

## Критерии функционально-метаболического обеспечения адаптации организма лыжников-гонщиков к тренировочным нагрузкам подготовительного периода

А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова<sup>✉</sup>, В.В. Эрлих, А.А. Плетнев  
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия  
<sup>✉</sup>shibkova2006@mail.ru

### Аннотация

**Введение.** Актуальным вопросом физиологии является функциональная и метаболическая оценка адаптивно-компенсаторных реакций, обеспечивающих физическую работоспособность человека, в том числе спортсменов. **Цель** исследования: поиск маркеров функционально-метаболического обеспечения адаптации организма у лыжников-гонщиков на нагрузки подготовительного периода. **Материалы и методы.** В обследуемую выборку были включены квалифицированные лыжники-гонщики мужского пола в возрасте 19–23 лет, дифференцированные на группы «лидеры» ( $n = 10$ ) и «резерв» ( $n = 10$ ) по показателю средней скорости движений (км/час) на 5-й ступени нагрузочного тестирования на ручном лыжном эргометре. Оценивали состав тела, параметры системы крови, гемодинамики, дыхательной функции, вегетативной регуляции ритма сердца. По полученным результатам сформирована база данных, включающая 62 показателя. Статистическая обработка данных проведена при помощи прикладных программ IBM SPSS Statistics v. 23. Проведен расчет непараметрического коэффициента ранговой корреляции Спирмена ( $\rho$ ). **Результаты.** Предложены новые индексы (БЖМТ/ЖМТ) и функционального резерва парасимпатической вегетативной нервной системы (IPVNS) по показателю RMSSD, значения которых являются прогностическими критериями, характеризующими работоспособность лыжников-гонщиков. Установлены детерминанты параметра RMSSD и вклад различных физиологических систем в регуляцию кардиоритма. У лидеров установлено физиологически адекватное переключение с системной вагусной регуляции на локальный клеточно-опосредованный тип регуляции адаптивных процессов; у резерва – доминирование системной холинергической регуляции на всех этапах. Результаты доказывают, что высокие значения RMSSD не могут однозначно трактоваться как критерий оптимальной адаптации и высокой работоспособности лыжников-гонщиков. **Заключение.** Факторный и регрессионный анализ комплекса 62 физиологических и метаболических показателей у квалифицированных лыжников-гонщиков выявил предиктор (параметр ВРС – RMSSD) направленности адаптивных процессов под воздействием тренировочных нагрузок, специфические для спортсменов группы лидеров и резерва критерии физической работоспособности на каждом этапе подготовительного периода.

**Ключевые слова:** функционально-метаболическое обеспечение, факторный и регрессионный анализ, критерии адаптации, лыжники-гонщики, подготовительный период

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

**Для цитирования:** Критерии функционально-метаболического обеспечения адаптации организма лыжников-гонщиков к тренировочным нагрузкам подготовительного периода / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, В.В. Эрлих, А.А. Плетнев // Психология. Психофизиология. 2026. Т. 19, № 2. С. 103–114. DOI: 10.14529/jpps260210

## Criteria for the functional and metabolic support of the adaptation of the body of ski racers to the training loads of the preparatory period

A.S. Bakhareva, D.Z. Shibkova✉, V.V. Erlich, A.A. Pletnev  
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia  
✉ shibkova2006@mail.ru

### Abstract

**Introduction.** Functional and metabolic assessment of adaptive-compensatory reactions underlying physical performance in humans, particularly athletes, is a pressing issue in physiology. **Aims.** This paper aims to identify markers of functional metabolic adaptation in cross-country skiers to training loads in the preparatory period. **Materials and methods.** The study involved qualified male cross-country skiers aged 19–23 years, divided into leaders ( $n = 10$ ) and reserve athletes ( $n = 10$ ) based on average speed (km/h) at Stage 5 during ski ergometer testing. Body composition, blood parameters, hemodynamics, respiratory function, and heart rate variability were assessed. A database of 62 parameters was created from the results. Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics v. 23, and Spearman's rank correlation coefficient was calculated. **Materials and methods.** New indices and an RMSSD-based measure of parasympathetic functional reserve (IPVNS) were proposed as prognostic criteria for performance in cross-country skiers. The determinants of RMSSD and the contributions of different physiological systems to heart rate regulation were identified. Leaders demonstrated a physiologically adequate shift from systemic vagal regulation to a local, cell-mediated type of adaptive regulation. Reserve athletes exhibited dominance of systemic cholinergic regulation at all stages. These findings confirm that high RMSSD values cannot be unambiguously interpreted as a criterion of optimal adaptation and high performance in cross-country skiers. **Conclusion.** Factor and regression analysis of 62 physiological and metabolic parameters in qualified cross-country skiers revealed RMSSD as a predictor of training-induced adaptation, as well as physical performance criteria specific to leader and reserve athletes at each stage of the preparatory period.

**Keywords:** functional and metabolic support, factorial and regression analysis, adaptation criteria, ski racers, preparatory period

*The authors declare no conflict of interest.*

**For citation:** Bakhareva A.S., Shibkova D.Z., Erlich V.V., Pletnev A.A. Criteria for the functional and metabolic support of the adaptation of the body of ski racers to the training loads of the preparatory period. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya = Psychology. Psychophysiology.* 2026;19(2):103–114. (in Russ.) DOI: 10.14529/jpps260210

### Введение

Известно, что оптимальный вариант адаптивного процесса к тренировочным нагрузкам реализуется минимизацией функций гликолитического пути энергообеспечения, потребления  $O_2$  и энергозатрат на начальном базовом этапе подготовки [1] и обеспечением адекватного сочетания аэробных и анаэробных путей освобождения энергии в конце базового этапа подготовки.

Выявление маркеров, лимитирующих физическую работоспособность у лыжников-гонщиков, взаимосвязано с мобилизацией функционально-метаболических резервов организма на специально-подготовительном этапе и с интегральными нейроиммунноэндокринными механизмами регуляции адап-

тивных процессов у спортсменов в конце подготовительного периода.

В обзорной статье В.А. Черешнев и Б.Г. Юшков (2026) приводят аргументы, обосновывающие концепцию единой регуляторной системы, представленной компонентами иммунной, нервной и эндокринной регуляции. Основанием для данной концепции являются интегрированные друг в друга структуры, которые в качестве сигнальных молекул используют одни и те же биологически активные вещества. В регуляции функций организма нейроиммунноэндокринная система всегда выступает совместно, дополняя или замещая друг друга. Количество накопленных фактов дают основание рассматривать иммунную, нервную и эндокринную системы в

качестве единой системы физиологической регуляции [2].

Функционально-метаболическая оценка и персонализированный анализ физической работоспособности лыжников-гонщиков являются основанием для выявления новых индикаторов состояния физиологических процессов в доминирующих системах обеспечения адаптации организма к нагрузкам подготовительного периода.

**Цель** настоящего исследования заключается в выявлении маркеров функционально-метаболического обеспечения адаптации к нагрузкам подготовительного периода и их критериев у лыжников-гонщиков, дифференцированных по скорости двигательных действий при эргометрическом тестировании.

### Организация и методы

Исследования проводились на базе кафедры спортивного совершенствования и научно-исследовательского центра спортивной науки Института спорта, туризма и сервиса (ИСТиС) ФГАОУ ВО «Южно-Уральского государственного университета». На основе письменного информированного согласия в обследуемую выборку были включены квалифицированные лыжники-гонщики мужского пола в возрасте 19–23 лет с разными показателями средней скорости движений (Вкм/час) при максимальной интенсивности нагрузочного тестирования на ручном лыжном эргометре. По значениям скорости, которая отражает работоспособность спортсмена, лыжники-гонщики были разделены на группы: условно «лидеры» (n = 10) и «резерв» (n = 10). В соответствии с поставленной целью исследования была проведена диагностика физиологических и биохимических параметров организма спортсменов на разных этапах подготовительного периода. Оценивали компонентный состав тела (анализатор Tanita BC-418MA), параметры системы крови (анализатор Sysmex XN-1000, Япония), морфометрических показателей сердца (эхокардиография на аппарате Mindray DC-70, Китай), гемодинамики (тонометр OMRON M2, Япония), дыхательной функции (спирография на аппарате «Этон»), вегетативной регуляции ритма сердца (датчик сердечного ритма «Polar H7» и спортивные часы «Polar V800»). По полученным результатам была сформирована общая база данных, включающая 62 функционально-метаболических показателя, отражающих

морфофункциональный и метаболический статус обследованных спортсменов на каждом этапе подготовительного периода.

Статистическая обработка данных исследования проводилась при помощи пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics v. 23. Значения исследуемых показателей были представлены в виде медианы и межквартильного размаха в формате Me [Q1; Q3]. Для выявления и количественной оценки силы направленных связей между ключевыми параметрами, характеризующими механизмы адаптации, был выбран непараметрический коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ). Коэффициент рассчитывался для заданных пар переменных, отобранных на основе теоретической модели исследуемых адаптационных процессов. Сила корреляционной связи интерпретировалась в соответствии с общепринятой шкалой, статистическая значимость коэффициентов проверялась при критическом уровне  $p < 0,05$ ; уровни  $p < 0,01$  и  $p < 0,001$  расценивались как показатели высокой и очень высокой статистической значимости соответственно.

### Результаты

С целью выявления адаптивных перестроек в функционально-метаболическом обеспечении адаптации к физическим нагрузкам на разных этапах подготовительного периода нами ранее были представлены индивидуальные профили и проанализированы результаты каждого спортсмена. Для демонстрации примеров разнонаправленности индивидуальных механизмов адаптации были выбраны спортсмены № 1 и № 6 из группы лидеров и № 1 и № 10 из группы резерва [3]. Выбор данных лыжников-гонщиков для демонстрации показателей основан на кластеризации по показателю индекса реактивности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (IPVNS). Данный нелинейный показатель характеризует ключевое свойство ВНС – ее реактивность, способность к быстрой функциональной перестройке в ответ на активную ортостатическую пробу. Для количественной оценки индекса реактивности, а не только базального тонуса был рассчитан индекс функционального резерва парасимпатической вегетативной нервной системы (IPVNS):

$$IPVNS = \frac{RMSSD_{стоя} - RMSSD_{лежа}}{RMSSD_{лежа}}.$$

Для определения оптимального диапазона IPVNS, соответствующего наиболее эффективной адаптации организма, был проведен кластерный анализ значений индекса PVNS лыжников-гонщиков группы лидеров и резерва на каждом этапе подготовительного периода с помощью алгоритма К-средних (K-means). Результаты кластерного анализа позволили выделить четыре типа реактивности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, отражающих различные уровни адаптационных возможностей организма: кластер 1 (IPVNS < 0,50) – максимальная реактивность; кластер 2 (0,6–0,8 усл. ед., снижение на 22,7 % к III этапу) – умеренная нарастающая реактивность; кластер 3 (0,8–0,9 усл. ед.) – минимальная реактивность; кластер 4 (> 0,91 усл. ед.) – очень низкая реактивность. В табл. 1 представлено индивидуальное распределение спортсменов по типам реактивности на этапах подготовительного периода.

Профили показателей компонентного состава тела лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода представлены на рис. 1. За 100 % были взяты показатели лидера № 1 как модельные. Анализируемые профили спортсменов демонстрируют увеличение различий с абсолютным лидером именно по ОЖМТ. Существенные различия между лидером проявились на втором этапе подготовки со спортсменом № 10 из группы резерва; на заключительном этапе практически двукратное превышение модельного показателя демонстрирует спортсмен № 1 из группы резерва.

Результаты по содержанию ОЖМТ подтверждают высокую взаимосвязь данного показателя с уровнем подготовленности спортсменов-лыжников.

В качестве прогностического показателя уровня работоспособности у лыжников-гонщиков мы использовали индекс соотношения безжировой массы тела (кг) и жировой

Таблица 1  
Table 1

Количественные критерии IPVNS (усл. ед.) и распределение спортсменов  
Quantitative IPVNS (arb. units) criteria and distribution of athletes

| Кластер<br>Cluster | Значение<br>IPVNS /<br>IPVNS value | Спортсмен/этап<br>Athlete / Stage                                                                                                                                                                                       | Характеристика вегетативной регуляции<br>Description of autonomic regulation                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I                  | ≤ 0,5                              | <b>Лидер № 1 / Leader 1</b><br>(I, II, III этапы / Stages I, II, III)                                                                                                                                                   | Высокая реактивность отделов ВНС. Доминирование локальных механизмов регуляции. Эффективная адаптация.<br>High reactivity of the autonomic system. Dominance of local regulatory mechanisms. Effective adaptation                                                                               |
| II                 | 0,6–0,8                            | <b>Лидер № 2–10 / Leaders 2–10</b><br>(I, II, III этапы / Stages I, II, III)<br><b>Лидер № 6</b> имел минимальные значения IPVNS на III этапе (0,66)<br><b>Leader 6</b> showed minimal IPVNS values at Stage III (0,66) | Оптимальный диапазон реактивности. Оптимальное соотношение между системными и локальными механизмами. Оптимальная адаптация.<br>Optimal range of reactivity. Optimal balance between systemic and local mechanisms. Optimal adaptation                                                          |
| III                | > 0,81–0,9                         | <b>Резерв 1–10 (I, II этапы) / Reserve athletes 1–10</b><br>(Stages I, II);<br><b>Резерв 1–9 (III) / Reserve athletes 1–9</b> (Stage III)                                                                               | Низкая реактивность. Риск «парасимпатической перегрузки». Доминирование системных механизмов. Признак замедленного восстановления. Напряженная адаптация.<br>Low reactivity. Risk of parasympathetic overload. Dominance of systemic mechanisms. Sign of delayed recovery. Strained adaptation. |
| IV                 | > 0,91                             | <b>Резерв 10 (III этап) / Reserve athlete 10</b> (Stage III)                                                                                                                                                            | Очень низкая реактивность. Напряжение системных механизмов. Риск дезадаптации.<br>Very low reactivity. Strain on systemic mechanisms. Risk of maladaptation                                                                                                                                     |

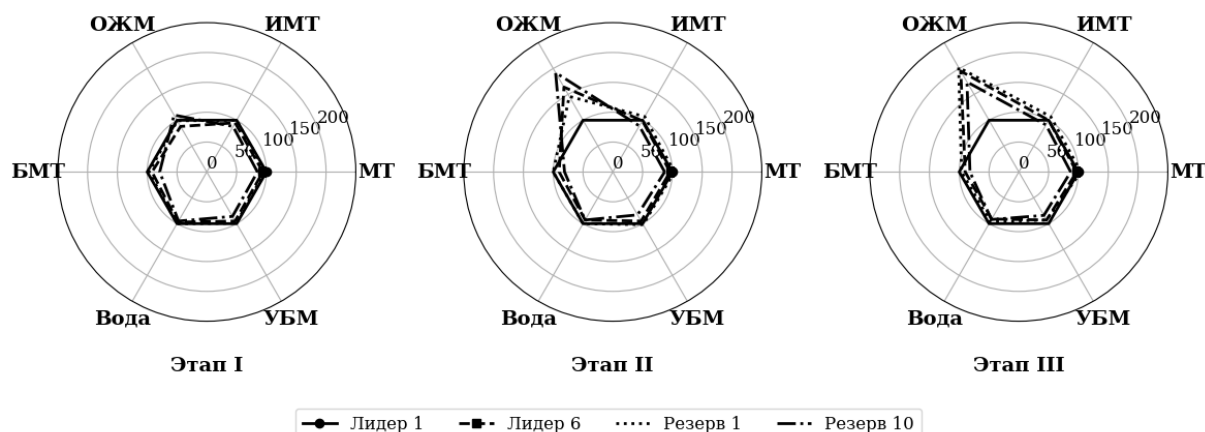


Рис. 1. Персонализированные профили показателей компонентного состава тела у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Fig. 1. Individual profiles of body composition in cross-country skiers during the preparatory period

массы тела (кг), диапазон значений которого можно рассматривать как критерий, характеризующий уровень работоспособности.

На рис. 2 представлены примеры индивидуальных значений индекса БМТ/ЖМТ у лыжников-гонщиков из групп сравнения на разных этапах подготовительного периода.

На первом этапе подготовительного периода различия по индексу БМТ/ЖМТ между лидерами № 1, № 6 и спортсменом из группы резерва № 1 не превышали 5 %. Далее у лидера № 1 значения индекса от этапа к этапу подготовки увеличиваются, что обусловлено снижением ОЖМТ в ответ на активацию процессов липолиза, обеспечивающих энергозатраты организма на возросшие нагрузки второго и третьего этапов подготовки. У лидера № 6 показатель индекса снижается за счет прироста ОЖМТ и на специально-подготовительном этапе его показатель на 54,86 % ниже,

чем у лидера № 1. У спортсмена № 1 из группы резерва индекс БМТ/ЖМТ разнонаправленно варьировал от этапа к этапу, различия с лидером № 1 были более чем в два раза ниже в конце подготовительного периода. У спортсмена № 10 из группы резерва на всех этапах подготовки значения индекса БМТ/ЖМТ были самыми низкими и отражали прирост ОЖМТ, наиболее выраженный на втором этапе.

Ранжирование спортсменов по скорости преодоления нагрузки при эргометрическом тестировании оказалось полностью согласованным с показателями индекса БМТ/ЖМТ, который можно рассматривать как критерий их работоспособности.

Для выявления структуры данных и выявления латентных факторов был проведен факторный анализ 62 функционально-метаболических показателей на каждом этапе подго-

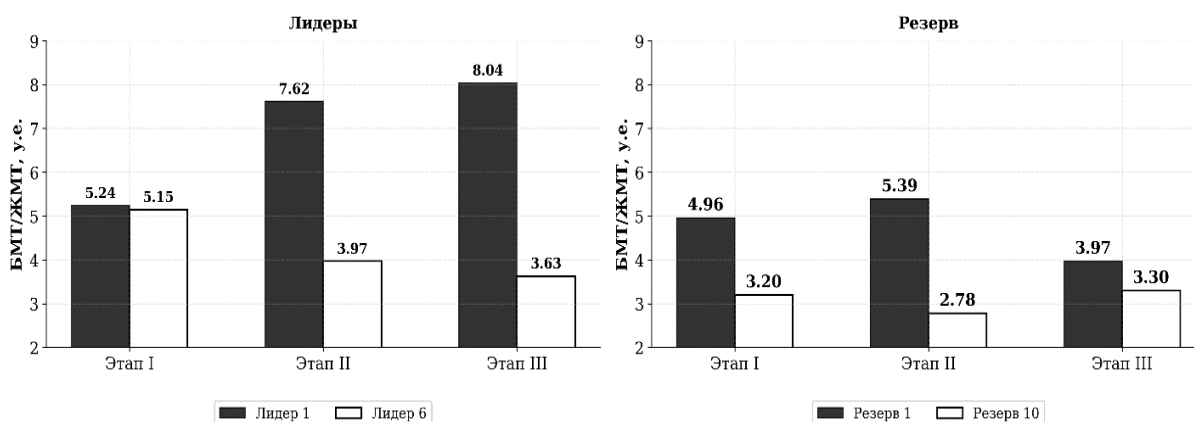


Рис. 2. Индивидуальные показатели индекса БМТ/ЖМТ у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Fig. 2. Individual LBM/FM profiles in cross-country skiers during the preparatory period

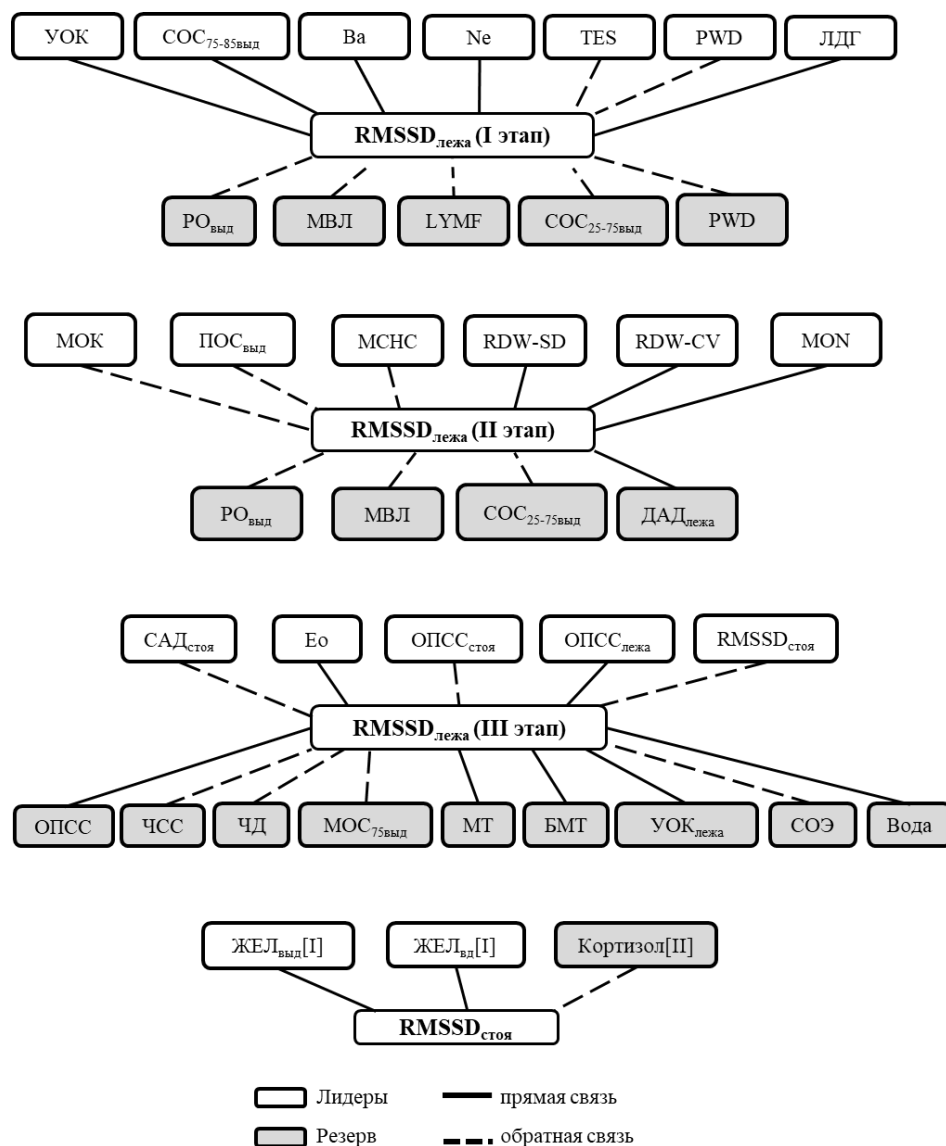


Рис. 3. Статистически значимые корреляционные взаимосвязи между RMSSD и параметрами функционально-метаболического обеспечения в покое и при ортостатической пробе у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода (по Спирмену,  $\rho \geq 0,7$ )  
Fig. 3. Statistically significant correlations between RMSSD and functional-metabolic parameters at rest and during orthostatic challenges in cross-country skiers during the preparatory period (Spearman,  $\rho \geq 0,7$ )

товки спортсменов. Показателем качества модели, который оценивают при валидации, является процент объяснённой дисперсии: доля общей дисперсии переменных, объясняемая выделенными факторами,  $> 80\%$  является хорошим показателем; доля дисперсии  $> 60-70\%$  считается удовлетворительным показателем качества модели. Учитывая размерность нашей выборки, мы анализировали только высокие  $r > 0,7$  и очень высокие  $r > 0,9$  коэффициенты корреляции. Критическая роль высоких коэффициентов корреляции определяется тем, что они позволяют выявлять устойчивые биологические закономерности, прогнозировать функциональные состояния

организма и разрабатывать диагностические критерии<sup>1</sup> [4].

Результаты факторного анализа функционально-метаболических показателей у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода демонстрирует рис. 3. Результаты

<sup>1</sup> Сашенков С.Л., Мельников И.Ю., Колупаев В.А. Факторный анализ показателей иммунитета у спортсменов с анаэробным или аэробным энергообеспечением мышечной деятельности // Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды: матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. (11–13 окт. 2018 г.) / под ред. Д.З. Шибковой, П.А. Байгужина. Челябинск: ЮУрГГПУ, 2018. С. 363–367.

свидетельствуют о разных составах переменных, коррелирующих с параметром RMSSD.

Общей для спортсменов обеих групп на I-м этапе оказалась значимая обратная взаимосвязь между RMSSD<sub>лежа</sub> и параметром PWD. В конце базового этапа подготовки (II) различия корреляционных взаимосвязей параметра RMSSD с параметрами функционально-метаболического обеспечения были выявлены только в покое и характеризовались обратной зависимостью с переменными кислород-транспортной и кардиореспираторной функций у лидеров, доминированием обратных взаимосвязей с параметрами дыхательной системы в группе резерва. На III этапе общей значимой для обеих групп оказалась прямая взаимосвязь между RMSSD и ОПСС в покое. В группе лидеров корреляционные взаимосвязи подтверждают адекватную реакцию периферического и центрального звена гемодинамики на ортостатическую пробу.

Обращает на себя особое внимание прямая корреляция RMSSD<sub>лежа</sub> / Eo, отражающая механизм нейроиммунного взаимодействия при адаптации к нагрузкам. У спортсменов группы резерва количество корреляционных взаимосвязей вдвое выше по сравнению с группой лидеров. Это указывает на напряженный тип адаптации с формированием компенсаторной гиперсвязанностью нейрометаболических, кардиореспираторных и гемодинамических механизмов. Рост числа связей отражает вынужденную мобилизацию регуляторных резервов для поддержания энергетического гомеостаза на фоне предъявляемых нагрузок.

Далее для установления ключевых детерминант, влияющих на параметр BCP (RMSSD), нами был использован множественный линейный регрессионный анализ, позволяющий количественно оценить вклад различных физиологических систем в регуляцию кардиоритма.

В регрессионные модели показателей последовательно были включены параметры, представляющие основные физиологические системы организма. Анализ проводился на объединенной выборке, включающей всех испытуемых на трех этапах исследования (n = 60), в состоянии покоя. Такой подход позволил выявить устойчивые детерминанты парасимпатической регуляции, оценить системные закономерности и молекулярно-клеточные механизмы влияния физиологических пара-

метров на вариабельность сердечного ритма.

Далее был проведен интегральный регрессионный анализ, включающий статистически значимые детерминанты из предыдущих этапов анализа. Результаты дисперсионного анализа (ANOVA) подтвердили высокую статистическую значимость интегральной модели в целом, демонстрируя высокое значение F-статистики (8,452) и высокий уровень значимости ( $p < 0,001$ ). Модель показала высокую прогностическую силу, объясняя значительную часть вариации зависимой переменной. Соотношение объясненной и остаточной дисперсии указывает на адекватность подобранной модели.

Анализ коэффициентов Бета и показателя t-статистики, представленный на рис. 4, позволил ранжировать параметры по силе и достоверности их влияния на парасимпатическую регуляцию (RMSSD). Наиболее сильное прямое влияние на RMSSD оказывают параметры MON (+) и Ba (+); наибольшее обратное влияние оказывают LYMF. У данных параметров выявлены высокие значения t-статистики.

Таким образом, в итоговое уравнение регрессии были включены только значимые параметры с умеренной силой влияния. В итоге уравнение регрессии имеет следующую формулу:

$$\text{RMSSD} = 61,026 + 161,575 \times \text{MON} + 856,115 \times \text{Ba} - 28,723 \times \text{LYMF}.$$

Интеграция гемоиммунных параметров в единую регрессионную модель демонстрирует взаимоотношения между вегетативной регуляцией и механизмами иммунной модуляции функционального состояния основных физиологических систем организма.

В результате проверки уравнения регрессии с эмпирическими показателями обследованных лыжников-гонщиков были получены прогностические значения RMSSD для каждой группы на каждом этапе подготовительного периода, которые были сопоставлены с фактическими результатами замеров (табл. 2).

В результате верификации уравнения регрессии выявлено, что в группе лидеров на первом этапе прогноз RMSSD занижен на 21,1 %, на втором этапе практически совпадает с фактом, на третьем этапе занижен на 10,2 %. В группе резерва на всех этапах наблюдается значимое занижение прогностических значений: на 21,7; 17,1 и 23,7 % соответственно.

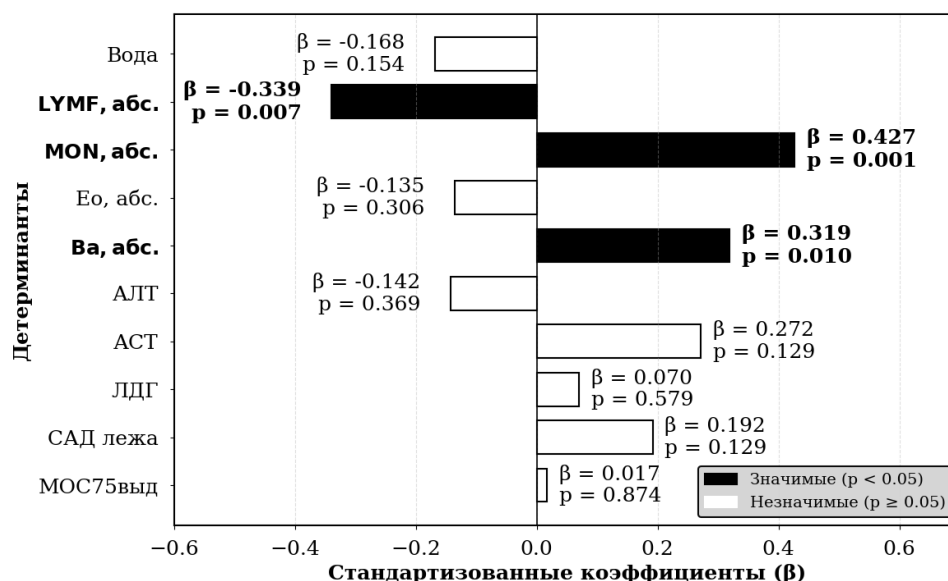


Рис. 4. Коэффициенты интегральной регрессионной модели для прогнозирования RMSSD  
Fig. 4. Coefficients of the integral regression model for RMSSD prediction

Таблица 2  
Table 2

Фактические и прогностические значения RMSSD<sub>лежа</sub> (мс) у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]  
Observed and predicted RMSSD<sub>supine</sub> values (ms) in cross-country skiers during the preparatory period, Me [Q1; Q3]

| Группа<br>Group                  | I этап<br>Stage I      | II этап<br>Stage II     | III этап<br>Stage III   |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Лидеры / Leaders</b>          |                        |                         |                         |
| Факт<br>Observed                 | 133,00 [84,25; 154,75] | 117,00 [80,00; 161,25]  | 108,00 [82,50; 136,25]  |
| Прогноз<br>Predicted             | 104,97 [98,11; 135,27] | 123,30 [117,18; 130,03] | 97,00 [81,67; 106,01]   |
| p                                | < 0,05                 | > 0,05                  | > 0,05                  |
| <b>Резерв / Reserve athletes</b> |                        |                         |                         |
| Факт<br>Observed                 | 131,50 [90,25; 174,81] | 147,50 [119,00; 182,15] | 140,50 [108,00; 185,00] |
| Прогноз<br>Predicted             | 102,96 [99,69; 113,32] | 122,26 [110,21; 131,57] | 107,25 [89,34; 120,66]  |
| p                                | < 0,05                 | < 0,05                  | < 0,05                  |

Следовательно, можно предположить, что у лидеров установлено физиологически адекватное переключение с системной вагусной регуляции на локальный клеточно-опосредованный тип регуляции к третьему этапу подготовительного периода; у резерва – доминирование системной холинергической регуляции на всех этапах. Полученные нами результаты доказывают, что высокие значения RMSSD не могут однозначно трактоваться как критерий оптимальной адаптации и высокой работоспособности [5]. Более низкий базальный RMSSD может отражать переход к

клеточно-опосредованному типу регуляции гомеостаза, переключение с системной (вагусной) холинергической регуляции на локальную (не нейронную), что обеспечивает более эффективную и энергетически выгодную автономную репарацию скелетных мышц без избыточной активации системных механизмов [6–8].

### Обсуждение результатов

Функционально-метаболический статус лыжников-гонщиков поддерживается посредством множества механизмов. Мы акцентиро-

вали внимание на обосновании интеграции нейроиммунных и гормонально-метаболических механизмов регуляции на этапах подготовительного периода, прежде всего, на доминировании у лыжников-гонщиков тонуса парасимпатического звена и активности гранулоцитарного звена иммунокомпетентных клеток, секретирующих сигнальные молекулы. Гомеостаз целостного организма поддерживается одновременным действием сложно организованных регуляторных механизмов, но одним из центральных является вегетативная регуляция, обеспечивающая постоянство уровней вещества и энергии в организме спортсмена<sup>2</sup>. Полученные нами эмпирические данные обосновывают взаимодействие нейроиммунных механизмов регуляции и дополняют ряд научных концепций, объясняющих причинно-следственные связи нарушений баланса интенсивности нагрузки и процессов восстановления, в частности, концепцию «парасимпатической перегрузки» [5] и «соотношения Ео/Ва как прогностического маркера активности противовоспалительного пула иммунной системы у спортсменов» [9]. В качестве маркеров для определения конкретных тренировочных циклов предлагают использовать динамику компонентного состава тела, сравнивая с эталонными показателями, например, жировую массу и количество жидкости в организме [10]. В нашем исследовании выраженное снижение жирового компонента у лидера № 1 указывает на рост энергетического потенциала (активация липолиза) и повышение общей выносливости организма в условиях выполнения интенсивной физической нагрузки. Это связано с увеличением окислительных способностей жирных кислот в мышечной ткани. Стабильно более высокие значения безжировой массы тела положительно коррелируют с пиковой скоростью при передвижении попеременным одношажным классическим ходом [11]. Средний диапазон показателей ОЖМТ у лыжников северного региона несущественно отличался от полученных нами и был значимо ( $p = 0,013$ ) ниже в организме спортсменов с квалификацией МС (7,4–10,8 %), чем у КМС – (8,2–15,6 %). Увеличение доли жирового компонента в организме указывает на низкую готовность спортсменов к выполнению интенсивной и

высокообъемной тренировочной работы<sup>3</sup>.

Выбор стратегии адаптации к тренировочным нагрузкам обосновывается моделями управления и контроля за функционально-метаболическим состоянием организма у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.

### Заключение

Факторный и регрессионный анализ комплекса 62 физиологических и метаболических показателей у квалифицированных лыжников-гонщиков выявил предиктора (параметр ВРС – RMSSD) направленности групповых адаптивных процессов под воздействием тренировочных нагрузок; специфические для спортсменов группы лидеров и резерва маркеры и их критерии физической работоспособности на каждом этапе подготовительного периода.

Результаты проведенного исследования обеспечивают возможность разработки научно обоснованных индивидуальных тренировочных программ подготовки лыжников-гонщиков мужского пола и оценить реальность их функционально-метаболической готовности к соревновательному периоду.

Согласно результатам нашего исследования и данным литературных источников, изучение механизмов функционально-метаболического обеспечения спортсменов на разных этапах подготовительного периода является наиболее перспективным в области спортивной физиологии и актуализирует проведение дальнейших углубленных исследований как у лыжников-гонщиков, так и представителей, специализирующихся в других видах спорта<sup>4</sup> [12].

<sup>3</sup> Людина А.Ю., Логинова Т.П., Варламова Н.Г. Оценка энергообмена и скорости окисления жиров у лыжников-гонщиков в состоянии покоя и при физической нагрузке «до отказа» // Актуальные проблемы биохимии и биоэнергетики спорта XXI века: матер. Всерос. науч.-практ. интернет-конф. с междунар. участием. М.: ГЦОЛИФК, 2017. С. 110–113.

<sup>4</sup> Макарова Г.А., Чернуха С.М., Карпов А.А. Взаимосвязи критериев функционального состояния центральной, автономной нервной и сердечно-сосудистой систем у высококвалифицированных гребцов на байдарках и каноэ // Спортивная медицина и реабилитация: традиции, опыт и инновации: сб. матер. Всерос. науч.-практ. конф. Краснодар: Кубанский гос. ун-т физ. культуры, спорта и туризма, 2023. С. 205–209.

<sup>2</sup> Капилевич Л.В. Физиология спорта: учеб. пособие. Томск: Изд-во СибГМУ, 2011. 153 с.

Список источников

1. Функциональные свойства подготовленности спортсменов и их оптимизация / И.Н. Солопов, Н.Н. Сентябрев, Е.П. Горбанева и др. Волгоград: Волгоградская государственная академия физической культуры. 2009. 183 с.
2. Черешнев В.А., Юшков Б.Г. К вопросу теории нейроиммуноэндокринной системы // Российский иммунологический журнал. 2026. Т. 29, № 1. С. 9–34. DOI: 10.46235/1028-7221-17074-ТТИ
3. Бахарева А.С., Шибкова Д.З., Эрлих В.В. Мониторинг компонентного состава тела у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода на основе биоимпедансного анализа // Физическое воспитание и спортивная тренировка. 2024. № 4(50). С. 116–124.
4. Mukaka M.M. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research // Malawi Medical Journal. 2012. Vol. 24, no. 3. P. 69–71
5. Training Adaptation and Heart Rate Variability in Elite Endurance Athletes: Opening the Door to Effective Monitoring / D.J. Plews, P.B. Laursen, J. Stanley et al. // Sports Medicine. 2013. Vol. 43, № 9. P. 773–781. DOI: 10.1007/s40279-013-0071-8.
6. Furchgott R.F., Zawadzki J.V. The obligatory role of endothelial cells in the relaxation of arterial smooth muscle by acetylcholine // Nature. 1980. Vol. 288, no. 5789. P. 373–376. DOI: 10.1038/288373a0.
7. The non-neuronal cholinergic system in humans: Expression, function and pathophysiology / I. Wessler, H. Kilbinger, F. Bittinger et al. // Life Sciences. 2003. Vol. 72, no. 18–19. P. 2055–2061. DOI: 10.1016/S0024-3205(03)00083-3.
8. Wessler I., Kirkpatrick C.J. Acetylcholine beyond neurons: the non-neuronal cholinergic system in humans // British Journal of Pharmacology. 2008. Vol. 154, no. 8. P. 1558–1571. DOI: 10.1038/bjp.2008.185.
9. Campbell J.P., Turner J.E. Debunking the Myth of Exercise-Induced Immune Suppression: Redefining the Impact of Exercise on Immunological Health Across the Lifespan // Frontiers in Immunology. 2018. Vol. 9. Art. 648. DOI: 10.3389/fimmu.2018.00648.
10. Assessment of body composition in athletes: a narrative review of available methods with special reference to quantitative and qualitative bioimpedance analysis / F. Campa, S. Toselli, M. Mazzilli et al. // Nutrients. 2021. Vol. 13, no. 5. Art. 1620. DOI: 10.3390/nu13051620
11. Relationships between body composition, body dimensions, and peak speed in cross-country sprint skiing / T. Stoggl, J. Enqvist, E. Muller, H.C. Holmberg // Journal of Sports Sciences. 2010. Vol. 28(2). P. 161–169. DOI: 10.1080/02640410903414160
12. Ванюшин Ю.С., Федоров Н.А., Борисевич С.А. Значение физиологических показателей для выявления функциональных резервов организма // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2021. Т. 16, № 4. С. 131–136. DOI: 10.14526/2070-4798-2021-16-4-131-136.

*Поступила 02.04.2026; одобрена после рецензирования 15.05.2026; принята к публикации 18.05.2026.*

*Информация об авторах*

**Бахарева Анастасия Сергеевна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры спортивного совершенствования, Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0518-7751>; e-mail: [bakharevaas@susu.ru](mailto:bakharevaas@susu.ru)

**Шибкова Дария Зайтдиновна**, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник центра спортивной науки, Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8583-6821>; e-mail: [shibkova2006@mail.ru](mailto:shibkova2006@mail.ru)

**Эрлих Вадим Викторович**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры теории и методики физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4416-1925>, e-mail: [erlih-vadim@mail.ru](mailto:erlih-vadim@mail.ru)

**Плетнев Артем Александрович**, кандидат биологических наук, доцент кафедры спортивного совершенствования, Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4501-0790>, e-mail: [artem2407@mail.ru](mailto:artem2407@mail.ru)

*Заявленный вклад авторов*

Бахарева А.С. – постановка исследовательской задачи, подготовка инструментария опроса, сбор и анализ эмпирических материалов, визуализация результатов.

Шибкова Д.З. – разработка концепции статьи, интерпретация данных исследования, подготовка первоначального варианта статьи, формулировка выводов.

Эрлих В.В. – научное руководство, обзор соответствующей литературы

Плетнев А.А. – ввод данных, обработка данных, подготовка окончательной редакции текста.

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

**References**

1. Solopov I.N., Sentyabrev N.N., Gorbaneva E.P. et al. *Funktsionalnye svoistva podgotovlennosti sportsmenov i ikh optimizatsiya* [Functional properties of athletes' fitness and their optimization]. Volgograd. Volgograd State Academy of Physical Culture Publ. 2009:183. (in Russ).
2. Chereshev V.A., Yushkov B.G. The issues of the neuro-immuno-endocrine system theory. *Rossiiskii immunologicheskii zhurnal = Russian Journal of Immunology*. 2026;29(1):9–34. (in Russ). DOI: 10.46235/1028-7221-17074-TTI
3. Bakhareva A.S., Shibkova D.Z., Erlich V.V. *Fizicheskoe vospitanie i sportivnaya trenirovka = Physical Education and Sports Training*. Monitoring the body components of cross-country skiers at the stages of the preparatory period. 2024;4(50):116–124. (in Russ).
4. Mukaka M.M. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*. 2012;24(3):69–71.
5. Plews D.J., Laursen P.B., Stanley J. et al. Training Adaptation and Heart Rate Variability in Elite Endurance Athletes: Opening the Door to Effective Monitoring. *Sports Medicine*. 2013;43(9):773–781. DOI: 10.1007/s40279-013-0071-8.
6. Furchgott R.F., Zawadzki J.V. The obligatory role of endothelial cells in the relaxation of arterial smooth muscle by acetylcholine. *Nature*. 1980;288(5789):373–376. DOI: 10.1038/288373a0
7. Wessler I., Kilbinger H., Bittinger F. et al. The non-neuronal cholinergic system in humans: Expression, function and pathophysiology. *Life Sciences*. 2003;72(18–19):2055–2061. DOI: 10.1016/S0024-3205(03)00083-3
8. Wessler I., Kirkpatrick C.J. Acetylcholine beyond neurons: the non-neuronal cholinergic system in humans. *British Journal of Pharmacology*. 2008;154(8):1558–1571. DOI: 10.1038/bjp.2008.185
9. Campbell J.P., Turner J.E. Debunking the Myth of Exercise-Induced Immune Suppression: Redefining the Impact of Exercise on Immunological Health Across the Lifespan. *Frontiers in Immunology*. 2018;9:648. DOI: 10.3389/fimmu.2018.00648.
10. Campa F., Toselli S., Mazzilli M. et al. Assessment of body composition in athletes: a narrative review of available methods with special reference to quantitative and qualitative bioimpedance analysis. *Nutrients*. 2021;13(5):1620. DOI: 10.3390/nu13051620
11. Stoggl T., Enqvist J., Muller E., Holmberg H.C. Relationships between body composition, body dimensions, and peak speed in cross-country sprint skiing. *Journal of Sports Sciences*. 2010;28(2):161–169. DOI: 10.1080/02640410903414160
12. Vanyushin Y.S., Fedorov N.A., Borisevich S.A. The importance of physiological indices for the functional reserves of the organism revelation. *Pedagogiko-psikhologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoi kultury i sporta = Russian Journal of Physical Education and Sport*. 2021;16(4):131–136. DOI: 10.14526/2070-4798-2021-16-4-131-136

*Submitted 02.04.2026; approved after reviewing 15.05.2026; accepted for publication 18.05.2026.*

*About the authors*

**Anastasia S. Bakhareva**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Sports Improvement, South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0518-7751>; e-mail: [bakharevaas@susu.ru](mailto:bakharevaas@susu.ru)

**Daria Z. Shibkova**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher at the Center for Sports Science, South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8583-6821>; e-mail: shibkova2006@mail.ru

**Vadim V. Ehrlich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Theory and Methodology of Physical Culture and Sports, South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4416-1925>, e-mail: erlih-vadim@mail.ru

**Artem A. Pletnev**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Sports Improvement (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4501-0790>, e-mail: artem2407@mail.ru

*Contribution of the authors*

Bakhareva A.S. – research problem statement, preparation of survey instruments, data collection and data analysis, visualization of results.

Shibkova D.Z. – development of the research concept, interpretation of research data; writing the draft, formulation of conclusions.

Ehrlich V.V. – scientific management, reviewing the relevant literature.

Pletnev A.A. – data input, data processing, preparation of the final version of the text.

*All authors have read and approved the final manuscript.*