительного периода у спортсменов формируется специфический адаптационный комплекс параметров функционально-метаболического состояния организма. Полученная факторная структура демонстрирует особенности иерархии системных, клеточных и молекулярных механизмов обеспечения адаптации к воздействию физических нагрузок на этапах подготовительного периода. Адаптационные механизмы к физическим нагрузкам в подготовительном периоде реализуются системой крови по следующей схеме включения ее компонентов: доминирующая роль тромбоцитарного звена (I этап) – эритроцитарного звена (II этап) – реологических показателей крови (III этап). Доминирующими параметрами адаптационных процессов в системе гемодинамики на этапах подготовительного периода являлись: минутный объем кровотока и частота сердечных сокращений (I этап), показатель сатурации крови (II этап), общее периферическое сопротивление сосудов и ЧСС (III этап). Доминирующими параметрами метаболических процессов на этапах адаптации к физическим нагрузкам являлись: аланин-трансаминаза и аспартаттрансаминаза (I этап), мочевины (II этап), аспартаттрансаминаза (III этап).

Заключение. Результаты факторного анализа показателей клеточного состава системы крови, ее биохимических компонентов и гемодинамических параметров позволили установить, что на этапах подготовительного периода организм спортсменов на физические нагрузки отвечает комплексом переменных, характеризующих разную структуру функционально-метаболического состояния организма спортсменов.

Список литературы

1. Анализ подходов к оптимальному управлению тренировочным процессом в спорте высших достижений / Е.А. Ширковец, М.В. Арансон, Э.С. Озолин, Л.Н. Овчаренко // Вестник спортивной науки. – 2009. – № 5. – С. 9–12.
2. Бахарева, А.С. Особенности функционального ответа организма лыжников-гонщиков с различными скоростными показателями в нагрузочном тесте / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, В.В. Эрлих // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 2 (19).
3. Бахарева, А.С. Факторная структура функционально-метаболического состояния системы крови на базовом этапе подготовки лыжников / А.С. Бахарева, А.В. Ненашева, Д.З. Шибкова // Сб. тезисов XXIV съезда физиол. о-ва им. И.П. Павлова. – СПб., 2023. – С. 544–545.

4. Биохимические и гематологические критерии управления тренировочным процессом в спорте / О.Б. Добровольский, А.Ю. Сиденков, И.А. Лазарева, Ф.М. Шветский // *Спортивная медицина: наука и практика*. – 2014. – № 4. – С. 24–31.

5. Моисеев, С.А. Вариативность как фактор стабилизации системы управления движениями в стрельбе из лука / С.А. Моисеев // *Теория и практика физической культуры*. – 2015. – № 6. – С. 17–19.

6. Научно-методическое обеспечение подготовки спортивного резерва Республики Беларусь по группам видов спорта с использованием методов клиничко-лабораторной диагностики: практ. пособие / А.И. Нехвядович и др. – Минск: БГУФК, 2018. – 46 с.

7. Определение референтных интервалов биохимических показателей крови с учетом вида спорта при выполнении тренировочных нагрузок различной направленности / И.Л. Гулен, А.Н. Будко, С.О. Гаврилова и др. // *Прикладная спортивная наука*. – 2021. – № 1 (13). – С. 28–36.

8. Румянцева, В.Д. Динамика биохимических показателей крови высококвалифицированных спортсменов в биатлоне в зависимости от направленности тренировочных нагрузок / В.Д. Румянцева, И.Л. Рыбина // *Прикладная спортивная наука*. – 2021. – № 2 (14). – С. 76–81.

9. Структура взаимосвязей показателей аэробной работоспособности, центральной гемодинамики, микроциркуляции и реологии крови / П.В. Михайлов, А.В. Муравьев, И.А. Осетров и др. // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. – 2021. – Т. 20, № 1. – С. 84–90.

10. Ширковец, Е.А. Различия структур функциональных показателей спортсменов в циклических видах спорта / Е.А. Ширковец, В.Н. Морозов, И.Л. Рыбина // *Вестник спортивной науки*. – 2019. – № 3. – С. 28–31.

11. Dernovoj, B. Seasonal variation of right heart function in elite skiers-racers: an echocardiographic study / B. Dernovoj, V. Nuzhny, V. Prosheva // *European Journal of Applied Physiology*. – 2022. – No. 122. – P. 1261–1268. DOI: 10.1007/s00421-022-04907-5

12. Diagnostic value of blood parameters for community-acquired pneumonia / Y. Huang, A. Liu, L. Liang et al. // *Int Immunopharmacol*. – 2018. – Vol. 64. – P. 10–15.

13. Functional diagnostics in the comparative assessment of physical performance in ski racers to forecast sports performance development / V. Epishev, Yu. Korableva, T. Alferova et al. // *Proceedings of the 4th international conference on innovations in sports, tourism and instructional science (icistis 2019)*. – 2019. – Vol. 17. – P. 53–55. DOI: 10.2991/icistis-19.2019.15

14. Hormonal activity and performance of ski-racers / A.S. Bakhareva, A.P. Isaev, A.S. Aminov, O.V. Melnikova // *Journal of Physical Education and Sport*. – 2019. – Vol. 19, No. 4. – P. 2504–2507.

15. Latash, M.L. Variability of fast single-joint movements and equilibrium-point hypothesis / K.M. Newell, D.M. Corcos // *Human kinetics publishers*. – 1993. – P. 157–182.

16. MacInnis, M.J. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity / M.J. MacInnis, M.J. Gibala // *J. Physiol*. – 2017. – Vol. 595 (9). – P. 2915–2930. DOI: 10.1113/JP273196

References

1. Shirkovets E.A., Aranson M.V., Ozolin E.S., Ovcharenko L.N. [Analysis of Approaches to Optimal Management of the Training Process in Elite Sports]. *Vestnik sportivnoy nauki* [Bulletin of Sports Science], 2009, no. 5, pp. 9–12. (in Russ.)

2. Bakhareva A.S., Shibkova D.Z., Erlich V.V. [Features of the Functional Response of the Body of Cross-Country Skiers with Different Speed Indicators in the Load Test]. *Sovremennyye voprosy biomeditsiny* [Modern Issues of Biomedicine], 2022, vol. 6, no. 2 (19). (in Russ.) DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_3

3. Bakhareva A.S., Nenasheva A.V., Shibkova D.Z. [Factor Structure of the Functional-metabolic State of the Blood System at the Basic Stage of Ski Training]. *Sbornik tezisov XXIV s"yezda fiziologicheskogo obshchestva imeni I.P. Pavlova* [Collection of Abstracts of the XXIV Congress of the Physiological Society named after I. P. Pavlov], 2023, pp. 544–545. (in Russ.)

4. Dobrovolskiy O.B., Sidenkov A.Yu., Lazareva I.A., Shvetkiy F.M. [Biochemical and Hematological Criteria for Managing the Training Process in Sports]. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika* [Sports Medicine. Science and Practice], 2014, no. 4, pp. 24–31. (in Russ.)

5. Moiseyev S.A. [Variability as a Factor in Stabilizing the Movement Control System in Archery]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2015, no. 6, pp. 17–19. (in Russ.)
6. Nekhvyadovich A.I. et al. *Nauchno-metodicheskoye obespecheniye podgotovki sportivnogo rezerva Respubliki Belarus' po gruppam vidov sporta s ispol'zovaniyem metodov kliniko-laboratornoy diagnostiki: prakt. posobiye* [Scientific and Methodological Support for the Preparation of the Sports Reserve of the Republic of Belarus by Groups of Sports Using Clinical and Laboratory Diagnostic Methods. Practical Work. Allowance]. Minsk, 2018. 46 p.
7. Gilep I.L., Budko A.N., Gavrilova S.O. et al. [Determination of Reference Intervals of Biochemical Blood Parameters Taking into Account the Type of Sport when Performing Training Loads of Various Directions]. *Prikladnaya sportivnaya nauka* [Applied Sports Science], 2021.
8. Rumyantseva V.D., Rybina I.L. [Dynamics of Biochemical Blood Parameters of Highly Qualified Athletes in Biathlon Depending on the Direction of Training Loads]. *Prikladnaya sportivnaya nauka* [Applied Sports Science], 2021, no. 2 (14), pp. 76–81. (in Russ.)
9. Mikhaylov P.V., Murav'yev A.V., Osetrov I.A. et al. [Structure of Relationships between Indicators of Aerobic Performance, Central Hemodynamics, Microcirculation and Blood Rheology]. *Regionalnaya krovoobrashcheniye i mikrotsirkulyatsiya* [Regional Blood Circulation and Microcirculation], 2021, vol. 20, no. 1, pp. 84–90. (in Russ.) DOI: 10.24884/1682-6655-2021-20-1-84-90
10. Shirkovets E.A., Morozov V.N., Rybina I.L. [Differences in the Structures of Functional Indicators of Athletes in Cyclic Sports]. *Vestnik sportivnoy nauki* [Bulletin of Sports Science], 2019, no. 3, pp. 28–31. (in Russ.)
11. Dernovoj B., Nuzhny V., Prosheva V. Seasonal Variation of Right Heart Function in Elite Skiers-Racers: an Echocardiographic Study. *European Journal of Applied Physiology*, 2022, no. 122, pp. 1261–1268. DOI: 10.1007/s00421-022-04907-5
12. Huang Y., Liu A., Liang L. et al. Diagnostic Value of Blood Parameters for Community-acquired Pneumonia. *International Immunopharmacol*, 2018, vol. 64, pp. 10–15. DOI: 10.1016/j.intimp.2018.08.022
13. Epishev V., Korableva Yu., Alferova T. et al. Functional Diagnostics in the Comparative Assessment of Physical Performance in Ski Racers to Forecast Sports Performance Development. *Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Sports, Tourism and Instructional Science (icistis 2019)*, 2019, vol. 17, pp. 53–55. DOI: 10.2991/icistis-19.2019.15
14. Bakhareva A.S., Isaev A.P., Aminov A.S., Melnikova O.V. Hormonal Activity and Performance of Ski-racers. *Journal of Physical Education and Sport*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 2504–2507.
15. Latash M.L., Newell K.M., Corcos D.M. Variability of Fast Single-joint Movements and Equilibrium-point Hypothesis. *Human Kinetics Publishers*, 1993, pp. 157–182.
16. MacInnis M.J., Gibala M.J. Physiological Adaptations to Interval Training and the Role of Exercise Intensity. *Journal Physiology*, 2017, vol. 595 (9), pp. 2915–2930. DOI: 10.1113/JP273196

Информация об авторах

Бахарева Анастасия Сергеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры спортивного совершенствования, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Шибкова Дарья Захаровна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник центра спортивной науки, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Кравченко Александр Александрович, аспирант кафедры спортивного совершенствования, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Эрлих Вадим Викторович, доктор биологических наук, директор Института спорта, туризма и сервиса, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Information about the authors

Anastasia S. Bakhareva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Athletic Performance Enhancement, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Daria Z. Shibkova, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher at the Research Center for Sports Science, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Alexander A. Kravchenko, postgraduate student, Department of Athletic Performance Enhancement, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Vadim V. Erlikh, Doctor of Biological Sciences, Director of the Institute of Sport, Tourism and Service, 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 conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.09.2023

The article was submitted 20.09.2023