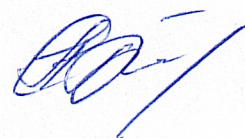


Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Южно-уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

На правах рукописи



Бахарева Анастасия Сергеевна

**Функционально-метаболическое обеспечение адаптации лыжников –
гонщиков к нагрузкам на этапах подготовительного периода
(персонифицированный подход)**

1.5.5. — физиология человека и животных

Диссертация на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Научный консультант
доктор биологических наук,
профессор В.В. Эрлих

Челябинск – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
ГЛАВА 1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОБЩУЮ И СПЕЦИАЛЬНУЮ ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ У КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ.....	19
1.1 Концептуальные подходы к анализу процесса адаптации организма в физиологии спортивной деятельности	19
1.2 Механизмы структурно-функционального обеспечения гомеостаза при адаптации к физическим нагрузкам подготовительного периода	24
1.3 Анализ подходов к оценке эффективности энергообеспечения физической работоспособности спортсменов-лыжников	28
1.4. Механизмы и потенциальные резервы энергообеспечения физической работоспособности у лыжников-гонщиков	33
1.5. Адаптивно-компенсаторные механизмы обеспечения физической работоспособности у лыжников-гонщиков	42
1.6. Параметры вегетативного обеспечения работоспособности и ее резервов у квалифицированных лыжников-гонщиков	45
1.7. Критерии и маркеры оценки функционально-метаболического обеспечения адаптации лыжников-гонщиков к физическим нагрузкам на этапах подготовительного периода.....	49
ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	80
2.1. Организация и дизайн исследования.....	80
2.1. Инструментальные методы исследования	88
2.2.1. Оценка компонентного состава тела.....	88
2.2.2. Количественно-качественная оценка клеточного состава системы крови.....	88
2.2.3. Количественно-качественная оценка биохимических компонентов плазмы крови	88
2.2.4. Оценка содержания гормонов-регуляторов	89

2.2.5. Оценка функционального состояния системы гемодинамики..	89
2.2.6. Оценка эхо-кардиографических параметров.....	90
2.2.7. Оценка спирографических показателей функции внешнего дыхания	91
2.2.8. Оценка функционального состояния вегетативной (автономной) нервной системы.....	91
2.2.9. Функциональные и нагрузочные пробы	92
2.3. Математико-статистические методы исследования	92
2.3.1. Методы описательной статистики	92
2.3.2. Сравнительный анализ	93
2.3.3. Корреляционный анализ.....	93
2.3.4. Факторный анализ.....	93
2.3.5. Кластерный анализ.....	94
2.3.6. Регрессионный анализ	94
2.3.7. Нормализация данных методом «min-max».....	95
ГЛАВА 3. УРОВЕНЬ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СПОРТСМЕНОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА И КРИТЕРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫБОРКИ ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ ДЛЯ ОЦЕКИ ЕЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	96
3.1. Оценка реактивности системы гемодинамики при нагрузочном тестировании и уровня физической работоспособности у спортсменов циклических видов спорта	96
3.2. Физиологическое обоснование отбора лыжников-гонщиков, претендентов в сборную молодежную команду Челябинской области и Российской Федерации.....	105
3.3. Анализ показателей эргометрического тестирования и реактивности организма в группах сравнения лыжников-гонщиков в конце подготовительного периода.....	108
3.4. Динамика распределения объема циклической нагрузки по зонам интенсивности в годовом цикле подготовки лыжников-гонщиков	122

ГЛАВА 4. ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ НА ЭТАПАХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА (ГРУППОВОЙ АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ).....	124
4.1. Сравнительный анализ показателей параметров биоимпендансометрии у лыжников-гонщиков, дифференцированных по скорости двигательных действий на этапах подготовительного периода и их обсуждение	124
4.2. Количественно-качественные изменения параметров системы крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.....	131
4.3. Динамика биохимических параметров системы крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.....	147
4.4. Динамика показателей концентрации гормонов в крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.....	152
4.5. Особенности кардиогемодинамической и дыхательной функции у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.....	155
4.5.1. Центральное и периферическое гемодинамическое обеспечение адаптивных процессов у лыжников-гонщиков к физическим нагрузкам на этапах подготовительного периода	156
4.5.2. Вариабельность сердечного ритма по показателю RMSSD у лыжников-гонщиков при проведении ортостатической пробы на этапах подготовительного периода	162
4.5.3. Анализ динамики показателей функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода	168
ГЛАВА 5. КОМПЛЕКСНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ АДАПТАЦИИ	180
5.1. Факторная структура функционально-метаболического обеспечения адаптации у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода....	180
5.2. Регрессионный анализ детерминант вариабельности сердечного ритма (RMSSD) у лыжников-гонщиков	199

5.3. Кластерный анализ значений индекса функционального резерва парасимпатической вегетативной нервной системы у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.....	208
ГЛАВА 6. ПЕРСНИФИЦИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА У ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ К НАГРУЗКАМ НА ЭТАПАХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА	213
6.1. Реактивность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы у лыжников-гонщиков при проведении ортостатической пробы на этапах подготовительного периода (по показателю RMSSD)	213
6.2. Персонализированный анализ кардиогемодинамических функций у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.....	216
6.3. Анализ эхо-кардиографических параметров у лыжников-гонщиков, дифференцированных по скорости двигательных действий, в конце подготовительного периода.....	223
6.4. Персонализированный анализ динамики показателей функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.....	230
6.5. Персонализированный анализ показателей лейкоцитарного звена системы крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода	240
6.6. Персонализированный анализ биохимических показателей крови и компонентного состава тела у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.....	245
6.7. Индивидуальные профили спортсменов на основе визуализации ключевых детерминант адаптации на этапах подготовительного периода ..	251
6.8. Персонализированный анализ реактивности организма лыжников-гонщиков на эргометрическое тестирование в конце подготовительного периода.....	254
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	264

ВЫВОДЫ	268
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	273
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	275
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	277
ПРИЛОЖЕНИЕ	338

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Исследования адаптации организма спортсменов к факторам воздействия тренировочно-соревновательной деятельности расширяют и углубляют эмпирическую основу теории адаптации, что обусловлено спецификой спортивной деятельности, требующей работы функциональных систем организма в режиме предельно возможных физиологических реакций (Платонов В.Н., 2017). Физические нагрузки высокой интенсивности и мощности рассматриваются в качестве физиологической модели при изучении направленности адаптивных изменений организма человека к воздействию разных экстремальных факторов. Особый интерес представляют циклические виды спорта, в частности лыжные гонки, характеризующиеся длительной, часто непрерывной физической нагрузкой максимальной мощности (Бойко Е.Р с соавт., 2019; 2024).

Адаптивные реакции функциональных систем организма у представителей циклических видов спорта на нагрузки максимальной и субмаксимальной мощности достаточно полно представлены в работах отечественных и зарубежных авторов (Кудря О.Н., 2012; Волков Л.В., 2014; Корягина Ю.В., 2016; Сашенков С.Л. с соавт., 2017; Разинкин С.М. с соавт., 2016 -2019; Быков Е.В. с соавт., 2021; Sandbakk O. et al., 2011; Saltin B., 2013; Oueslati F. et al., 2018 и др.). Достижение функциональной адаптации спортсмена к предъявляемым требованиям определяется, прежде всего, особенностями энергетического метаболизма, который взаимосвязан со спецификой деятельности и вегетативного реагирования систем организма (Бойко Е.Р с соавт. 2019; Мякотных В.В., 2019; Эрлих В.В. с соавт., 2020; Капилевич Л.В., 2021; Romer T. et al., 2022; Brun J.F. et al., 2022). В последние годы по ряду параметров от молекулярно-клеточного до системного уровня, характеризующих адаптивные перестройки организма на тренировочно-соревновательные нагрузки получены новые данные (Рыбина И.Л. 2012; Голобородько Е.В. с соавт., 2018; Кудря О.Н., 2018; Власов М.Ю. с соавт., 2021;

Киш А. А., Голобородько Е. В., 2021; Bushmanova E.A. A.Y. Lyudinina, E.R. Wojko, 2024; Фудин Н.А. с соавт., 2024 и др.).

На особые требования к функциональному и метаболическому обеспечению организма лыжников-гонщиков, развивающих скоростно-силовой компонент специальной выносливости и взрывную силу, указывают (Колыхматов В.И. с соавт., 2014; Попов Д.В. с соавт., 2014; Исаев А.П. с соавт., 2018; Малеев Д.О., 2021 и др.). У лыжников экстра-класса не были выявлены статистически значимые корреляции спортивного результата с аэробной и анаэробной мощностью (Мякинченко Е.Б. с соавт., 2017).

Весьма дискуссионным в оценке эффективности адаптации спортсменов к специфическим нагрузкам остается вопрос отбора биомаркеров состояния ведущих функциональных систем и их интерпретация, а также маркеров ограничивающих физическую работоспособность, в том числе у лыжников-гонщиков при выполнении специфической спортивной деятельности. Требуется дальнейшее изучение роли дыхательного резерва в оценке функции легких у лыжников-гонщиков и его влияния на физическую работоспособность (Павлов С.Е. с соавт., 2015; Варламова Н.Г., Бойко Е.Р., 2021; Веселик А.К. с соавт., 2024; Фудин Н.А. с соавт., 2024; и др.).

До настоящего времени однозначного ответа не имеет вопрос детерминации количественного перераспределения субстратных потоков в организме спортсменов на нагрузки на этапах подготовительного периода, что также требует дальнейшего исследования (Людинина А.Ю с соавт., 2024).

Изучение резервных возможностей адаптации организма спортсменов к физическим нагрузкам и выявление критериев, лимитирующих эти процессы, наиболее эффективно при персонифицированном подходе (Мохан Р., 2001; Попов Д.В. с соавт., 2014; Бойко Е.Р., 2019; Малеев Д.О., 2021 и др.). Индивидуальный анализ выявляет новые диапазоны и механизмы повышения валовой производительности при оптимальных энергозатратах организма спортсмена. Основным резервом для дальнейшего увеличения аэробной работоспособности лыжников-гонщиков является увеличение аэробных

возможностей мышц плечевого пояса (Попов Д.В., Виноградова О.Л., 2012), соответственно, с увеличением нагрузки на мышцы плеча и туловища. Скорость преодоления дистанции одновременным бесшажным ходом статистически значимо коррелирует со средней скоростью на соревновательной дистанции. С ростом квалификации более выражена связь между спортивным результатом и показателями работоспособности при работе руками (Феофилактов В.В. с соавт., 2015), а выносливость мышц имеет высокую взаимосвязь со скоростью преодоления соревновательных дистанций (Реуцкая Е.А. с соавт., 2019). В настоящее время в функциональной диагностике активно используется ручной эргометр. Для данной процедуры актуален выбор оптимального протокола, с уменьшением продолжительности и стрессогенности нагрузочного тестирования при сохранении его информативности (Разинкин С.М. с соавт., 2019; Волков В.В., Тамбовцева Р.В., 2024), что требует дальнейшего исследования.

Таким образом, выявление у квалифицированных лыжников-гонщиков прогностических параметров (предикторов), оценочных признаков (критериев) и индикаторов (биомаркеров) функционально-метаболического обеспечения эффективной адаптации к тренировочным нагрузкам на разных этапах подготовительного периода, является актуальной задачей, требующей теоретического и практического решения. Персонализированный подход в данном контексте необходим для выявления вариантов функционально-метаболических адаптивных процессов, характеризующих резервные возможности у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.

Степень разработанности темы исследования. Степень разработанности. Разработана методология оценки адаптационных резервов и функциональной готовности квалифицированных спортсменов лыжных видов спорта с использованием специфического нагрузочного тестирования (Разинкин С.М. с соавт., 2016-2019). Установлено, что в возрасте 21–23 лет спортсмены достигают максимальных индивидуальных границ мощности и емкости аэробной системы энергообеспечения, а увеличение объемов

тренировочной работы без учета адаптационных ресурсов, не обеспечивает роста спортивных достижений (Платонов В.Н., 2017). Обосновано, что при лимите кислорода, подключение липолиза в процесс образования энергии направлено на сохранение запасов углеводов, для интенсификации процессов гликолиза для финишного ускорения (Мякотных В.В., 2019). Показано, что у спортсменов высокого класса достижение высокой работоспособности требует оптимума изменчивости, с учетом предела адаптационной реакции, при этом совершенствование адаптации проявляется в установлении новых взаимосвязей в функциональной системе (Похачевский А.Л. с соавт., 2015).

Предложена иерархия адаптационных механизмов: от вегетативных к клеточным (Hawley J.A. et al., 2014) с делегированием функций от центральных к локальным регуляторным контурам (Poller W.C. et al., 2022). Установлено, что у элитных спортсменов высокие значения парасимпатических показателей ВСП в покое не всегда коррелируют с высокой работоспособностью и согласно концепции «парасимпатической перегрузки» (parasympathetic overload) могут быть признаком не супервосстановления, а дезадаптации (Plews D.J. et al., 2013; Buchheit M., 2014). Холинергическая регуляция висцеральных функций оценивается с позиции метаболической стоимости поддержания парасимпатического тонуса и целесообразности его снижения в покое (Kurabayashi A. et al., 2014; Циркин В.И. с соавт., 2020; Кутукова Н.А., Полевщиков А.В., 2025).

Показано, адаптация к специальной мышечной деятельности у лыжников, сопровождается формированием системы биоэнергообеспечения, которая отличается от спортсменов других видов спорта (Ширковец Е.А. с соавт., 2017; 2019). Установлено, что срочная адаптация спортсменов характеризуется показателями МПК, ПАНО, гемоглобина, гематокрита, лактата, рН, времени работы в анаэробной зоне; долговременная адаптация отражается в показателях миоглобина, тропонина, АЛТ, АСТ, кортизола, тестостерона (Киш А.А., Голобородько Е.В., 2021), что требует дальнейшего обоснования.

Получены новые данные о нормативах вариационного размаха кардиоинтервалов ВСР у лыжников-гонщиков с учетом типа вегетативной регуляции, которые важны для прогнозирования спортивных результатов, перетренированности и восстановительных процессов (Шлык Н.И., 2021).

Установлен NO-зависимый механизм обеспечения высокой аэробной физической работоспособности и показано, что нитраты являются одним из главных регуляторов тонуса кровеносных сосудов во время максимальной физической нагрузки, обеспечивая нормотензивный ответ на нагрузку у элитных лыжников-гонщиков (Бойко Е.Р. с соавт., 2024).

В то же время, не представлено комплексных исследований особенностей функционально-метаболического обеспечения адаптации квалифицированных лыжников-гонщиков на разных этапах подготовительного периода; персонифицированный подход в контексте исследуемого объема функционально-метаболического обеспечения адаптации лыжников в современных источниках не представлен.

Гипотеза исследования: мы предполагаем, что динамическая оценка и анализ функционально-метаболических адаптивно-компенсаторных реакций на разных уровнях обеспечения физической работоспособности у лыжников-гонщиков позволят выявить новые предикторы, биомаркеры и критерии оценки эффективности деятельности доминирующих систем организма, на воздействие возрастающих нагрузок на этапах подготовительного периода. Персонифицированный подход позволит определить оптимальные диапазоны адаптивных ответов на тренировочные нагрузки у лыжников-гонщиков, что будет проявляться мобилизацией функционально-метаболических резервов под контролем нейроиммунных и гормонально-метаболических механизмов регуляции на разных этапах подготовительного периода.

Цель исследования. Обосновать эффективность механизмов адаптации и оптимальные диапазоны ключевых детерминант и предикторов функционально-метаболического обеспечения работоспособности на этапах подготовительного периода у квалифицированных лыжников-гонщиков.

Задачи исследования:

1. Определить уровень физической работоспособности у спортсменов, представителей циклических видов спорта (легкоатлетов, пловцов, лыжников-гонщиков) и сформировать выборку спортсменов для оценки специфичности функционально-метаболического обеспечения.
2. Выявить биомаркеры и определить критерии оценки функционально-метаболического обеспечения физической работоспособности на клеточном, системном и организменном уровне на разных этапах подготовительного периода у лыжников-гонщиков, дифференцированных на группы «лидеры» и «резерв» по показателю средней скорости движений при максимальной интенсивности нагрузки на ручном лыжном эргометре.
3. На основе факторного и регрессионного анализа выявить детерминанты и предикторы эффективности функционально-метаболического обеспечения физической работоспособности на разных этапах подготовки лыжников-гонщиков, дифференцированных на группы лидеров и резерва.
4. Выявить межгрупповые различия нейро-иммунных и гормонально-метаболических взаимосвязей, обуславливающих адаптивные механизмы у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.
5. Определить индекс функционального резерва вегетативной нервной системы (IPVNS) и критерии активности парасимпатического отдела.
6. Проанализировать персонифицированные профили по ключевым параметрам функционально-метаболического обеспечения физической работоспособности у лыжников-гонщиков, установить направленность адаптивных процессов на этапах подготовительного периода и определить маркеры, лимитирующие эффективность адаптивных процессов.
7. Разработать практические рекомендации по использованию критерия оценки активности парасимпатического звена вегетативной нервной системы на этапах подготовительного периода, как условия достижения эффективной адаптации к нагрузкам у квалифицированных лыжников-гонщиков мужского пола.

Научная новизна исследования. Впервые проведенный полисистемный групповой и персонифицированный анализ параметров функционально-метаболического обеспечения организма у лыжников-гонщиков, выявил новые детерминанты и критерии оценки эффективности работоспособности и особенности адаптации спортсменов к физическим нагрузкам на разных этапах подготовительного периода.

Впервые определены индексы функционального резерва парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, проведена кластеризация показателей и обоснована прогностическая ценность предиктора RMSSD в мобилизации механизмов функционально-метаболического обеспечения адаптации; определены критерии оценки индексов соотношения БМТ/ЖМТ и Ео/Ва, как индикаторов активации липолиза и восстановительных процессов у лыжников-гонщиков на этапах адаптации к тренировочным нагрузкам подготовительного периода.

Представлены новые данные о взаимосвязи параметра RMSSD с показателями функционально-метаболического обеспечения физической работоспособности у лыжников-гонщиков в условиях покоя и при нагрузочном тестировании на разных этапах подготовительного периода.

Установлено различие между группами лыжников-гонщиков по стратегии адаптации: у лидеров выявлена линейная направленность адаптации с оптимальной функциональной активностью систем обеспечения на нагрузки и возрастающим адаптационным резервом; у спортсменов группы резерва установлена нелинейная направленность адаптации с наличием реакций гипер- и гипофункций систем обеспечения на нагрузки с преобладанием компенсаторно-адаптационных процессов, направленных на сохранение гомеостаза.

Впервые выявлены ключевые детерминанты функционально-метаболического обеспечения и на их основе представлены персонифицированные профили квалифицированных лыжников-гонщиков, отражающие особенности механизмов адаптации к нагрузкам на этапах

подготовительного периода. Функционально-метаболический профиль спортсмена-лидера представлен как вариант модели эффективной адаптации.

Установлено, что вариативность адаптивных механизмов у лыжников-гонщиков обусловлена биомаркерами, специфичными для каждого этапа подготовительного периода.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследования расширяют теорию адаптации, в частности, по системным и локальным механизмам регуляции функционального и метаболического состояния организма при специфической физической нагрузке; уточняют значимость уровня реактивности парасимпатического отдела в формировании функционально-метаболических состояний и обеспечения физической работоспособности спортсменов; дополняют стратегии адаптации, выраженные в направленности регуляторных молекулярно-клеточных и системных механизмов. Результаты исследования обосновывают положения концепции «парасимпатической перегрузки».

Вариабельность адаптивных и компенсаторных процессов отражена в персонифицированных профилях функционально-метаболического состояния организма спортсменов, отличающихся ключевыми параметрами.

Практическая ценность определяется установлением критериев оценки успешной адаптации к возрастающим нагрузкам на этапах подготовительного периода на основе показателей функционально-метаболического состояния организма; выявлением профилей квалифицированных лыжников-гонщиков на разных этапах подготовки, отражающих персонифицированные лимитирующие факторы эффективной адаптации; разработкой практических рекомендаций по оценке адаптивных возможностей и эффективной результативности спортивной деятельности лыжника-гонщика с учетом пола и возраста.

Показана нецелесообразность исследований механизмов функционально-метаболического обеспечения адаптивных процессов в смешанных выборках спортсменов циклических видов спорта, что обусловлено нивелированием специфических особенностей характерных для представителей каждого

конкретного вида спорта, в частности для лыжников-гонщиков. Особенности персональных профилей функционально-метаболического обеспечения работоспособности спортсменов, являются основанием выбора объема и интенсивности индивидуальных тренировочных нагрузок для лыжника-гонщика, что подтверждается результатами роста Rus- пунктов спортсменов.

Результаты исследования внедрены в деятельность Федерации лыжных гонок России (мужской юниорский состав РФ); Федерации лыжных гонок Челябинской области; МБУ ДО «СШОР №5 по лыжным видам спорта» г. Челябинска; МАУ ДО «СДЮСШОР №1 им. С.И. Ишмуратовой», г. Златоуста; в образовательный процесс на кафедре спортивного совершенствования ИСТиС ЮУрГУ «Методология спортивной тренировки», «Инновационные технологии в подготовке спортсменов»; в курсы повышения квалификации тренеров-преподавателей по лыжным гонкам «Актуальные вопросы спортивной подготовки и функционального контроля в лыжных гонках», 2024, 2026 г.г.

Методологическую основу диссертационного исследования составили фундаментальные положения о механизмах срочной и долговременной адаптации и закономерностях обеспечения физической работоспособности организма спортсменов (Ф.З. Меерсон, А.С. Солодков, Н.В. Мозжухин и др.); феноменология адаптивных процессов в системах организма (В.Н. Платонов, А.П. Исаев, С.М. Разинкин; Н.А. Фудин) и ресурсного обеспечения физической работоспособности при максимальных и субмаксимальных нагрузках (Я.М. Коц, Н.И. Волков, Э.Н. Несен, А.А. Осипенко, Н.С. Holmberg, W.L. Kenney и др.). Для объективной оценки пределов работоспособности и количественного определения вклада различных метаболических систем в зависимости от интенсивности и длительности выполняемой нагрузки использована «концепция критической мощности» (M. Burnley et al., 2018). Для практической реализации положений об адаптации и ресурсах работоспособности в практику построения тренировочного процесса была применена методология поляризованного распределения тренировочной интенсивности (polarized training), научно обосновывающую оптимальное

соотношение нагрузок различной энергетической направленности для эффективного долговременного прироста функциональных возможностей (Seiler, 2010).

Положения, выносимые на защиту:

1. Анализ полисистемных показателей (62 параметра) выявил биомаркеры и критерии на клеточном, системном и организменном уровне, определяющие функционально-метаболические особенности обеспечения адаптации к нагрузкам на этапах подготовительного периода у лыжников-гонщиков с разным уровнем работоспособности.

2. Выявленный предиктор (RMSSD) и его детерминанты подтверждают взаимосвязь вегетативной регуляции и иммунной модуляции функционально-метаболического состояния у лыжников-гонщиков, дифференцированных на группы «лидеров» и «резерва». Оценка молекулярно-клеточных и системных механизмов адаптации обоснована регрессионной моделью.

3. Индекс функционального резерва вегетативной нервной системы (IPVNS) отражает прогностическую значимость RMSSD и различные уровни адаптационных возможностей к нагрузкам на этапах подготовительного периода.

4. Персонализированный анализ дисперсии адаптивно-компенсаторных механизмов (профилей) лыжников-гонщиков на разных этапах подготовительного периода выявил детерминанты, лимитирующие функционально-метаболическое обеспечение адаптивных процессов.

5. Практические рекомендации, разработанные на основе групповых и персонализированных вариантов функционально-метаболического обеспечения физической работоспособности, повышают эффективность спортивной деятельности квалифицированных лыжников-гонщиков по показателям Rus-пунктов рейтинга Федерации лыжных гонок России.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов исследования обеспечивается достаточным количеством выборки, измеряемых параметров обследования, комплексом современных

инструментальных методов диагностики адекватных целям и задачам исследования, применением современных математико-статистических методов обработки и анализа базы эмпирических данных.

Основные материалы диссертации были представлены на научно-практических конференциях различного уровня: VI Всероссийской научно-практической конференции с Международным участием «медико-физиологические основы спортивной деятельности на севере» (22 – 23 октября 2025 г., Сыктывкар); Международных научно-практических конференциях «Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры» (Волгоград, 2024; 2025; 2026); I-X Международных научно-практических конференциях «Инновации в спорте, туризме и образовании» (Челябинск, 2016-2025 гг.); XXIV съезде физиологического общества им. И.П. Павлова (Санкт-Петербург, 2023); II Международной конференции, посвященной 100-летию И.А. Држевецкой (Ставрополь, 2022); IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Агаджаньяновские чтения» (Москва: РУДН, 2023); VI Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы подготовки лыжников-гонщиков высокой квалификации» (Сочи, 2022); Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию УралГУФК (Челябинск, 2020); 67-70-й научных конференциях «Наука ЮУрГУ» (Челябинск, 2015-2018); Всероссийской научно-практической конференция «Физическая реабилитация в спорте, медицине и адаптивной физической культуре» (Санкт-Петербург, 2016). Всего представлено 23 доклада в очном и on-line формате на секционных и пленарных заседаниях (сертификаты участника конференции с докладом).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 40 работы, в том числе 21 статья в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий Scopus, WOS; ВАК РФ (K1, K2), по специальности 1.5.5; и 19 публикаций – РИНЦ.

Личное участие автора в получении научных результатов. Патентный поиск по проблеме исследования, определение цели и задач, разработка

дизайна и формулирование гипотезы исследования, анализ и обобщение результатов, их визуализация и написание текста диссертации выполнены автором лично. Обследование спортсменов проводилось с участием аспирантов кафедры спортивного совершенствования. Подготовка научных публикаций и статей выполнены в соавторстве с сотрудниками Института спорта туризма и сервиса ФГАОУ ВО «Южно-Уральского государственного университета (НИУ)».

Соответствие содержания диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.5.5 – Физиология человека и животных (биологические науки) по следующим пунктам:

п.2. Анализ механизмов нервной и гуморальной регуляции, генетических, молекулярных, биохимических процессов, определяющих динамику и взаимодействие физиологических функций.

п.3. Исследование закономерностей функционирования основных систем организма (нервной, иммунной, сенсорной, двигательной, крови, кровообращения, лимфообращения, дыхания, выделения, пищеварения, размножения, внутренней секреции и др.).

п.8. Изучение физиологических механизмов адаптации человека к различным географическим, экологическим, трудовым и социальным условиям.

Легитимность исследования. Все участники исследования дали информированное согласие на их включение в группы обследования в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (WMA Declaration of Helsinki, 2013), а также письменное разрешение на обработку персональных данных.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 341 странице и состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений, списка литературы, включающего 457 источников, из них: 297 отечественных, 163 иностранных авторов. Текст диссертации включает 43 рисунка и 72 таблицы.

ГЛАВА 1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОБЩУЮ И СПЕЦИАЛЬНУЮ ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ У КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ

1.1 Концептуальные подходы к анализу процесса адаптации организма в физиологии спортивной деятельности

Адаптация – приспособительный процесс достижения адекватных требованиям раздражителя уровня активности и возможностей функциональных систем, органов и тканей, а также механизмов регуляции (Платонов В.Н., 2017); перестройка функциональных систем, отдельных органов и тканей, которые обеспечивают возможность длительной активной жизнедеятельности организма в измененных условиях существования (Зенько М.Ю., Рыбникова Е.А., 2019).

Биологический смысл адаптации, как возможности активно реализовывать ответ организма на внешние и внутренние факторы воздействия, определяется функцией поддержания гомеостаза, которая является базисом классической физиологии. Ключевое значение гомеостаза заключается в поддержании постоянства физико-химических параметров жидкостей внутренней среды. В этой связи, наиболее строгий подход к определению гомеостаза предложен Ю.В. Наточиным (2017), по мнению которого не все физиологически активные вещества могут рассматриваться как стабильные физико-химические параметры. Например, гормоны следует рассматривать как регуляторы гомеостаза внутренней среды, но не как его стабильные параметры. Благодаря изменению концентрации этих регуляторных молекул, эффекторные органы системы гомеостаза стабилизируют состав внутренней среды организма. Поэтому гомеостаз касается таких параметров как осмоляльность, концентрация в сыворотке крови неорганических ионов, глюкозы, pH (Наточин Ю.В., 2017).

На необходимость уточнения и расширения понятия гомеостаза и гомеостатических систем указывают Еськов В.В. с соавторами (2020), считая,

что в классической физиологии исследователи уделяют основное внимание не объекту (внутренней среде), а принципам функционирования систем, обеспечивающих регуляцию гомеостаза. По мнению авторов, «Ю.В. Наточин борется за чистоту понятия гомеостаза, уделяя основное внимание статичности внутренней среды организма и отсылая нас к С. Bernard». Для объективности авторы напоминают трактовку второго классика теории гомеостаза W.B. Cannon, который предложил особое определение состояний живых систем, как гомеостазис. В этом определении W.B. Cannon расширяет понятие гомеостаза, выводит его за пределы внутренней среды и включает в гомеостаз и органы, системы органов, которые обеспечивают гомеостатическую регуляцию организма, как целого (Еськов В.В. с соавт., 2020).

Динамическая структура адаптации была представлена в теории функциональных систем, разработанной на основе концепции опережающего отражения действительности (Анохин П.К., 1975). Согласно данной концепции, воздействующие на организм факторы, обуславливают формирование, как опережающей стратегии поведения, так и оценку вероятных морфофункциональных и энергетических адаптивных изменений в биосистемах организма на основе трех категорий физиологических констант (с жестким диапазоном, менее жестким диапазоном, с широким диапазоном изменчивости). Следовательно, постоянство характерно для ограниченной части наиболее значимых физиологических показателей, лишь в определенной области организма (Судаков К.В., 1981). В рамках теории функциональных систем, обоснован подход и к исследованию тренировочного процесса, и соревновательной деятельности спортсменов. Системное квантование тренировочного процесса позволяет тренеру определять индивидуальные нагрузочные объемы и интенсивность работы, предвидя спортивные результаты конкретного спортсмена (Фудин Н.А. с соавт., 2013).

В циклических видах спорта актуальной является проблема совершенствования специальной выносливости. Одной из причин быстрого развития утомления спортсмена к концу дистанции являются ошибки в

тренировке, связанные с недостатком знаний о физиологических механизмах адаптации ведущих систем организма к длительной работе различной интенсивности (Мякотных В.В., 2019). Так, любое форсирование тренировочной нагрузки, при еще не доведенной до совершенства аэробной подготовленности спортсмена, постоянное включение гликолиза будет блокировать развитие аэробных возможностей и совершенствования механизмов утилизации лактата, как базы для специальной подготовки. Физиологический смысл специально-подготовительного этапа спортсмена заключается в постепенной настройке на процессы сочетанного аэробного и анаэробного путей освобождения энергии до оптимального для данного вида спорта уровня.

До настоящего времени в спортивной физиологии механизмы адаптации часто исследуются, исходя из классификации, данной в монографии Ф.З. Меерсона и М.Г. Пшенниковой (1988). Авторы характеризуют срочную адаптацию, как реализующуюся мгновенно и протекающую на «пределе» резервов организма. Срочной адаптации свойственен низкий кратковременный результат и наличие стресс – реакции. В результате долговременной адаптации к физическим нагрузкам повышаются максимальные функциональные возможности организма в целом, повышается и экономичность деятельности физиологических систем и органов (Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г., 1988). Адаптация проявляется через повышение резервных возможностей, реализация которых зависима от генетического профиля организма спортсмена.

Качественно различающиеся стратегии адаптации представлены либо увеличением резистентности, либо повышением толерантности организма к действующему фактору. Большинство исследований физиологов посвящено резистентным реакциям организма и значительно меньше исследований толерантности организма, что связывают с устоявшимся в научном сообществе мнением, что гипометаболизм – это не целенаправленная стратегия адаптации, а результат истощения защитных сил, истощения стрессовых гормонов или ресурсов питательных веществ (Хочачка П., Сомеро Д., 1988; Кулинский В.И.,

Ольховский И.А., 1992). Если организм использует стратегию резистентности при стресс-воздействиях, в том числе и мышечной работе, то типичными будут катаболические и калоригенные реакции. При толерантной стратегии адаптации реакция организма проявляется в минимизации функций, что выражается нарушением гомеостаза, к которым организм устойчив. Метаболической основой стратегии толерантности является снижение потребления O_2 и энергозатрат (Кулинский В.И., Ольховский И.А., 1992).

Ранее были представлены, обоснованные эмпирически, уровни реактивности, как периодической закономерности в реакции целого организма на изменение интенсивности действующего фактора. Адаптационные реакции (АР) в тетраде «АР тренировки – АР спокойной активации – АР повышенной активации – стресс-АР», характеризуются определенными энергетическими и силовыми соотношениями с воздействующими факторами. Тетрады АР закономерно повторяются при снижении, либо при увеличении интенсивности действующего фактора (Гаркави Л.Х. с соавт., 2002). При длительном поддержании в организме адаптационной реакции одного или близких уровней реактивности были выявлены состояния, отличавшиеся повышенным уровнем неспецифической резистентности организма. Особого внимания заслуживает состояние ареактивности организма, которое характеризуется «отсутствием реакции» на изменение характеристик воздействующего стимула, в частности по показателям лейкоцитарной формулы крови. При наличии определенного сходства, в направленности изменений с соответствующей адаптивной реакцией, ареактивность отличается от нее, во-первых, менее энергоемкими метаболическими процессами и, во-вторых, более благоприятным состоянием различных регуляторных структур (Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., 2002).

Характеризуя понятие нормы в физиологии, Юшков Б.Г., Черешнев В.А. (2016) указывают, что диапазоны колебаний каждого индивидуального показателя в нормальных условиях не выходят за пределы нормы реакции. Однако при дифференциации тех или иных показателей, индивидуальные константы у одних обследуемых лиц приближаются к верхней, а у других – к

нижней границе референсного диапазона. Поэтому, оценивая показатели гомеостаза как интегральные, часто не учитываются взаимоотношения механизмов, их формирующих (Юшков Б.Г., Черешнев В.А., 2016). Чем шире наследственная норма реакции, тем выше способность организма поддерживать гомеостаз и, наоборот, чем уже норма реакции, тем шире фенотипическая дисперсия и выше чувствительность к воздействующим факторам.

Частной разновидностью адаптационных реакций рассматривают компенсаторные процессы, реализующиеся на разных уровнях организации биологических систем. Компенсация в данном варианте выражается в возмещении нарушенных функций организма за счет деятельности неповрежденных клеток, органов и систем (Меерсон Ф.З., 1986).

Диапазон возможного уровня изменений функциональной активности физиологических систем, который может быть обеспечен активационными механизмами – это функциональные резервы организма. Резервы могут быть связаны с изменением энергетики обмена, что характерно для ткани и органа; функциональные резервы системы и организма в целом формируются благодаря перестройке систем регуляции и включению в функциональную систему новых дополнительных структур или замене одной формы реакции на другую. Показателем достаточности функциональных резервов организма является функционирование структурно-функциональных единиц, на уровне тканей и органов, обеспечивающее текущие потребности целостного организма, поддержание его гомеостаза и должного объема регуляторно-адаптивных возможностей (Курзанов А.Н. с соавт., 2015).

Интенсивность и направленность активации исполнительных систем обеспечения экстремальной деятельности будет выражаться соотношением перестройки внутри- и межсистемных взаимосвязей между «исходным» и «экстремальным» функциональными состояниями. Индивидуальные различия в перестройках взаимосвязей будут определяться физиологическим правилом «исходного состояния» (Эрлих В.В. с соавт., 2020).

Для адекватных изменений процессов жизнедеятельности важна способность организма в ходе адаптивных реакций повышать уровень поглощения кислорода, что и определяет резерв энергии, следовательно, и функциональные резервы организма. Оценка энергопотенциала организма проводится по количественным параметрам максимальных аэробных возможностей, то есть мощности и эффективности аэробных механизмов энергообразования (Апанасенко Г.А., 2014; Курзанов с соавт., 2015; McArdle W.D. et al., 1986).

1.2 Механизмы структурно-функционального обеспечения гомеостаза при адаптации к физическим нагрузкам подготовительного периода

До настоящего времени вопрос о параметрах и показателях структуры адаптационных реакций (АР) организма в ответ на воздействующие факторы, является актуальным и дискуссионным. *Уровень реактивности, на котором развиваются адаптационные реакции организма могут, в определённой мере, охарактеризовать гематологические показатели.* Процентное содержание лимфоцитов периферической крови отражает характер адаптационных реакций и определенный вариант нейроэндокринных взаимоотношений, что может рассматриваться, как показатель текущего функционального состояния организма (Жукова Г.В. с соавт., 2016). В экспериментальных исследованиях были установлены границы диапазонов относительного числа лимфоцитов в периферической крови человека и животных, соответствующие различным адаптационным реакциям: меньше 20% стресс-реакции, 20-27% реакции тренировки, 28-33% реакции спокойной активации, более 40% адаптационные реакции повышенной активации (Гаркави Л.Х. с соавт., 1990).

Если условия воздействия выходят за пределы «нормы», процессы адаптации характеризуются не только изменением свойств внутренней среды, но и изменением функциональной активности. При длительных и/или повторных воздействиях возникают структурные изменения, например, в виде

гипертрофии миокарда. Для поддержания устойчивого состояния гомеостаза в этих условиях физиологических средств адаптации организма оказывается недостаточно. В связи с чем, Юшков Б.Г. и соавторы указывают на правомочность использования в физиологии понятия «структурный гомеостаз» (Юшков Б.Г. с соавт., 2019). Изменения состава крови, отражают характер адаптивных перестроек обмена веществ, под влиянием воздействующих факторов, что сопровождается изменением состояния гомеостаза организма в целом.

Однако такие параметры, как например содержание белка в плазме крови, сохраняется на гомеостатическом уровне, обеспечивая постоянство онкотического давления, несмотря на изменения белкового спектра. В процессе адаптации к условиям воздействия, организм переходит на новый уровень гомеостаза, что характеризуется изменениями не только промежуточных показателей, но и всего диапазона допустимых колебаний жизненно-важных параметров (Панин Л.Е., 2007). Например, умеренно высокие значения гематокрита и жесткости эритроцитов, вызванные высокоинтенсивными физическими упражнениями, вероятно, вызывают физиологическую вазодилатацию, улучшающую адаптацию к кровообращению, а не ограничивающую работоспособность, как предполагалось ранее (Brun J. F. et al., 2013). Транспортные способности крови и величина сосудистого сопротивления в определенной степени зависят от повышенной способности эритроцитов к агрегации, что обуславливает снижение текучести крови на фоне низкой скорости ее течения (Голубева М.Г., 2020). Высокий уровень аэробной и анаэробной физической работоспособности у спортсменов взаимосвязан с повышением текучести крови, но в большей степени с аэробной работоспособностью, что обусловлено повышением кислородтранспортных свойств крови.

Важнейшая роль в механизмах повышения текучести крови у спортсменов играют гормональные изменения, вызванные физической тренировкой. В частности, реологические свойства крови взаимосвязаны

с кортизолом, тестостероном и другими гормонами опосредовано, через их участие в метаболических процессах (Мельников А.А., Викулов А.Д., 2008; Григорьева М.Е. с соавт., 2022).

Эритроциты, являясь основой системы транспорта кислорода, имеют количественно-качественные различия в зависимости от дифференциации спортсменов по квалификации и видам спорта (Колупаев В.А. с соавт., 2008). По мере роста спортивной квалификации изменения показателей периферического отдела эритрона в значительной степени зависят от аэробной или анаэробной направленности тренировочного процесса. У лыжников (аэробные нагрузки) оптимальный уровень функционирования периферического отдела эритрона достигается в группе мастеров и кандидатов, при этом показатели перворазрядников отличаются незначительно (Сашенков С.Л. с соавт., 2017). Во всех группах квалификации отмечалось высокое содержание эритроцитов, гемоглобина и высокий показатель гематокрита, причем повышенное количество эритроцитов достоверным было у мастеров спорта, а показатель гематокрита – у мастеров и кандидатов. У спортсменов низшей квалификации выявлена активация эритропоэза и достоверно более высокая концентрация и содержание гемоглобина в эритроците.

Погодиной С.В. и Алексанянц Г.Д. (2017) проведены серии исследований по изучению гормонального, метаболического, неспецифического, вегетативного нервного, гемодинамического и респираторного адаптационных механизмов. Исследования проводились в условиях велоэргометрического теста ступенчато возрастающей нагрузки у представителей плавания, велоспорта, легкой атлетики (группа «выносливость») и гиревого спорта (группа «сила»). Установлены возрастные особенности срочных адаптационных реакций основных систем у спортсменов мужского пола при высокоинтенсивном режиме работы, которые могут быть использованы при разработке функциональных моделей высоко-квалифицированных спортсменов разного возраста и пола (Погодина С.В., Алексанянц Г.Д., 2017).

В настоящее время ведется поиск интегральных показателей адаптационного статуса организма с помощью неинвазивных методов экспресс-диагностики (Наумова Э.М., 2016). Ритмический характер процессов, происходящих на различных структурно-функциональных уровнях организма (Rudenko M.Y. et al., 2012; 2014), служит основанием перспективности исследования спектральных характеристик функциональных параметров, структуры адаптационных реакций и высокоинформативных диагностических критериев функционального состояния организма.

В целом, проблема методологических принципов анализа и оценки физиологических критериев функционального состояния организма в условиях напряженной мышечной деятельности, которая была отражена в работе (Макарова Г.А. с соавт., 2007), до настоящего времени актуальна. Анализ и оценка физиологических критериев проводится с учетом таких факторов, как пол, возраст, спортивная специализация и стаж, уровень квалификации, однако, не всегда конкретизируются этапы периодов тренировочного цикла, характер выполняемых нагрузок и «содержание анализируемого параметра». Вместе с тем, при оценке функционального состояния спортсмена необходимо учитывать, что повышение уровня накопления лактата в крови может расцениваться как положительный сдвиг, только при параллельном увеличении механической работы, выполненной в анаэробном гликолитическом режиме; содержание показателя с определенным позитивным диапазоном, например, концентрация гемоглобина в крови, если увеличивается выше 160 г/л, соответственно повышается вязкость крови и как, следствие, ухудшается микроциркуляция с негативными последствиями. К таким показателям относят уровень сдвига кислотно-основного состояния крови, прирост показателей красной и белой крови, сдвиг уровня гормонов в крови и т.д. Особое внимание необходимо обращать на проблему индивидуальной «чувствительности» отдельных физиологических критериев, используемых в системе текущего контроля за спортсменами. В качестве оценки предлагается использовать индивидуальную частоту выхода количественных значений анализируемых

параметров, при их многократном измерении, за определенные центильные диапазоны, разработанные с учетом возраста, пола, конкретной спортивной специализации, квалификации, а иногда и периода тренировочного цикла (Макарова Г.А. с соавт., 2007).

Таким образом, гематологические показатели, в совокупности с оценкой ряда других функциональных параметров систем обеспечения физической работоспособности, отражают характер адаптивных перестроек под влиянием воздействующих факторов, что сопровождается изменением состояния гомеостаза организма в целом. Так, аэробные возможности организма человека, детерминированные генетически, реализуются в зависимости от степени воздействия физических нагрузок, которые приводят к развитию аппарата внешнего дыхания, нервно-мышечного аппарата и положительного инотропного эффекта на сердечную мышцу. С этой позиции важна оценка влияния регулярных физических нагрузок на развитие общей выносливости и физической работоспособности спортсменов (Петрова Т.Г., 2012). Разработать адекватные и персонифицированные рекомендации, ведущие к оптимизации двигательных режимов, можно на основе единого комплекса информации о типологической принадлежности спортсменов и оценке общей работоспособности организма (Шаханова А.В., Петрова Т.Г., 2015).

1.3 Анализ подходов к оценке эффективности энергообеспечения физической работоспособности спортсменов-лыжников

У спортсменов, специализирующихся в лыжных видах спорта, тренировочные и соревновательные нагрузки сочетаются с высокой биологической надежностью их организма, критериями которой являются энергетическая, метаболическая, функциональная и психофизиологическая устойчивость (Солодков А.С., 2013; Корягина Ю.В., 2015; Михалев В.И. с соавт., 2015; Sandbakk O. et al. 2014). Фактор устойчивости систем организма к внешним воздействиям рассматривают как критерий работоспособности, считая функциональную устойчивость организма спортсмена способностью

сохранять эффективную физическую активность, в течение его соревновательной и тренировочной деятельности (Ширковец Е.А. с соавт., 2017). Авторы подчеркивают, что фактор устойчивости является признаком способности к достижению высших результатов в спорте.

Способность организма преобразовывать метаболическую энергию в кинетическую (в скорость) является определяющим фактором эффективности соревновательной деятельности спортсмена (Krenn O. et al., 2013). Адаптация к специфической мышечной деятельности у спортсменов-лыжников сопровождается формированием функциональной системы с особой архитектурой энергообеспечения, отличной от спортсменов других видов спорта (Ширковец Е.А. с соавт., 2019). Это положение, было подтверждено результатами факторного анализа показателей биоэнергетического обеспечения мышечной деятельности, на примере спортсменов циклических видов спорта (Бахарева А.С. с соавт., 2024).

Обследование высококвалифицированных лыжников-гонщиков, членов сборных команд на различных дистанциях соревнований, показало высокую степень адаптации их организма к нагрузкам различной интенсивности, за счет использования различных субстратов окисления для синтеза АТФ. На высокоинтенсивных дистанциях (коротких) преимущественно использовались углеводы, на дистанциях средней интенсивности расходование углеводов было более экономным. Выявленное авторами незначительное изменение уровня мочевины в крови после финиша относительно фона, указывало на оптимальный уровень энергетических запасов, необходимых для прохождения спортсменами соответствующих лыжных дисциплин (Потолицына Н.Н. с соавт., 2016; Блеер А.Н., Скотникова А.В., 2016).

Подготовка лыжников-гонщиков с акцентом на физической работе в аэробном режиме сопровождалась значительным ростом активности окислительных ферментов в мышцах, в пределах до 230 %, однако параллельно снижалась роль гликолитических ферментов (Donovan C., 1983; Henriksson J. et al., 1986; Янсен П., 2006). Ограниченность аэробной работоспособности

спортсмена связывают с низкой скоростью доставки и недостаточной диффузионной способностью кислорода, следовательно, и низким окислительным потенциалом мышц, а также чрезмерным накоплением метаболитов анаэробного гликолиза (Полозов А.А., 2011; Нельсон Н., 2017). Способность организма производить энергию в аэробном режиме, является обязательным условием для высокой производительности в лыжных гонках (Дудина Е.А., 2006; Попов Д.В. с соавт., 2012).

С другой стороны, было показано, что большое значение для адекватного прогноза спортивной результативности имеют анаэробные возможности спортсмена, определяющие эффективность работы энергосистем организма. (Грушин А.А. с соавт., 2014; Исаев А.П., Эрлих В.В., 2014; Роговцев В.В. с соавт., 2024). Максимальная мощность анаэробного гликолиза составляет около 2,50 кДж/мин, что в 2-3 раза выше мощности аэробного процесса (Михайлов С.С., 2004). Все энергетические траты организма у спортсменов, произведенные, в том числе, за счет анаэробных процессов, связаны с окислительным фосфорилированием. Показано, что в миоцитах миокарда при постепенном снижении парциального давления кислорода (PO_2), самой чувствительной реакцией оказывается синтез АТФ, который заметно снижается еще до начала продукции лактата и снижения величины рН (Шмидт Р.Ф. с соавт., 2019). Исходя из концепции П. Хочачка с соавт. (1984), указанные явления, объясняются изменением концентрации Ca^{2+} в цитозоле, как первичного звена нарушений функций клетки при недостатке кислорода и энергии. В результате снижается скорость выхода Ca^{2+} из саркоплазматического ретикулума и его связывания с тропонином в процессе возбуждения мышечного волокна. На каждые два перенесенных иона Ca^{2+} -расходуется одна молекула макроэрга (АТФ) (Шмидт Р.Ф. с соавт., 2019).

Исследования других авторов (Волков Н.И., 2000; Гатилова Г.Д., 2012; Солодков А.С., 2014; Kenney W.L., 2012) подтверждают, что в лыжных гонках на дистанциях различной продолжительности, результат зависит от соотношения активации аэробных и анаэробных процессов, обеспечивающих

ресинтез АТФ в организме спортсмена. Установлено, что доли аэробного и анаэробного энергообеспечения в спринте равны 75 % и 25 %, а в дистанционных программах – 90 % и 10% соответственно. При преодолении подъемов, анаэробные процессы энергообеспечения в организме спортсменов-спринтеров составляют 40%, а у дистанционщиков – 20 % (Sandbakk O.A. et al., 2014).

Механизмы энергообеспечения и работоспособность лыжников-гонщиков в различных зонах мощности, соответственно и результативность выступления, определяются типом организации скелетных мышц, различиями в силовой и скоростной выносливости организма спортсмена, что отражено в работах (Богатов А.А., 2003; Новикова Н.Б., 2011; Stögg R. et al., 2011, 2013; Myhre K. et al., 2014). Типы мышечных волокон по величине производимой силы распределяются по следующим характеристикам: «быстро сокращающиеся», гликолитические, II типа FTG, FG; «быстро сокращающиеся», оксидативно-гликолитические, II типа FTOY, FOG; «медленно сокращающиеся», I типа STO, SO. Различия по силе, между мышечными волокнами разных типов, определяются количеством миофибрилл двигательной единицы (ДЕ), а не величиной силы, производимой каждым волокном (Григорьев А.И., Шенкман Б.С., 2008; Минке В., Пфатцер Г., 2019).

Повышение соревновательной скорости в лыжных гонках связывают с увеличением функциональных возможностей мышц рук (Салтин Б., 2013). Это обусловлено тем, что у среднестатистического человека в трехглавой мышце плеча 33% медленных и 67% быстрых мышечных волокон (Johnson M.A. et al., 1973). У спринтера должно быть около 80% быстрых волокон, у стайера – 60% медленных. Установлено, что у спортсменов с большим количеством медленных мышечных волокон, выше способность увеличить МПК в 1,5-1,8 раза (Волков Н.И. с соавт., 2000; Селуянов В.Н., 2005).

Исследования ряда авторов (Михалев В.И. с соавт., 2015; Losnegard T. et al., 2014; Sandbakk O. et al., 2014) подтверждают, что абсолютные значения МПК элитных спринтеров и лыжников, специализирующихся на длинных

дистанциях, одинаковы, однако последние имеют более низкую массу тела. Из этого следует, что при равных аэробных возможностях преимущество имеют спортсмены с меньшей массой тела.

На основе классификации (Розенфельд А.С., 2015) проведено разделение мышечных волокон по содержанию в них ферментов сукцинатдегидрогеназы (СДГ) и аденозинтрифосфатазы (АТФ-азы) миозина. При этом, фермент СДГ миозина рассматривается как маркер активности окислительных процессов, а АТФ-аза миозина – как показатель скорости гидролиза АТФ, и, следовательно, скорости мышечного сокращения (Самсонова А.В. с соавт., 2012; Brooks G. et al., 1999).

Окислительный потенциал скелетных мышц в стадии высшего аэробного энергообеспечения растет за счет повышения эффективной работы митохондрий, без существенных морфологических изменений внутри мышечного волокна (Мохан Р. с соавт., 2001), что обусловлено более высокой способностью митохондрий максимально потреблять O_2 , чем его максимальное количество, которое доставляется к рабочим мышцам (Wagner P.D., 1996; Boushelmailto R. et al, 2011). Полученные данные свидетельствуют об избыточной мощности митохондриального дыхания мышц, относительно мощности доставки кислорода, определяющей максимальную скорость окислительных процессов в организме.

Повышение МПК вследствие тренировки на выносливость обусловлено, главным образом, увеличенным максимальным кровотоком и более высокой плотностью мышечных капилляров в активных тканях (Ахметов И.И. с соавт., (2008). Скорость прироста потребления кислорода растет по мере увеличения мощности упражнения (Селуянов В.Н. с соавт., 2006), что связано с рекрутированием мышечных волокон. Момент рекрутирования всех окислительных мышечных волокон в активных мышцах и начало рекрутирования гликолитических мышечных волокон определяют, как аэробный порог (АЭП). Момент предельного динамического равновесия между производством в мышцах лактата (активной частью гликолитических МВ) и его

потреблением окислительными волокнами активных скелетных, дыхательных и сердечной мышц, связывают с анаэробным порогом (АнП) (Селуянов В.Н. с соавт., 2006). Экономичность аэробного процесса оценивают по потреблению кислорода на уровне порога анаэробного обмена (Попов Д.В., 2007; Алтухов Н.Д. с соавт., 2008). Выделено четыре физиологических этапа, которые возникают в процессе возрастающей физической нагрузки – это аэробный или лактатный порог, рН-порог, точка респираторной компенсации или аэробный лимит (Леявина Т.А. с соавт., 2014). Лыжник-гонщик при одинаковых морфо-антропометрических параметрах, одинаковой технике выполнения упражнения и одинаковой мотивации будет развивать и поддерживать, тем большую мощность работы, чем больше молекул АТФ будет не только ресинтезировано, но и гидролизировано за данный промежуток времени (Бахарева А.С. с соавт., 2017).

Таким образом, в целом ряде исследований оценка функционально-метаболического состояния организма спортсменов проводится по показателям отдельных физиологических или биохимических систем, что в значительной мере снижает возможность интегральной оценки резервов организма в целом (Курзанов А.Н., 2015). Последовательность включения различных адаптивных, в том числе и метаболических процессов, при выполнении напряженной мышечной деятельности у спортсменов высокой квалификации циклических видов спорта напрямую зависит от уровня мощности и продолжительности выполняемых двигательных действий (Тамбовцева Р.В., 2016).

1.4. Механизмы и потенциальные резервы энергообеспечения физической работоспособности у лыжников-гонщиков

Проблему оценки резервов организма спортсменов исследователи рассматривают как фундаментальную, в приложении к тренировке с позиций теории адаптации (Платонов В.Н., 2015; Колмогоров С.В. с соавт., 2019; Эрлих В.В. с соавт., 2020 и др.). Функциональные резервы организма (ФРО) определяют, как мультипараметрическую саморегулируемую открытую

систему, которая настраивается на должную оперативность и достаточность адаптивных переменных по отношению к имеющимся воздействиям (Курзанов А.Н. с соавт., 2015). ФРО формируются, прежде всего, за счет взаимосвязанных энергетических, метаболических и информационных ресурсов, имеющих свою структурную основу.

Принято считать, что замедление роста спортивных результатов и сокращение профессионального долголетия спортсменов, являются следствием преждевременного истощения регуляторных и метаболических резервов организма. Одной из причин, приводящих к раннему истощению резервов организма у молодых спортсменов, замедлению роста их спортивных результатов, является использование неадекватных программ тренировки (Тоноян Х.А. с соавт., 2018). В связи с этим, повышается значимость качества контроля реакций организма на тренировочные нагрузки и масштаб соревновательной практики. Отсутствие такого оперативного контроля приводит к неадекватному распределению экстремальных нагрузок, преждевременному истощению резервов организма, снижению уровня «профессиональной готовности», нестабильной результативности, сокращению профессионального долголетия (Тимакова, Т.С., 2019; Эрлих В.В. с соавт., 2020).

На актуальность поиска универсального критерия оперативного физиологического контроля метаболических и регуляторных параметров организма спортсменов указывают многие исследователи. В частности, отмечается, что оперативный контроль и динамическая оценка состояния организма, на основе современных неинвазивных методов и цифровых технологий, являются базовым условием достижения высокого уровня функциональной подготовки спортсменов (Андриянова Е.Ю., 2022). Согласно одной из ранее принятых классификаций, функциональные резервы организма подразделяются на биохимические и на физиологические. Биохимические резервы определяются экономичностью и интенсивностью энергетического и пластического обменов и их регуляций. Физиологические резервы, связаны с

интенсивностью, экономичностью и длительностью работы органов и систем органов, и их нейрогуморальной регуляцией, что находит свое выражение в работоспособности организма спортсмена (Мозжухин, А.С., 1979; Эрлих В.В. с соавт. 2020).

Биохимические изменения в крови в основном являются отражением процессов, происходящих в работающих мышцах и внутренних органах. Они зависят от характера мышечной деятельности и позволяют оценить уровень вовлечения различных биохимических процессов в энергообеспечение мышц (Львовская Е.И. с соавт., 2015). Биохимический контроль динамики адаптационных процессов организма спортсменов, позволяет объективно оценивать уровень тренированности, роль энергетических метаболических систем в мышечной деятельности. Непосредственное влияние на структуру метаболических процессов оказывают интенсивность, направленность и продолжительность тренировочного воздействия (Румянцева В.Д., Рыбина И.Л., 2021).

Потенциал систем энергообеспечения физической работоспособности обусловлен величиной фондов субстратов (Исаев А.П. с соавт., 2014). Известно, что на стайерских дистанциях основными факторами энергообеспечения являются аэробная мощность медленных мышечных волокон (ММВ), углеводные запасы и свободные жирные кислоты (СЖК), совокупно обуславливающие аэробную емкость спортсмена (Волков Н.И. с соавт., 2000). В спринте сохраняется наличие фосфагенной емкости гликолитических систем с добавкой высокой концентрации гликогена в специализированных мышечных группах (Хочачка П., Сомора Д., 1988).

Хорошо известно, что важным резервом обеспечения экономичности аэробной работы спортсмена являются запасы липидов, в частности триглицеридов жировой и мышечной тканей (Виру А.А. с соавт., 1988). Однако мощность мышечной работы при окислении жиров, по сравнению с углеводами, меньше примерно на 15 % (Селуянов В.Н., 2007). Регуляция жирового обмена находится в зависимости от углеводного обмена. Во-первых,

при увеличении содержания глюкозы в крови распад жиров тормозится, а при гипогликемии снижается секреция инсулина и увеличивается активность ферментов липолиза (Яковлев Н.Н., 1986). Активация процесса бета-окисления, на фоне высокой концентрации адреналина в крови спортсмена и высокой скорости доставки кислорода к тканям, обеспечивает большее количество свободных жирных кислот, доставляемых кровотоком к работающим мышцам (Houten S. M. et al., 2010).

Энергетическая роль жиров значима при мощности двигательных действий, не превышающих уровень аэробного порога, когда концентрация глюкозы в крови снижена под действием цитрата, ингибирующего гликолиз. Это позволяет увеличить скорость глюконеогенеза в печени, и более экономно использовать мышечный гликоген под воздействием тренировочных нагрузок (Рафф Г., 2001, Платонов В.Н., 2008), что является ключевым фактором в повышении выносливости.

Рост результативности в лыжных гонках определяется увеличением вклада анаэробных механизмов в энергообеспечение тренировочного процесса (Радзиевский П.А., 1997; Грушин А.А., 2014; Колыхматов В.И., 2014). В условиях снижения скорости процесса окислительного фосфорилирования компенсаторной реакцией, направленной на поддержание уровня энергетического обмена при различных физиологических состояниях, является интенсификация анаэробного ресинтеза АТФ (Мещерякова О.В. с соавт., 2010), активация анаэробного гликолиза (Hashimoto T. et al., 2008; Brooks G.A., 2010).

Длительные тренировочные нагрузки на уровне анаэробного порога снижают эндотелиально-зависимую вазодилатацию, что приводит к сокращению бионакопления оксида азота (NO) в организме. Взаимосвязь максимального потребления кислорода (МПК) и дыхательного коэффициента на пороге анаэробного обмена (RER) с уровнем нитратов в организме лыжников-гонщиков подтверждается корреляционным анализом (Паршукова О.И., 2015) и согласуется с работой (Эрлих В.В., 2015).

В клетках организма процесс синтеза оксида азота протекает в условиях гипоксии и ацидоза при сниженной активности NO-синтаз (Малахов В.А. с соавт., 2009; Heinonen I. et al. 2013; Осипенко А.А., 2014) и наличии восстановленных форм гемосодержащих белков (Bogdanovska N.V. et al., 2009). Ведущее значение в возникновении компенсаторных и последующих структурных изменений играет ген *Hif1A*, который кодирует транскрипционный регулятор генов, вовлекаемых в процесс клеточной адаптации к гипоксии, включая процессы вазомоторного контроля, энергетического метаболизма, транспорта кислорода (Балыкин М.В. с соавт., 2016).

Однако в организме спортсменов, выполняющих физическую работу в анаэробном режиме, происходит явление не только «гипоксии нагрузки», но и повышение концентрации CO_2 – гиперкапния, что обуславливает ограничение анаэробной производительности (Блеер А.Н. с соавт., 2010). Так как при мышечной деятельности в анаэробном режиме работа всех клеточных АТФ-аз зависима от функционирования только гликолиза, то интенсивно развивается метаболический ацидоз – закисление внутриклеточной среды миоцитов, связанное с использованием энергии АТФ, а не с синтезом и накоплением лактата (Розенфельд А.С. с соавт., 2015). Лактат влияет на процессы внутри- и межклеточного взаимодействия и выступает в роли регулятора метаболических путей, играя ведущую роль в углеводном обмене (Brooks G.A., 2010; Колотьева Н.А. с соавт., 2016).

Одной, из основных причин, лимитирующих физическую работоспособность лыжника-гонщика высокой квалификации, является несоответствие развития мышечной системы для утилизации, поставляемого сердечнососудистой системой количества кислорода (Шишкина А.В., 2009). В работе Т.Л. Немировской с соавт. (1999) было показано, что увеличение окислительного потенциала мышц и работоспособности организма связаны только с метаболическими изменениями в самой мышце, а не с увеличением в ней кровотока. Поповым Д.В. с соавторами (2012) было установлено, что для

высококвалифицированных спортсменов, развивающих выносливость, концентрация лактата в крови при отказе от работы, тем меньше, а потребление кислорода на уровне порога анаэробного обмена (АнП) тем больше, чем больше объем, занимаемый мышечными волокнами I типа (окислительными волокнами). Организму наиболее выгодно для генерации механической энергии более полное использование мышечных волокон I типа (Селуянов В.Н., 2005). Медленные мышечные волокна обладают слабой способностью к гипертрофии, а значительная гипертрофия мышечных волокон II типа приводит к росту инертной мышечной массы, что было ранее установлено (Robergs R.A. et al., 1997; Уилмор Дж. Х., 1997).

Увеличение поперечного сечения мышечного волокна, как правило, обусловлено ростом резерва актиновых, и особенно, миозиновых нитей миофибрилл; объема соединительно-тканых образований, кровеносных и лимфатических сосудов, межклеточной жидкости; запасов энергетических субстратов, таких как миоглобин, масса митохондрий, ферментных белков (Самсонова А.В. с соавт., 2013; Russell B. et al., 2000; Schoenfeld B.J., 2010). Одним из условий гипертрофии мышечного волокна Елдаров А.В. с соавторами (2015) считают активацию анаэробного гликолиза при физической нагрузке с накоплением метаболитических продуктов распада. В ряде источников (Селуянов В.Н., 2001; Таракин П.П., 2007; Deldicque L. et al., 2005) утверждается, что увеличение в саркоплазматическом пространстве содержания свободного креатина приводит к гипергидратации мышечного волокна и повышению кальциевой чувствительности при мышечном сокращении (Нетребва А.И. с соавт., 2006).

Утверждение об анаболических эффектах креатина подтверждают не все авторы (Louis M. et al., 2003), синтез белка является весьма энергозатратным механизмом и может снижаться, если в клетке будет недостаточно энергии, вследствие блокирующего действия клеточной протеинкиназы (Jørgensen S.B., et al., 2007; Witczak C.A. et al., 2008). Секретция анаболических гормонов в организме спортсменов, в большей степени активируется метаболитическим, а не

механическим стимулом работающей мышцы (Попов Д.В., 2006). Установлено, что анаболические гормоны в большей мере воздействуют на мышечные волокна II типа, ускоряя синтез быстрого миозина (Мякинченко Е.Б., 1997). Быстрые волокна чувствительны к андрогенам, катехоламинам и бета-агонистам. В частности, показано, что разрушение быстрых волокон, вызванное увеличением кортизола, обусловлено повышенным катаболизмом белков (Izquierdo M. et al., 2001).

Таким образом, потенциал биохимического резерва, являясь фактором производительности, обеспечивает реализацию максимальной физической работоспособности лыжника-гонщика при сбалансированности работы энергопотребляющих и энерговоспроизводящих механизмов организма (Волков Н.И. с соавт., 2000; Holmberg Н.-С., 2015). Максимальный уровень работоспособности требует синхронного включения физиологического резерва, определяющего общую выносливость лыжника-гонщика.

К предикторам выносливости относят индекс массы тела, ударный объем крови, скорость потребления кислорода на вентиляционном пороге, уровень МПК, который взаимосвязан с составом и типом мышечных волокон, функцией митохондрий и активностью ферментов аэробного и анаэробного метаболизма (Коц Я.М., 1998; Bishop D.J. et al., 2014). Для поддержания высокой средней соревновательной скорости лыжнику-гонщику необходима сбалансированность развиваемой мощности и экономичности двигательных действий (Грачев Н.П., 2002, 2020).

Мышечная работа спортсмена должна выполняться на уровне мощности, ниже анаэробного порога, методом повторения, без полного расслабления и обязательно до «отказа», что создает условия для развития силовой выносливости организма (Самсонова А.В. с соавт., 2012; Schoenfeld, B.J., 2013). Рядом авторов (Kraemer, W.J. et al., 2005) было отмечено, что увеличение мышечных волокон типа I, наблюдается не только под влиянием силовых физических упражнений в аэробном режиме, но и циклических, только при условии, что гормональный статус организма спортсмена, благоприятен для

развертывания анаболических процессов. В лыжных гонках это варианты тренировок в «утяжеленных» условиях, таких как сильно пересеченная местность, растягивание резиновых амортизаторов или работа на специальных блочно-тренажерных устройствах (Суслова Ф.П., 1995; Фомиченко Т.Г., 1999). За счет отягощения (чем выше оно, тем сильнее гипоксия) происходит перекрытие кровотока, достигается укорачивание амплитуды движения. Суть таких вариантов тренировочных воздействий сводится к созданию большего относительно обычной локомоции механического усилия, проявляемого основными мышцами в рабочей фазе движения, при соблюдении в целом аэробного или смешанного характера энергообеспечения.

Показано, что ишемизация конечности спортсмена, потенцирует гормональный ответ организма на выполнение аэробной силовой тренировки (Takarada Y. et al., 2000). Учитывая, что быстро сокращающиеся волокна наиболее чувствительны к гипертрофии, можно предположить, что гидратация клеток увеличивает гипертрофический ответ во время тренировок с отягощениями и в условиях гипоксии, которая в значительной степени зависит от анаэробного гликолиза. При этом режимы упражнений, которые вызывают повышенную способность накапливать гликоген, также могут способствовать увеличению уровня воды в организме.

На основе результатов исследований Ю.В. Верхошанским (2013) был описан путь гипертрофии медленно сокращающихся мышечных волокон, связанный с поддержанием интенсивности нагрузки, но не выше уровня анаэробного порога (АнП), метод интервальной тренировки. Установлено, что тренировка интервальным методом приводит к увеличению содержания тестостерона, действие которого, в свою очередь, обеспечивает повышение гемодинамической производительности сердца и поддержание силовых характеристик (Борzych А.А. с соавт., 2012).

Таким образом, данные свидетельствуют о разных механизмах гипертрофии мышечных волокон у лыжников-гонщиков. Гипертрофия медленно сокращающихся волокон реализуется путем замедления деградации

белков, а гипертрофия быстро сокращающихся волокон – путем ускорения их синтеза. О меньшей интенсивности процессов деградации в мышечных волокнах после аэробной тренировки свидетельствует факт повышения активности дигидрооротатдегидрогеназы (DHODH) и небольшое снижение активности глутаматдегидрогеназы, что говорит о снижении активности окисления аминокислот после аэробной тренировки.

На рост силы мышечных волокон I типа, оказывает влияние совершенствование процессов управления активностью мышцы. Показано, что сила, развиваемая каждой мышцей, зависит от частоты и амплитуды сигнала нервного импульса (Кликунова К.А. с соавт., 2010). Как правило, чем выше подаваемый к мышце сигнал, тем больше волокон получают нагрузку. С другой стороны, тип иннервации мышечной ткани генетически детерминирован и определяет формирование ее фенотипа, который лишь в относительно узких границах может быть модифицирован силовой тренировкой не более, чем на 5% (Henriksson, J., 1992). Паттерны импульсации мотонейронов медленных двигательных единиц составляют 10 Гц, а для быстрых 50-60 Гц, что сопровождается секрецией соответствующих нейротрофических агентов и влияет на экспрессию генов миозина (Pette D. et al., 1992).

Показано, что если мышцу сокращать с помощью небольших, низкочастотных импульсов электрического тока в течение четырех-восьми часов в день, то можно добиться значительного увеличения числа волокон медленного типа за счет трансформации быстрых волокон (Шенкман Б.С. с соавт., 2006).

На скорость движений и быстроту двигательных реакций, как правило, влияет и скорость перехода мышц в состояние расслабления после быстрого сокращения (Бахарева А.С. с соавт., 2017). Расслабление мышечного волокна запускает реакция, катализируемая ацетилхолинэстеразой (АХЭ), которая необходима для дезактивации ацетилхолина в синаптической щели и перехода клетки-мишени в состояние покоя (Проскурина С.Е., 2016).

Для стабилизирующего эффекта в тренировочном процессе лыжника-гонщика необходимо уделять внимание и мышцам-стабилизаторам, которые фиксируют положение частей скелета относительно друг друга, но при этом сами не участвуют в движении. С помощью мышц-стабилизаторов спортсмен способен удерживать одну часть тела в нужном положении, и при необходимости, влиять на траекторию движения другой части тела, удерживать равновесное положение частей тела друг относительно друга во время выполнения двигательного действия (Чистоедова Ю.А., 2016).

Таким образом, посредством объема и интенсивности нагрузки, режима мышечного сокращения и других факторов, возможно, целенаправленно воздействовать на три из четырех параметров, определяющих объем скелетной мышцы (площадь поперечного сечения, длину и элементы не сократительной части мышечного волокна) (Нетреб А.И., 2007; Самсонова А.В. с соавт., 2013; Schoenfeld B.J., 2010). В основе гипертрофии лежит усиление анаболических процессов и внутриклеточная гиперплазия, отражающая структурное обеспечение повышенной функции клеток. Параллельно развиваются физиологические эффекты, в частности повышается капилляризация, усиливается процесс кровоснабжения, увеличивается сократительная сила мышечных волокон (Takarada Y. et al., 2002).

1.5. Адаптивно-компенсаторные механизмы обеспечения физической работоспособности у лыжников-гонщиков

В основе адаптивно-компенсаторных механизмов на действия физических нагрузок лежат, прежде всего, интегративные реакции кардиореспираторной системы. Проявление сопряжения дыхательных и гемодинамических реакций выражается в синхронизации частоты дыхания и сердечных сокращений (Донина Ж.А., 2011). Реакция на нагрузку со стороны кардиореспираторной системы (КРС) в значительной степени определяется типом кровообращения по таким критериям, как сердечный индекс и индекс ударного объема. К наиболее информативным относят динамику артериального и пульсового давления, минутного объема дыхания и ударного объема крови

Увеличение диастолического артериального давления относят к негативным факторам для роста максимального потребления кислорода (Демидов В.А. с соавт., 2022).

Снижение PO_2 во вдыхаемом воздухе оказывает действие, в первую очередь, на каротидные и аортальные хеморецепторы и систему дыхания, запуская компенсаторные механизмы организма через уменьшение барорефлекторной активности и увеличение симпатической модуляции. При $pH < 7,2$ проявляется угнетение сократимости миокарда и активация симпатической нервной системы, которая противодействует прямому кардиодепрессивному эффекту метаболического ацидоза (Костюченко С.С., 2007). Увеличение концентрации цитоплазматических протонов водорода при физических нагрузках сопровождается повышением их диффузии в митохондрии, снижение их концентрации сопровождается повышением скорости дыхания митохондрий и синтеза молекул АТФ (Wikstrom M., 2003).

Важным элементом в развитии кислородной недостаточности ткани при артериальной гипоксии (с сопутствующей ей гипокапнией) является факт значительных диффузионных "потерь" кислорода на уровне капилляров (Вовенко Е.П. с соавт., 1997). При моделировании кислородных режимов в скелетной мышце установлено, что увеличение объема интерстиция с 9 до 25 % с более высоким содержанием O_2 , понижает примерно на 20 % диффузионное сопротивление для O_2 на пути из капилляра к митохондриям мышечного волокна (Биличенко В.М. с соавт., 2002). Исследование механизмов обеспечения мышц кислородом показало, что скорость дыхания изолированного мышечного волокна определяется величиной поверхности внешней мембраны митохондрий, проницаемостью мембраны для кислорода, общей капилляризацией мышцы, объемной скоростью мышечного кровотока и связью скорости дыхания мышечных волокон с массой тела (Баранов В.И. с соавт., 2000; Биличенко В.М. с соавт., 2002). Развитие метаболического ацидоза в сочетании с респираторным ацидозом обуславливает повышение концентрации «жесткого» показателя гомеостаза организма — протонов

водорода (Кузник Б.И., 2010). Уровень концентрации H^+ является важным регулятором кинетики ферментативных реакций, физико-химического и структурного состояния клеточных мембран; лабильности и проводимости возбудимых тканей; сродства гемоглобина к кислороду, что, в целом, обуславливает повышение энтропии в организме спортсмена (Герасимов И.Г., 2006; De Backer D., 2003).

В поддержании баланса между потребностью клетки в кислороде и его доставкой важна роль транскрипционных факторов, ответственных за реакцию на дефицит кислорода (Semenza G.L., 2009). К важным транскрипционным факторам (Marchi D. et al, 2021) относят глюкокортикоидные рецепторы, а важнейшим глюкокортикоидом является кортизол, участвующий в регуляции метаболических и иммунологических гомеостатических функций организма. У спортсменов концентрация кортизола в крови относительно более высокая, так как физические упражнения на выносливость вызывают в организме метаболический стресс, сопровождающийся высвобождением большого количества кортизола (Athanasίου N. et al, 2023). У элитных лыжников на ответственных соревнованиях исследователи отмечали увеличение концентрации кортизола в крови в 1,5–2 раза, что является физиологически обоснованным (Anderson, T. et al, 2017).

Активация секреции глюкокортикоидов (Кроненберг Г.М. с соавт., 2010) в условиях гипоксического стресса, сопровождается активизацией гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы с освобождением катехоламинов. На фоне активации симпатoadреналовой системы при участии постсинаптических β -адренорецепторов активируются процессы гликолиза, гликогенолиза, глюконеогенеза и липолиза (Забродин О.Н., 1994; Бизенкова О.И., 2008).

Рост результативности в лыжных гонках лимитирует специальная выносливость (Мулик В.В., 2002), направленная на «увязывание» возросшего уровня силовой подготовленности со специфическими проявлениями двигательных и вегетативных функций, характерных для соревновательной деятельности (Бахарева А.С., 2009). Специальная выносливость спортсмена

трактруется как способность жизнеобеспечивающих систем организма к устойчивой деятельности, под контролем высшей нервной регуляции, отдаляющей развитие утомления в условиях монотонной работы (Солодков А.С. с соавт., 2014; Kenney W.L. et al., 2012). Установлено, что одним из приоритетных факторов поддержания высокой скорости на дистанции в лыжных гонках, является способность контролировать строго определенную мышечную силу в более короткий отрезок времени, за счет проявления мощности и экономичности движений, независимо от длины дистанции и стиля лыжной техники (Кобзева Л.Ф., 2005; Holmberg Н.С., 2013; Losnegard T. et al., 2014; Carlsson M. et al., 2014; Ettema G. et al., 2015).

На уровень спортивной результативности в лыжных гонках влияет морфологический статус спортсмена и его генетическая предрасположенность к нагрузкам циклического характера (Лобашова И.А., 2002; Бекембетова Р.А. с соавт., 2004; Авдеев А.А., 2006; Мартиросов Э.Г., с соавт., 2006). Установлено, что морфологические характеристики тела спортсмена взаимосвязаны с показателями физической работоспособности (ФР), определяют уровень развития механизмов энергообеспечения и эффективность процесса долговременной адаптации организма к экстремальной спортивной деятельности (Мартиросов Э.Г., с соавт., 2007; Абрамова Т.Ф. с соавт., 2010; Исаев А.П. с соавт., 2012). Показано, что тотальные размеры тела лыжников-гонщиков коррелируют с величинами сердечного выброса, жизненной емкости легких (ЖЕЛ), максимальной вентиляции легких (МВЛ) и глубины дыхания. Продольные размеры, в большей степени, связаны с кинематическими характеристиками техники лыжного бега (Граевская Н.Д. с соавт., 2004; Stöggli T. et al., 2013; Салова Ю.П. с соавт., 2016).

1.6. Параметры вегетативного обеспечения работоспособности и ее резервов у квалифицированных лыжников-гонщиков

Ведущую роль в поддержании функционального гомеостаза выполняют отделы вегетативной нервной системы, уровень механизмов напряжения которых отражается на уровне включения функциональных резервов

организма. При любых видах воздействия стабильность сердечного ритма, обеспечивается реакцией вегетативной нервной системы, ответственной за мобилизацию энергетических и метаболических ресурсов (Баевский Р.М., 2002). Средняя ЧСС, как эволюционно сложившийся гомеостатический механизм, является результатом многочисленных регуляторных влияний на аппарат кровообращения. Объективным методом, позволяющим выявлять скрытые изменения механизмов вегетативной регуляции системы кровообращения, является функциональная проба – активный ортостаз (Баевский Р.М., Берсенева А.П., 2008), которая часто применяется исследователями у спортсменов. При ортостатическом воздействии, возникающее функциональное напряжение сердечнососудистой системы, сопровождается транзиторными компенсаторными реакциями (Freeman R. et al., 2011).

В литературных источниках можно найти разные подходы к оценке реакции организма на активную ортостатическую пробу. Карпман В.Л. на основе значений ЧСС при переходе спортсменов из горизонтального в вертикальное положение, выделял три уровня реакции на ортостаз: при ЧСС до 89 уд/мин реакция на ортостаз оценивается как нормальная; при ЧСС от 90 до 95 уд/мин – как снижение ортостатической устойчивости; значения ЧСС более 95 уд/мин характеризуют низкую ортостатическую устойчивость спортсмена (Карпман В.Л., 1987). Однако, оценка комплексной реакции системы кровообращения на активный ортостаз должна учитывать изменение не только ЧСС, но и системного артериального давления (АД). С позиции данного подхода, выделяют следующие типы реакции системы кровообращения на ортостатическое воздействие: нормотонический, гиперсимпатикотонический, асимпатикотонический, гипердиастолический, симпатикоастенический, астеносимпатический типы (Яцечко Т.В. с соавт., 2010).

Оценка результатов ортостатической пробы высококвалифицированных спортсменов по показателям ЧСС и артериального давления (по критериям, разработанным О.В. Кочаровской) показала, что нормальная ортостатическая

устойчивость характеризовалась увеличением ЧСС от 15 до 25 уд./мин, при практически неизменном систолическом давлении и повышении диастолического – на 10–15% относительно исходных данных в горизонтальном положении. Удовлетворительная ортостатическая устойчивость характеризовалась увеличением ЧСС на 25–35 уд/мин; пониженная – на 36– 45 уд/мин и низкая – более чем на 45 уд/мин (Иорданская Ф.А., Бучина Е.В., 2017). Мониторинг ортостатической вегетативной устойчивости у волейболистов в динамике годичного тренировочного цикла подготовки показал, что в ходе развития тренированности и формирования спортивной формы достигается существенное улучшение вегетативной ортостатической устойчивости. Диагностированные сниженные и низкие показатели ортостатической устойчивости у отдельных спортсменов, свидетельствуют о наличии симптомов дизадаптации, которые являются ранними признаками перенапряжения сердечнососудистой системы и требуют срочной коррекции тренировочных нагрузок.

Определить вклад различных звеньев вегетативной и центральной нервной системы в регуляторные процессы и дать оценку адаптационных возможностей организма позволяет исследование вариабельности сердечного ритма (ВСР) с применением ортостатической пробы (Булатецкий С.В., Бяловский Ю.Ю., 2001). Анализ показателей вариабельности сердечного ритма у мужчин, средний возраст которых составлял $19,6 \pm 0,2$ лет, при активной ортопробе показал, что реакция организма на ортостатическую нагрузку зависит от исходного вегетативного типа регуляции. Более выраженное изменение соотношения симпатических и парасимпатических влияний на сердечный ритм выявлено у «нормотоников», у «симпатотоников» оно менее выраженное. Вегетативная регуляция ритма сердца под влиянием активной ортопробы изменяется в сторону увеличения симпатической активации, усиливающей энергетические процессы, и уменьшения парасимпатической (трофотропной) активности вегетативной нервной системы. В целом, в

механизме поддержания сердечно-сосудистого гомеостаза при активной ортопробе, участвуют два типа управляющих воздействий: один связан с активацией вазомоторного (сосудистого) центра, другой – с более высокими уровнями управления сердечным ритмом (Булатецкий С.В., Бяловский Ю.Ю., 2001).

При оценке ортостатической реакции у спортсменов с разными типами вегетативной регуляции используют различные методологические подходы к исследованию и анализу ВСР, что приводит к разночтению полученных результатов. Исходя из представлений о двухконтурной модели управления сердечным ритмом, было выделено четыре типа вегетативной регуляции сердечного ритма: два с преобладанием центральной регуляции [умеренное (I тип) и выраженное (II тип)] и два с преобладанием автономной регуляции [умеренное (III тип) и выраженное (IV тип)]. Взяв за основу классификации не отделы вегетативной нервной системы, а центральный и автономный контуры вегетативного управления физиологическими функциями (Шлык Н.И. с соавт., 2012; Шлык Н.И., Алабужев А.Е., 2020) подтвердили участие в процессах вегетативной регуляции многих звеньев единого регуляторного механизма, о котором можно судить по данным анализа ВСР (Калабин О.В., Литвин Ф.Б., 2025). Для оценки функционального состояния регуляторных систем у спортсменов независимо от вида спорта при проведении ортостатической пробы необходимо учитывать индивидуально-типологические особенности вегетативной регуляции. Усреднение показателей ВСР у спортсменов с разными преобладающими типами вегетативной регуляции недопустимо. Анализ ВСР при ортостатическом тестировании показал, что простота, доступность и высокая чувствительность метода делают его незаменимым при экспресс-оценке и динамическом контроле за функциональным состоянием, адаптивными и резервными возможностями организма спортсмена. Важны новые научные данные о вариационных размахх кардиоинтервалов ВСР в покое и ортостазе у лыжников-гонщиков, с учетом типа вегетативной регуляции (Шлык Н.И., 2021).

Однако, другая группа авторов (Петрова В.В. с соавт., 2015), считает, что трактовки результатов ВСР у спортсменов на основе индивидуальной оценки функционального состояния регуляторных систем организма, ранее предложенные Н.И. Шлык (2009), дают некоторое представление о функциональном состоянии спортсмена в момент обследования. Подобный подход весьма затратен, поскольку носит качественный характер, не отражая динамических изменений регуляторных возможностей сердечнососудистой системы (Петрова В.В. с соавт., 2015).

В настоящее время, в отношении интерпретации результатов анализа ВСР, нет единого мнения, поэтому дальнейшие трактовки могут не совпадать с выводами выше представленных авторов. Чтобы говорить о прогностической значимости вариабельности сердечного ритма необходимо изучить ее связь с показателями физической работоспособности. Авторы для анализа данных использовали 40 показателей лыжников мужского пола со спортивным разрядом МС-МСМК при нагрузочном тестировании по Рамп-протоколу на велоэргометре. Выявленные слабые корреляционные связи ($0,3 \leq r \leq 0,5$) показателей вариабельности сердечного ритма и нагрузочного тестирования свидетельствуют об отсутствии прогностической значимости для циклических видов спорта. Показатели рассчитывались по средним значениям. В тоже время, возможен прогноз физической работоспособности по показателям вариабельности сердечного ритма при их индивидуальной оценке в динамике (Брагин М.А. с соавт., 2018).

1.7. Критерии и маркеры оценки функционально-метаболического обеспечения адаптации лыжников-гонщиков к физическим нагрузкам на этапах подготовительного периода

Результаты мониторинга функционального состояния квалифицированных спортсменов свидетельствуют о влиянии на показатели анализируемых параметров, таких факторов физической нагрузки как ее интенсивность, продолжительность и направленность на этапах подготовки (Рыбина И.Л., 2013). Характер ответа на тренировочные физические нагрузки

на этапах подготовки определяют индивидуальные функциональные и метаболические различия спортсменов, а межиндивидуальная вариация исследуемых параметров и механизмов определяется индивидуальной устойчивостью организма к гипоксии нагрузки.

В качестве критериев оценки адаптации лыжников-гонщиков к максимальным и субмаксимальным физическим нагрузкам рассматривают статистические данные количественных показателей функционального состояния организма.

Анализ компонентного состава тела. Для оценки эффективности тренировочных нагрузок и контроля метаболических изменений, происходящих как на протяжении периода тренировок, так и непосредственно под влиянием конкретной нагрузки, применяют биоимпедансный анализ. При тренировочном процессе направленность и выраженность адаптивных изменений, и преимущественный характер энергообеспечения в организме спортсмена отражают параметры мышечного и жирового компонентов (Абрамова Т.Ф., 2013). Физическая нагрузка умеренной интенсивности требует повышенного снабжения рабочих мышц, в частности свободными жирными кислотами, которые освобождаются при расщеплении депонированного жира и используются в энергетических процессах как субстрат окисления. Депонированные жиры – мощный источник энергии при мышечной деятельности.

Известно, что жиरोотложение – это результат баланса скорости липогенеза и липолиза или аэробного и анаэробного энергообеспечения (Виру А.А., Кырге П.К., 1983; Хочачка П., Сомеро Д., 1988). Снижение жирового компонента состава тела спортсмена указывает на активизацию процессов липолиза, рост энергетического потенциала, повышение общей выносливости, мощности на уровне анаэробного порога (АнП) и в целом, готовности организма к выполнению интенсивной физической нагрузки (Бахарева А.С. с соавт., 2024). На ультраструктурном уровне это указывает на увеличение объемной плотности митохондрий, содержания внутриклеточных липидов в мышцах за счет экспрессии генов липидного обмена (Schmitt B., 2003; Kakehi S., 2020).

Противоположная ситуация – прирост жировой массы в структуре состава тела, который указывает на снижение мощности, емкости и эффективности аэробного механизма энергообеспечения, и возрастание анаэробных возможностей спортсменов (Maciejczyk M. et al., 2014). Показано, что тренировки на выносливость приводят к снижению оборота и окисления свободных жирных кислот в плазме крови, при выполнении субмаксимальных упражнений в течение 90–120 минут, обусловленному более медленной скоростью высвобождения СЖК из жировой ткани (Martin W., 1993). Снижение липидных механизмов энергообеспечения при физических нагрузках гипоксического характера объясняется тем, что среди окислительно-модифицированных белков присутствуют альбумины, которые в карбонилированном состоянии не могут эффективно поставлять жирные кислоты в ткани (Spanidis Y., 2017). Соответственно, находясь в циркуляции, СЖК становятся доступными для переокисления (Цейликман Э.В. с соавт., 2007). Физические упражнения повышают уровень карбонилирования в основном митохондриальных белков скелетных мышц (Gorini G. et al., 2019), окисленные белки, повышают каскад клеточных сигналов, обуславливающих экспрессию антиоксидантов (Caimi G. et al., 2013).

Белковый обмен является интегрирующим звеном всех систем организма, при этом 50% белка составляют миозин, актин, коллаген и гемоглобин (Шешурина Т.А. с соавт., 2024). В целом, увеличение мышечной массы отражает увеличение миофибриллярных белков, толщины моторных нервных волокон и миофибрилл в мышечных волокнах. При этом длительные упражнения низкой интенсивности, повышающие выносливость, способствуют преимущественно гипертрофии саркоплазмы без значительного повышения массы миофибрилл и силы сокращения мышц, а силовые упражнения с отягощениями и скоростно-силовые нагрузки вызывают гипертрофию преимущественно сократительного аппарата (Schoenfeld B.J., 2010; Roberts M.D. et al., 2020). Для обеспечения энергозатрат организма спортсмена при длительных физических нагрузках в более высоких зонах интенсивности

(3-4 зона), включается кортикостероидная стимуляция катаболизма белков и глюконеогенеза (Webster C.C. et al., 2016). Исходными соединениями в процессе глюконеогенеза являются аминокислоты мышечной ткани. Известно, что глюконеогенез и гликолиз регулируются реципрокно, при повышенной утилизации глюкозы, необходимой для поддержания функций организма, вступает в силу глюконеогенез, за счет которого в организме образуется несколько сотен граммов глюкозы в сутки (Краснова М.Г., 2020).

При мышечной деятельности активацию катаболизма мышечных белков, увеличение деградации сократительного белка миофибрилл и уменьшения клиренса по выведению циркулирующих в крови эндогенных веществ, связывают с повышением концентрации креатинина (Lippi G., 2008; Choobineh S., Par H., 2015). О большей скорости катаболизма тканевых белков и его синтезе после тренировочных воздействий судят по повышению концентрации мочевины (Tipton K.D. et al., 2008). Изменение внутритканевого обмена белков определяют обычно по концентрации в крови отдельных незаменимых аминокислот, которые в организме не синтезируются и образуются при распаде тканевых белков.

Параметрами биоимпедансометрии, которые позволяют судить об эффективности тренировочных воздействий, служат также общая вода, уровень базального метаболизма (УБМ) и расходуемая мощность жизнеобеспечения. Установлено, что уровень общей воды в организме положительно коррелирует с показателем гематокрита. Прирост уровня воды в организме при мышечной деятельности, ряд авторов объясняют активизацией анаболических процессов в миоцитах, как за счет увеличения синтеза белка, гликогена, лактата, так и за счет процессов протеолиза (Schoenfeld B.J., 2010).

Параметром, позволяющим судить об адаптивных изменениях в результате тренировочных воздействий, является уровень электрического сопротивления тканей организма. Показано, что с повышением функциональных свойств мышечной ткани на фоне снижения жировой массы тела в результате тренировочных воздействий, происходит увеличение базального уровня

метаболизма. Скелетные мышцы являются основным органом-мишенью метаболизма для удаления глюкозы и триглицеридов, и важным фактором, определяющим скорость метаболизма в состоянии покоя (Strasser B., 2011).

Марцинкевич А.Ф. (2022) была предложена графическая вероятностная модель, которая позволила отразить взаимосвязь активности отдачи кислорода и показателей окислительной модификации белков и липидов мембран эритроцитов у спортсменов циклических видов спорта (Марцинкевич А.Ф., 2022). С помощью электронной и атомно-силовой микроскопии показано, что при агрегации α -лактальбумина, индуцированной действием противоположно заряженных дипептидов Arg-Phe и Asp-Phe соответственно, происходит образование надмолекулярных структур – гемоглобина и миоглобина.

Функциональное состояние липидов плазмы крови. Содержание продуктов липопероксидации в плазме крови рассматривают не только как биодеструктивные факторы, но и как компоненты системы неспецифического гуморального контроля гемодинамики (Волчегорский И.А. с соавт., 1996). Изменение содержания продуктов ПОЛ в ответ на субмаксимальную и максимальную нагрузки отражает степень адаптированности человека к интенсивной мышечной деятельности: чем выше уровень тренированности, тем менее резкие сдвиги в содержании продуктов ПОЛ вызывает нагрузка (Львовская Е.И. с соавт., 2008; Бахарева А.С. с соавт., 2016). Усиление активности антиоксидантной системы – это один из признаков формирования структурного «следа» адаптации к физическим нагрузкам (Тренева М.В. с соавт., 2008). Гептановая фаза липидных экстрактов связана с возрастанием степени мобилизации из жировых депо свободных жирных кислот, которые образуются в результате гидролиза триглицеридов, содержащих остатки насыщенных кислот. Повышение свободнорадикального окисления липидов в гептановой фазе результат увеличения аэробного пути энергообеспечения и обусловлено долей насыщенных жирных кислот, как источников энергии в результате вовлечения в окислительный процесс большего количества кислорода (Волчегорский И.А. с соавт., 1989).

Для поддержания в организме гомеостаза и нормального функционирования органов и тканей необходим соответствующий баланс между функционированием прооксидантной и антиоксидантной систем. Активность антиоксидантной системы, защищающей ненасыщенные жирные кислоты, входящие в состав фосфолипидов от действия свободных радикалов, является критерием сохранности липидов. Относительно высокий уровень АОА препятствует активному вовлечению этих субстратов в процесс свободно-радикального окисления липидов. Угнетение антиоксидантных систем у спортсменов, тренирующихся на выносливость, можно рассматривать как компенсаторные механизмы защиты в ответ на усиление свободнорадикального окисления.

Углеводный метаболизм. Независимо от характера этиологических факторов и механизмов развития гипоксии, наиболее ранними проявлениями нарушения оксигенации тканей являются сдвиги их энергетического обеспечения (Чеснокова Н.П. с соавт., 2017). Углеводы в качестве энергетического источника могут поддерживать физические нагрузки мощностью, превышающей 50–60 % МПК. В условиях гипоксии, в случаях увеличения потенциала фосфорилирования, возникает активация ключевого фермента гликолиза – фосфофруктокиназы (ФФК) и соответственно накапливаются продукты гликолитических реакций – молочная и пировиноградная кислоты.

Повышение концентрации лактата в крови наблюдается практически при любой спортивной деятельности, однако степень возрастания концентрации лактата в значительной мере зависит от характера выполненной работы и тренированности спортсмена. Наибольший подъем уровня лактата в крови отмечается при выполнении физических нагрузок в зоне субмаксимальной мощности, так как в этом случае главным источником энергии для работающих мышц является анаэробный гликолиз (Никулин Б.А., Родионова И.И., 2011). Следовательно, уровень молочной кислоты в крови спортсмена является индикатором активности процесса анаэробного гликолиза, с ростом которой связано развитие метаболического ацидоза, обуславливающего утомление и ограничение его работоспособности (Розенфельд А.С., 2007).

Результаты исследований (Тюпаев И.М. с соавт., 2010) выявили наличие в организме быстрообмениваемых метаболических пулов глюкозы и молочной кислоты, участвующих в перераспределении субстратных потоков на ресинтез АТФ по анаэробному и аэробному гликолизу, что указывает на генетически закрепленный механизм регуляции соотношения субстратных потоков, детерминирующий срочноадаптивную перестройку метаболизма. Динамика соотношений субстратных потоков (глюкоза/лактат, молочная кислота/пировиноградная кислота) представляет один из реальных методов оценки уровня подготовленности или генетически обусловленной предрасположенности спортсмена к тренировкам в том или ином биоэнергетическом режиме (Тюпаев И.М. с соавт., 2010).

Наибольшее количество молочной кислоты образуется в миоцитах гликолитических поперечнополосатых мышечных волокон при выполнении субмаксимальной нагрузки, на фоне снижения рН до уровня 6,5 – 6,3 (Smith G.L. et al., 1998; Robergs R.A. et al., 2004). Ионы водорода, снижая рН-уровень, замедляют энергетические реакции за счет изменения активности ферментов, тем самым ослабляя мышечное сокращение, а при выраженном снижении рН приводят к значительной потере сократительной способности (Эрлих В.В. с соавт., 2012; Бахарева А.С. с соавт., 2024). Баланс рН осуществляется за счет работы респираторного и почечного компенсаторных механизмов. Реакции образования и последующего быстрого расщепления угольной кислоты в организме катализируется ферментом карбоангидразой, который находится в эритроцитах и в почках (Неёлова О.В., 2016).

Кислая среда и наличие неорганического фосфора считается причиной распада актомиозинового комплекса на актин и миозин, результатом чего выступает процесс расслабления мышечных волокон (Ефимова Н.Н., Боровиков Ю.С., 1995). Существует мнение, что закисление среды миоцитов (метаболический ацидоз) во время интенсивной нагрузки, связано с использованием энергии АТФ, а не с синтезом и накоплением лактата (Розенфельд А.С. с соавт., 2015).

Большая доля лактата метаболизируется в глюкозу в печени (60%) и в почках (30%), остальная часть утилизируется в цикле Кребса, путем прямого окисления лактата в митохондриях кардиомиоцитов, дыхательных мышц, нейронов и красных мышечных волокон (Hashimoto T. et al., 2008; Brooks G.A., 2010). Уменьшают градиент протонов при окислительном фосфорилировании трансмембранные белки, которые являются разобщающими протеинами (UCP1 и его гомологи). Имеются данные о том, что бурая жировая ткань (БЖТ), содержащая значительные количества белка UCP1, способна поглощать молочную кислоту, и эта ее способность усиливается под влиянием физической тренировки (Сонькин В.Д., 2016). Увеличение суммарного выхода лактата из мышцы, как в условиях нормоксии, так и в условиях гипоксии регулируется главным образом активацией симпатoadреналовой системы. Это подтверждается сходной динамикой концентрации норадреналина в артериальной крови и суммарного выхода лактата из рабочей мышцы (Попов Д.В., Виноградова О.Л., 2012). В других исследованиях представлена иная точка зрения, согласно которой степень утилизации лактата у спортсменов связана с особенностями вегетативной регуляции углеводного обмена. Есть предположение, что разнонаправленная динамика уровня глюкозы в организме, связана с различной функциональной активностью симпатического отдела ВНС (Кудря О.Н., 2011; Moxnes J. F., Sandbakk O., 2012).

Гормональный статус организма спортсмена. В процессе адаптации спортсменов к физическим нагрузкам происходит активизация гормонально-гуморального механизма управления адаптационным процессом. Гормональный статус организма спортсмена сопряжен с активностью метаболизма скелетной мускулатуры и оказывает на него ключевое влияние, определяя эффективность работоспособности организма в целом. Поэтому результаты динамического исследования гормонального уровня в организме спортсмена могут указывать на адаптацию организма к нагрузкам и эффективность тренировочного процесса (Лопатина А.Б., 2014). Прежде всего, это касается уровня активации гипоталамо-гипофизарно-адренокортикальной и

симпатоадреналовой систем (Меерсон Ф.З., 1986; Павлов С.Е. с соавт., 2013; Исаев А.П. с соавт., 2013).

Характерной особенностью проявления адаптации к предельным для спортсмена физическим нагрузкам является максимальная мобилизация потенциальных ресурсов организма, которые стимулируются системой гипоталамус-гипофиз-надпочечники. Снижение эффективности гормонального звена регуляции, считают главной причиной истощения адаптационных резервов. При этом, сдвиги биохимических показателей гомеостаза, приводят к компенсаторным усилениям функций вегетативных систем (Фомин Н.А., 2003).

Механизмы передачи действия гормонов, реализуются посредством увеличения концентрации цАМФ в мышцах, повышения чувствительности ферментов к передатчику, чувствительности мембранных рецепторов к гормонам, что обеспечивает повышение физической работоспособности организма. Влияние мышечной работы на специфические изменения концентраций определенных гормонов в крови спортсменов, а также их участие в реакциях приспособления приведены в работе (Попова И.Е., 2021) и представлены в (Прил. 1, табл. 1). Гормональный фон спортсменов отличается у представителей различных видов спорта, что обусловлено спецификой регулярных физических и психических нагрузок.

Наиболее полное определение биохимических показателей крови у спортсмена проводят в рамках углубленного медицинского обследования (Спасский А.А. с соавт., 2019). В 2016 году был утвержден перечень обязательных исследований (в рамках УМО), в том числе биохимических показателей крови: оценка гемостаза и микроциркуляции; углеводного, липидного и белкового обмена; гормонального профиля; исследование функции печени и поджелудочной железы; эритропоэза; минерального обмена (Прилож. 2, табл. 2) (Спасский А.А. с соавт., 2019).

В процессе анализа данных такого мониторинга, выявлен ряд информативных биохимических показателей, не включенных в перечень обязательных исследований Приказа Минздрава России (Приказ №134н от

1 марта 2016 г.). Учитывая общие регламентирующие документы, которые содержат перечень показателей обязательного тестирования спортсменов, исследователи, тем не менее, постоянно ведут поиск более надежных методов, с большей точностью, отражающих картину изменений метаболизма на физические нагрузки с разной направленностью воздействий на организм (Никулин Б.А., Родионова И.И., 2011; Будко А.Н., Рыбина И.Л., 2016; Спасский А.А. с соавт, 2019).

Например, у хоккеистов, играющих в высшем дивизионе страны, биохимические исследования сыворотки крови включали оценку 41 показателя. Авторами было установлено, что в начале соревновательного периода практически у всех обследованных хоккеистов отмечено неблагоприятное для спортивной деятельности состояние. А именно: значительно повышенный уровень кортизола, что свидетельствует о наличии у них существенного психоэмоционального напряжения, а соотношение этого гормона с тестостероном говорит о выраженном состоянии перетренированности и преобладании в организме катаболических процессов (Рахманов Р.С. с соавт., 2018). У большинства обследованных спортсменов была выявлена дислипидемия (в 60,7% случаев отмечены патологические значения ХС-ЛПНП). Выявленный дисбаланс в жировом обмене, по мнению авторов, обусловлен, повышенным уровнем кортизола. При исследовании показателей белкового обмена были отмечены достаточно высокие (не выходящие за рамки референтного интервала) уровни мочевины и креатинина, что может быть следствием потребления спортсменами большого количества белка. Анализ углеводного и энергетического обмена выявил у каждого третьего спортсмена уровень энергетического потенциала ниже нижней границы референтного интервала (Рахманов Р.С. с соавт., 2018).

Содержание биохимического контроля у представителей лыжного спорта различно в подготовительном и соревновательном периодах годичного цикла. В подготовительном периоде основной контролируемый показатель – уровень анаэробного порога (ПАНО). Важность этого показателя была подтверждена

исследователями, показавшими, что высокий уровень анаэробного порога позволяет спортсмену выполнять больший объем работы за счет аэробного источника энергообразования и таким образом обеспечивает экономизацию энергетического потенциала спортсмена (Пучинский Г.В., Чиков А.Е., 2014). Следовательно, спортсмен сохраняет более высокую скорость гонки.

Однако часто применяемый на практике метод определения анаэробного порога по абсолютному уровню концентрации лактата в крови, равному 4 мМоль/л, не учитывает индивидуальных особенностей спортсмена. В подготовительном периоде используются и другие методы биохимического контроля реакции организма на тренировочные нагрузки: оценка сдвигов кислотно-основного равновесия, концентрация гемоглобина, лактата и мочевины крови, экскреции гормонов (Уткин В.Л., Зайцева В.В., 1983).

В ряде других публикаций представлены различные аспекты функционального состояния спортсменов, развивающих выносливость и скоростную силу (Колупаев В.А., Сашенков С.Л., 2007; Сонькин В.Д., 2010; Исаев А.П. с соавт., 2010; Кривошеков С.Г., Балиоз Н.В., 2014; Солонин Ю.Г. с соавт., 2022). Указывается, что экспресс информация о метаболической оценке организма лыжников-гонщиков выявляет проблемы энергообеспечения на разных этапах подготовительного периода (Исаев А.П. с соавт., 2012). Длительные изменения характера взаимодействий механизмов центрального управления и висцеральных функций в процессе постоянных тренировок формируют и закрепляют новые нейро-висцеральные интеграции (Эрлих В.В. с соавт., 2011). Данный процесс находит отражение в динамике специфической реактивности ответов висцеральных систем организма на гипоксическое воздействие, которое зависит от характера индивидуального тренировочного процесса (Кривошеков С.Г., Балиоз Н.В., 2014). Любое тренировочное воздействие на организм спортсмена должно быть тщательно соразмерено с его реальными функциональными возможностями. Это указывает на необходимость точных, корректных и адекватных методов контроля динамики работоспособности.

Перспективным в области изучения физиологических механизмов, определяющих емкость энергетических систем, является разработка интегрального, информативного и чувствительного критерия дееспособности организма. Исследования, направленные на расшифровку физиологических и молекулярных механизмов поддержания гомеостаза при напряженной мышечной работе (Сонькин В.Д., 2010), остаются в ряду наиболее актуальных. Автором была предложена классификация тестов для оценки различных аспектов работоспособности с учетом их предназначения для характеристики мощности, емкости или экономичности того или иного источника энергии.

Анализ литературных источников показывает, что для оценки степени адаптации спортсмена к тренировочным нагрузкам исследователи предлагали различные оценочные критерии, отражающие отдельные характеристики адаптивного ответа организма. В частности, отмечено, что в мужском организме, например, тестостерон имеет два механизма действия. Во-первых, активирует андрогенные рецепторы, во-вторых, превращается в эстрадиол и активирует эстрогенные рецепторы, далее действие эстрогенов отражается на гемодинамике, так как снижается жесткость периферических артерий (Ahimastos A.A. et al., 2003).

Шкурников М.Ю. с соавт. (2008) предлагали в качестве критерия адаптации использовать уровень свободного тестостерона, считая, что при средней интенсивности нагрузки, необходим, именно, этот показатель, так как увеличение содержания тестостерона обеспечивает повышение гемодинамической производительности сердца и поддержание силовых характеристик. Соотношение кортизола и тестостерона оказывает прямое влияние на показатели мышечной силы в ходе тренировочных и соревновательных мероприятий, в связи с этим (Минвалеев Р.С., 2015; Lac G., Berthon P., 2000) при длительной и высокоинтенсивной тренировке на выносливость указывают на значимость, именно, соотношения данных гормонов. Работа более 60 мин с мощностью не ниже порога анаэробного обмена – АНП вызывает рост базального утреннего уровня кортизола и уменьшение тестостерона.

Активность ферментов. Ряд авторов, считают, что биохимические показатели крови, уже на подготовительном этапе позволяют диагностировать уровень готовности спортсмена или признаки его утомления и рационально подходить к управлению подготовкой спортсменов (Гурская А.И., 2014; Бахарева А.С. с соавт., 2018). Синтез ферментов обусловлен генетически, но реализация данной программы зависит от концентрации конечного продукта реакции. Ключевым ферментом в интеграции цикла трикарбоновых кислот, углеводного, липидного и белкового обмена, маркером функционального состояния митохондрий считают аспаратаминотрансферазу (АСТ) (Ермолаева Е.Н. с соавт., 2015). Установлено, что под контролем АСТ протекает аспарат-сукцинатное направление метаболизма, которое запускается с трансформации аспартата в оксалацетат, с последующим восстановлением до малата. Малат, как и цитруллин, повышает спортивные показатели во время аэробных тренировок, ускоряя процесс утилизации аммиака и соли молочной кислоты, что повышает энергопроизводство (Holecek M., 2023).

Содержание аланинтрансаминазы (АЛТ) в крови спортсмена, с метаболической точки зрения, объясняет механизм адаптации к физическим нагрузкам через активацию глюкозоаланинового шунта. Его активация в качестве катализатора необходима для обратимых переносов аланина (превращающегося в глюкозу), что служит компенсаторным механизмом при гипогликемии. Активность АЛТ является критерием интенсивности анаэробного гликолиза, ресинтеза АТФ в условиях гипоксии мышечного волокна. В свою очередь, активность двух аминотрансфераз характеризует интенсивность процессов переаминирования, что свидетельствует о повышенном уровне белкового обмена (Newsholme P. et al., 2003).

Одним из метаболических признаков недостаточности энергообеспечения нервной, мышечной ткани, а также миокарда под влиянием двигательных действий и условий гипоксии, является снижение уровня креатин фосфата (КФ), который выполняет функцию резервного источника макроэргических

фосфатных связей, и обеспечивает их транспорт к местам энергетических трат (Чеснокова Н.П. с соавт., 2017).

Информативным маркером функционального состояния мышечной ткани (Чиркин А.А. с соавт., 2014) считают активность креатининкиназы (КК) в сыворотке крови. Креатининкиназа – стабильный фермент, определяющий адаптацию к физической нагрузке, посредством креатинфосфокиназного механизма энергообразования. Показано, что чем выше уровень КК, тем выше спортивная тренированность, поэтому гиперферментемия по КК является благоприятным признаком.

При высоких физических нагрузках в плазме крови у спортсменов уменьшается содержание ацетилхолина, что приводит к дефициту нейромедиатора и, как следствие, наблюдается ускоренное утомление мышц, снижение выносливости и физической активности спортсмена. Кроме того, АХЭ катализирует реакцию расслабления мышечного волокна, которая необходима для дезактивации ацетилхолина в синаптической щели и перехода клетки-мишени в состояние покоя (Проскурина С.Е., 2005).

Проблема выявления конкретных биохимических факторов, регулирующих работоспособность, остается особенно актуальной, когда речь идет о спортсменах высокой квалификации, работающих с предельным напряжением систем вегетативного обеспечения мышечной деятельности (Бахарева А.С. с соавт., 2018; Бахарева А.С., с соавт., 2024).

Количественно-качественные параметры системы крови. Состояние клеток периферической крови характеризует естественную неспецифическую резистентность организма, поскольку, вступая со всеми тканями в функциональные взаимоотношения, они отражают происходящие в организме физиологические и патологические изменения (Михайлова Н.Н. с соавт, 2010). Изменения показателей крови при мышечной работе, обуславливающей метаболический ацидоз, гипоксию, гипоксемию, гиперкапнию являются важными факторами рефлекторной и гуморальной регуляции различных

звеньев систем транспорта кислорода и иммунобиологического надзора (Волчегорский И.А., 1996; Сашенков С.Л., 2018).

Под влиянием физических нагрузок у спортсменов разных видов спорта происходит увеличение количества эритроцитов и гемоглобина, что обуславливает эффект гематологической адаптации, влияющей на увеличение возможностей кислородного обеспечения организма (Мельникова Н.В. с соавт., 2015). Известно, что тренировка в условиях гипоксии стимулирует эритропоэз, что приводит к повышению синтеза гемоглобина и увеличению аэробных возможностей.

Однако уровень гемоглобина не всегда объективно отражает степень воздействия гипоксической тренировки на физическую работоспособность спортсмена и даже может не коррелировать с аэробными возможностями человека. Считается, что общая гемоглобиновая масса и объем циркулирующей крови, являются факторами, определяющими аэробную работоспособность, за один цикл гипоксической тренировки tHb-mass может вырасти на 48 %. Показатель tHb-mass в крови спортсмена имеет высокую корреляцию с МПК, например, рост на 1 грамм ведет к увеличению МПК на 4 мл/мин (Зеленкова И.Е с соавт., 2014; Schmidt W., Prommer N., 2010). Среднее содержание гемоглобина в эритроците в большей степени зависит от уровня гематокрита и в меньшей от снижения количества эритроцитов в крови (Красильникова В.А., 2015).

Согласно другим исследованиям, надежным маркером текущего функционального состояния спортсменов и степени их тренированности является СОЭ (Викулов А.Д. с соавт., 2014). Ранее было показано, что лабильность поверхностного заряда мембраны эритроцита, влияет на суспензионную устойчивость эритроцитов и реологические свойства крови (Сашенков С.Л. с соавт., 2011).

Под влиянием физической нагрузки у лиц с низким уровнем функционального состояния было выявлено значительное увеличение тромбоцитов. Тромбоциты, кроме своей базовой роли в свертывающей системе,

могут оказывать влияние на агрегацию эритроцитов, способствуя тем самым ухудшению кислородтранспортной функции крови (Дембо А.Г., 1991). Появление в кровотоке депонированных тромбоцитов, более активных в функциональном отношении, может быть следствием усиления адренергических влияний (Киперман Я.В. с соавт., 2014). Определенная связь между уровнем функционального состояния и агрегацией тромбоцитов и эритроцитов была выявлена в исследованиях, как у спортсменов, так и у незанимающихся спортом.

Положительным прогностическим признаком высокого функционального состояния спортсмена является наличие в периферической крови лимфоцитарной фракции миогенного лейкоцитоза (Дембо А.Г., 1991). Увеличение количества лимфоцитов – одно из доказательств повышения устойчивости организма к инфекциям. По мере развития утомления в крови у спортсменов наблюдается резкое уменьшение абсолютного и относительного содержания лимфоцитов (Захарова М.Ф., 2012). С истощающей физической нагрузкой связывают и снижение числа эозинофилов (Сарайкин Д.А. с соавт., 2014).

Роль базофилов в адаптации к физической нагрузке, как мощных и быстрых источников регуляторных цитокинов IL-4 и IL-13, играющих центральную роль в модуляции иммунного ответа в сторону Th2-типа с противовоспалительными и восстанавливающими свойствами, была показана (Falcone F.N. et al., 2000). Базофилы участвуют в модуляции иммунитета, уравнивая провоспалительный ответ, вызванный интенсивной тренировкой.

Участие эозинофилов в механизме противовоспалительного действия и восстановления тканей в ответ на физическую нагрузку реализуется через медиаторы (IL-5, GM-CSF, эотаксин) и секрецию противовоспалительных цитокинов (TGF- β , IL-10), которые ограничивают чрезмерное воспаление, вызванное микроповреждениями в мышцах, легких и сосудах. Эозинофилы продуцируют фактор роста эндотелия сосудов – VEGF и фактор роста фибробластов – FGF, что способствует образованию новых сосудов и

восстановлению мышечной ткани. Это способствуют трансформации жировой ткани и повышают энергообеспечение при длительных нагрузках, поддерживая метаболический гомеостаз; участвуют в профилактике бронхоспазма, индуцированного физической нагрузкой, повышая эффективность газообмена (Rankin L.C., Artis D., 2018).

Таким образом, под влиянием физической нагрузки в периферической крови спортсменов могут наблюдаться эритро-, тромбо-, лейкоцитоз. Изменение лейкоцитарной формулы, степень его выраженности зависит от мощности, интенсивности и длительности нагрузки. Степень изменений, прежде всего, зависит от соотношения общего объема циркулирующих эритроцитов (ОЦЭ) и общего объема циркулирующей плазмы (ОЦП).

Параметры транспорта и потребления кислорода и углекислого газа.

Известно, что интенсивность окислительных процессов в организме сопряжена с состоянием системы транспорта кислорода, от которого существенно зависит уровень спортивного мастерства (Ванюшин Ю.С. с соавт., 2015). Доставка кислорода к работающим мышцам и его утилизация являются ведущими факторами, определяющими аэробную работоспособность спортсменов, особенно в циклических видах спорта, которые требуют длительной работы в зоне большой и субмаксимальной мощности (Эрлих В.В., с соавт., 2015).

При выполнении физической работы в анаэробном режиме проявляется эффект не только «гипоксии нагрузки», но и повышения концентрации CO_2 - гиперкапнии, что является лимитирующим фактором анаэробной производительности (Блеер А.Н. с соавт., 2010). Действие гиперкапнической гипоксии на организм в целом обладает более выраженным адаптогенным потенциалом, чем гипоксия в чистом виде, и переносится организмом значительно легче (Гридин Л.А., 2010). Увеличение содержания углекислого газа в гипоксической смеси нормализует дыхание, кровообращение, повышает устойчивость организма к острой гипоксии (Куликов В.П. с соавт., 2013), при этом возрастает ишемическая и гипоксическая толерантность головного мозга более значимо, чем при их изолированном применении (Трегуп П.П. с соавт.,

2018). Сочетанное воздействие гипоксии и гиперкапнии нашло практическое применение в тренировочных процессах, целью которых является легальное эффективное повышение гемоглобина в крови у спортсменов (Голов А.В., Симаков С.С., 2017). Фактор гипоксии в тренировочном процессе активизирует большее число основных механизмов, определяющих работоспособность спортсменов, поэтому его считают доминирующим, а гиперкапнию – потенцирующим фактором.

Параметры системной гемодинамики. Интенсивность и динамика кровоснабжения внутренних органов при адаптации к физическим нагрузкам не равномерна, зависит от состояния системной гемодинамики, напряженности и энергоемкости производимой работы. Уровень кровоснабжения активно сокращающихся скелетных мышц у лыжников-гонщиков определяет их работоспособность (Тхоревский В.И., Литвак А.Л., 2006). Важнейшим гемодинамическим фактором, определяющим постоянство АД, является общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС), обеспечивающее максимум прессорной реакции (Самойленко А.В. с соавт., 2010). При стабильном режиме функционирования системы кровообращения ОПСС рассматривают одним из основных предикторов регуляции величины венозного возврата крови, между которыми существует отрицательная корреляционная связь. Перераспределение кровотока осуществляется за счет растяжимости сосудов малого круга кровообращения и, наоборот, их сужения в большом круге (Бойков А.Н. с соавт., 2005; Дониная Ж.А. с соавт., 2013), при этом происходит централизация кровообращения. Увеличение растяжимости стенок аорты и артерий обеспечивает их устойчивое состояние на повышенный объем притекающей крови к конечностям и снижает нагрузку на сердце. При постоянно меняющихся гемодинамических условиях, данный механизм определяет адаптацию микроциркулярного русла к потребностям в перфузии тканей кровью (Гриневич А.А. с соавт., 2014).

Эхокардиографические исследования сердечно-сосудистой системы спортсменов показывают, что при интенсивной мышечной деятельности, у

спортсменов, занимающихся тренировкой на выносливость, развивается умеренная, преимущественно эксцентрическая, гипертрофия левого желудочка, которая отражает адаптивные механизмы к спортивной деятельности (Гаврилова Е.А., Загородный Г.М., 2019). При тренировке преимущественно выносливости происходит увеличение объема и массы сердца, размера камер, мощности миокарда левого желудочка. Растет эластичность миокарда и, в соответствии с законом Франка – Старлинга, увеличивается сократимость и систолический объем левого желудочка. Сердечная деятельность модулируется преднагрузкой (объем циркулирующей крови, тонус вен), постнагрузкой (тонус сосудов артериального русла) и силой сокращения миокарда.

Кроме того, происходит увеличение скорости наполнения кровью левого желудочка сердца, снижение ОПСС, увеличение конечного диастолического и снижение конечного систолического объемов крови (Ярышева В.Б. с соавт., 2018). Эффективное взаимодействие ЛЖ и артериальной системы в конечном итоге определяет рост доставки крови к сердцу и скелетным мышцам, снижение затрат энергии как на регуляцию работы сердца, так и на регуляцию функций доставки крови на периферию (Мясоедова Е.И. с соавт., 2017).

Сердечно-сосудистая система спортсменов-лыжников характеризуется эксцентрической гипертрофией левого желудочка, большим вкладом свободной стенки в сократимость левого желудочка, заметным влиянием вагуса на синусовый узел и тонус резистивных сосудов, отсутствием увеличения базальной секреторной функции кардиомиоцитов в ответ на внутрисердечные гемодинамические нагрузки. Расширенные полости левого предсердия и желудочка, повышающие функциональный резерв системы кровообращения, способствуют эффективному дыханию и тканевому метаболизму при мощных физических нагрузках (Дерновой Б. Ф., Прошева В. И., 2018).

Параметры респираторной функции. Объективным критерием оценки физической работоспособности и функциональных возможностей, адаптации систем дыхания и кровообращения, а также степени тренированности выносливости служит уровень максимального потребления кислорода (МПК)

(Карпман В.Л. с соавт., 1988). МПК отражает как способность кардиореспираторной, так и мышечной системы транспортировать и использовать кислород для энергообеспечения физической работы (Рылова Н.В. с соавт., 2014; Коломиец О.И. с соавт., 2017). Анализ уровня потребления кислорода у лыжников-гонщиков зависит от особенностей рельефа трассы. Показано, что максимальный дефицит O_2 больше на подъемах, относительно значений на равнинных участках, в связи с чем, лыжные гонки относят к физической работе с переменной мощностью. Функциональная активность системы дыхания у спортсмена определяется долей мышц, вовлеченных в работу и особенностями биомеханики движений, выполняемых на разных участках трассы с сильно пересеченным рельефом (Sandbakk, Ø., Holmberg H.C., 2014; Losnegard T., 2019).

Высокие требования, предъявляемые к системе внешнего дыхания спортсменов, обеспечивают эффективную работу как кардиореспираторной, так и мышечной системы при физических нагрузках, особенно аэробной направленности. Функциональные возможности дыхательных путей и уровень развития мышц грудной клетки определяют уровень обеспечения организма достаточным количеством кислорода и освобождение его от избытка углекислого газа. Интерес к вопросам повышения функциональной подготовленности спортсменов за счет развития респираторной системы, в том числе, системы внешнего дыхания, а также повышения устойчивости организма к гипоксической нагрузке остается актуальным в настоящее время (Говорухина А.А., Веткалова Н.С., 2018).

Ранее считалось, что система внешнего дыхания обладает настолько мощным потенциальным резервом, что не может являться фактором, лимитирующим предельную работоспособность спортсмена, которая ограничивается исключительно функциональными возможностями сердечнососудистой системы. С появлением новых экспериментальных методик такой подход был пересмотрен и исследования последних лет установлено, что система дыхания, а именно ее моторная часть, может быть одним из

лимитирующих звеньев, которые определяют выносливость спортсмена (Сегизбаева М.О., 2021; Сегизбаева М.О., Александрова Н.П., 2021). Спортсмены, тренирующие выносливость, имеют более высокие значения силы дыхательных мышц и динамических показателей функции внешнего дыхания по сравнению с представителями силовых видов спорта. Высокоинтенсивные аэробные нагрузки приводят к значительному повышению силы дыхательных мышц и вносят вклад в достижение определенных функциональных пределов. Слабая корреляция между значениями максимальной силы респираторной мускулатуры и максимальной вентиляции легких позволяет предположить, что функциональные ресурсы спортсменов аэробных видов спорта высокой квалификации близки к их потенциальным предельным возможностям (Бреслав И.С. с соавт., 2000; Сегизбаева М.О., 2021; Бахарева А.С., Шибкова Д.З., 2025). Следовательно, дополнительная специальная тренировка дыхательной мускулатуры не будет способствовать значимому повышению их силы.

Первопричиной изменения функции дыхания является изменение химии внутренней среды организма, связанное с динамикой обмена кислорода и углекислого газа, целый ряд функциональных систем организма в процессе тренировок формируют физиологически обоснованную программу действия, направленную на сохранение гомеостаза организма. Механизм адаптации дыхания к мышечной деятельности носит нервно-рефлекторный характер, хотя в основе его лежат биохимические процессы, связанные с изменением содержания O_2 и CO_2 в крови или сдвигов pH внутренней среды. На первом этапе физической нагрузки большого объема и интенсивности значительно нарастает легочная вентиляция, на последующих этапах физической нагрузки активно включаются и хеморецепторные механизмы, т.е. гуморальные механизмы регуляции дыхания (Фудин Н.А. с соавт., 2020).

В руководстве по физиологии дыхания подробно представлен синтез современных представлений о физиологических и биохимических процессах, обуславливающих газообмен в тканях и эффективную регуляцию организменных функций, направленных на поддержание газового гомеостаза

при мышечной активности (Бреслав И.С. с соавт., 2013). Авторами освещаются вопросы сопряженности функций тканевого дыхания, транспорта газов с кровью и легочной респирации при мышечной работе; результаты динамики респираторных функций в различных условиях мышечной деятельности; установления взаимосвязи параметров легочной вентиляции и состоянием физической работоспособности человека (Бреслав И.С. с соавт., 2013).

Одним из основных механизмов поддержания парциальных давлений O_2 и CO_2 в крови на нормальном уровне является регуляция легочной вентиляции: частоты и глубины дыхания. Регуляция минутной вентиляции каротидными хеморецепторами, линейно зависит от парциального давления CO_2 и обратно пропорциональна гипоксическому воздействию. Снижение величины парциального давления O_2 приводит к повышению вентиляции легких (Голов А.В., Симаков С.С., 2017), а с другой стороны, развивающаяся при ацидозе гипервентиляция приводит к гипокарбии. Как следствие, снижения гиперкапнического стимула, соответственно снижается функция вентиляции легких (Солопов И.Н., 2004). Недостаток углекислоты ведет к понижению возбудимости дыхательного центра, наступает депрессия центральной нервной системы, которая характеризуется задержкой CO_2 в организме.

Хорошо изучены многие аспекты динамики показателей системы внешнего дыхания и транспорта кислорода у лыжников, например, по сезонам годового цикла (Эберт Л.Я. с соавт., 2005). Характер адаптационных реакций систем внешнего дыхания и кровообращения у спортсменов в ответ на воздействие условий среды и физических нагрузок, в значительной мере, опосредован циркануальным ритмом активности нейроэндокринной системы. Преимущественный механизм энергообеспечения мышечной деятельности оказывает модифицирующее влияние на регуляцию деятельности систем дыхания и кровообращения в процессе адаптации организма к сезонным изменениям условий среды. В свою очередь, циркануальный ритм нейроэндокринной системы оказывает модулирующее влияние на деятельность систем внешнего дыхания и гемодинамики в процессе адаптации к анаэробным

или аэробным физическим нагрузкам (Колупаев В.А. с соавт., 2008). Средние значения ЖЕЛ у лыжников в зимний, летний и осенний период были достоверно выше, чем у представителей спорта анаэробной направленности. У лыжников наблюдалось снижение среднего уровня ЖЕЛ в летний период. Механизм изменений ЖЕЛ был различен: у представителей видов спорта аэробной направленности снижение уровня ЖЕЛ в летний период было связано с уменьшением РОвд, а у представителей анаэробной направленности – повышение ЖЕЛ в весенний период было обусловлено увеличением ДО и РОвыд (Эберт Л. Я. С соавт., 2005).

У лыжников-гонщиков, проживающих и тренирующихся на территории Европейского Севера в течение годового погодного-климатического цикла происходит более глубокое ремоделирование дыхательной системы, обусловленное тренировочным процессом, по сравнению с мужчинами-неспорсменами. Максимальные значения легочных объемов у лыжников-гонщиков выявлены в холодное время года (с ноября по март), минимальные – в теплое (с июня по октябрь). Диапазоны годового дрейфа показателей составляют от 11,5 до 56,3% и наиболее выражены для резервных объемов вдоха и выдоха, дыхательного объема (Варламова Н.Г., Бойко Е.Р., 2021).

У испытуемых, занимающихся длительное время лыжными гонками, физическая деятельность сопряжена с выработкой специальной выносливости, формирующейся на фоне двигательных и вентиляторных гипоксических стимулов и больших энергозатрат. Общеизвестно, что объем легочной вентиляции при длительно выполняемой работе большого объема и интенсивности зависит от индивидуальной устойчивости организма к гипоксическому фактору, т.е. с повышением этой устойчивости нарастает экономизация функциональной системы дыхания, о чем свидетельствуют снижение рабочего уровня ЧД и МОД при увеличении КИО₂ у лыжников-гонщиков (Фудин Н.А. с соавт., 2023).

При оценке индивидуальных особенностей дыхательной системы спортсменов-лыжников установлено, что выполнение как длительной

физической нагрузки аэробного характера (беговая дорожка и велоэргометр), так и короткой физической нагрузки анаэробного характера (Вингейт-тест) не приводит к достоверному увеличению или уменьшению показателей ЖЕЛ, ФЖЕЛ и частотных характеристик дыхательной системы спортсменов (Ерофеев Г.Г., 2020). Максимальное увеличение ЖЕЛ и ФЖЕЛ выявлено среди мужчин после выполнения нагрузочного тестирования на беговой дорожке, которое не превышало 4% и не достигало уровня достоверности. Минимальное изменение показателей ЖЕЛ и ФЖЕЛ выявлено в группе спортсменов мужчин после выполнения ими тестирования на велоэргометре (тест «до отказа»). Автор в качестве технологии повышения функциональных резервов организма спортсменов, указывают на потенциальные возможности биоакустической стимуляции дыхательной системы, так как она проводится в любой период соревновательно-тренировочного процесса в удобное для спортсмена время. В результате биоакустической стимуляции дыхательной системы возникает эффект открытия резервных альвеол и увеличения площади поперечного сечения альвеолярных ходов и дыхательных бронхиол, что обуславливает увеличение жизненной емкости легких (Ерофеев Г.Г., 2020).

В целом, тот или иной механизм энергообеспечения мышечной деятельности в лыжных гонках определяется длиной дистанции. Спринтерские дистанции и передвижение в подъем обусловлены энергообеспечением организма спортсмена преимущественно механизмами анаэробного гликолиза, на дистанциях более 2-х км – с помощью окислительного фосфорилирования. Эффективность стартовых ускорений определяется скоростно-силовыми качествами (мощность) и емкостью фосфагенной энергетической системы. Таким образом, у лыжников развиваются все энергетические системы, при этом повышаются: аэробные возможности организма, функциональное состояние сердечнососудистой и дыхательной систем, экономизация деятельности этих систем, окислительные способности работающих мышц. Своевременный контроль функционального состояния организма спортсменов и организация

восстановительных процессов обеспечат повышение результативности спортсменов-лыжников (Ванюшин Ю.С. с соавт., 2020).

Вегетативная регуляция функций и выявление кардиогемодинамических резервов по variability сердечного ритма при ортостатической пробе у спортсменов. Ведущую роль в поддержании функционального гомеостаза системы кардиогемодинамики выполняют отделы вегетативной нервной системы и механизмы барорефлекса. При ортостатическом воздействии, возникающее функциональное напряжение сердечно-сосудистой системы, сопровождается транзиторными компенсаторными реакциями (Freeman R. et al., 2011). Уровень напряжения регуляторных систем отражает функциональные резервы организма.

Стабильность сердечного ритма, обеспечивается характерной реакцией вегетативной нервной системы, ответственной за мобилизацию энергетических и метаболических ресурсов при любых видах воздействия (Баевский Р.М., 2002). Средняя величина ЧСС, как гомеостатический механизм, обеспечивающий баланс между симпатическим и парасимпатическим влиянием, отражает результат многочисленных регуляторных влияний на аппарат кровообращения. Объективным методом, позволяющим выявлять скрытые изменения механизмов вегетативной регуляции системы кровообращения, является ортостатическая проба (Баевский Р.М., Берсенева А.П., 2008), которая часто применяется исследователями для оценки состояния регуляторных механизмов у спортсменов.

В научных источниках можно найти разные подходы к оценке реакции организма спортсмена на активный ортостаз. Например, выделяют три уровня увеличения ЧСС: до 89 уд/мин реакция системы кровообращения считается нормальной, от 90 до 95 уд/мин – указывает на снижение ортостатической устойчивости, более 95 уд/мин – характеризует низкую ортостатическую устойчивость (Карпман В.Л., 1987). При оценке комплексной реакции системы кровообращения на активный ортостаз учитываются изменения ЧСС и системного артериального давления (АД). При таком подходе выделяют шесть

типов ответной реакции кровообращения на ортостатическое воздействие: нормотонический, гиперсимпатикотонический, асимпатикотонический, гипердиастолический, симпатикоастенический, астеносимпатический (Яцечко Т.В. с соавт., 2010).

Результаты ортостатической пробы высококвалифицированных спортсменов оценивали по показателям ЧСС и АД по следующим критериям: увеличение ЧСС на 15-25 уд/мин, при практически неизменном САД и повышении ДАД на 10–15%, относительно исходных данных в горизонтальном положении, характеризует нормальную ортостатическую устойчивость организма. Удовлетворительная ортостатическая устойчивость характеризуется увеличением ЧСС на 25–35 уд/мин; пониженная – на 36– 45 уд/мин и низкая – более, чем на 45 уд/мин (Иорданская Ф.А., Бучина Е.В., 2017). Реакция на ортостаз позволяет прогностически оценивать функциональные резервные возможности системы кровообращения спортсменов, выявлять нарушение вегетативного обеспечения работоспособности в виде фактора, лимитирующего работоспособность, либо в виде неготовности организма спортсмена к выполнению нагрузок предельного характера. Диагностированные сниженная и низкая ортостатической устойчивости у спортсменов, свидетельствуют о наличии симптомов дизадаптации, которые являются ранними признаками перенапряжения сердечно-сосудистой системы и требуют срочной коррекции тренировочных нагрузок (Иорданская Ф. А., Бучина Е.В., 2017).

Выяснить вклад различных звеньев вегетативной и центральной нервной системы в регуляторные процессы и оценить адаптационные возможности организма при ортостатической пробе позволяет исследование вариабельности сердечного ритма (ВСР) (Булатецкий С.В., Бяловский Ю.Ю., 2001). Использование исследователями разных подходов к анализу ВСР приводит к разночтению полученных результатов.

Исходя из представлений о двухконтурной модели управления сердечным ритмом, Н.И. Шлык (2012) было выделено четыре типа вегетативной регуляции сердечного ритма: два с преобладанием центральной регуляции [умеренное

(I тип) и выраженное (II тип)] и два с преобладанием автономной регуляции [умеренное (III тип) и выраженное (IV тип)]. Взяв за основу классификации центральный и автономный контуры вегетативного управления физиологическими функциями, авторы подтвердили участие в процессах вегетативной регуляции многих звеньев единого регуляторного механизма, о котором можно судить по данным анализа ВСР. Независимо от вида спорта, при проведении ортостатической пробы необходимо учитывать индивидуально-типологические особенности вегетативной регуляции. Усреднение показателей ВСР у спортсменов с разными преобладающими типами вегетативной регуляции недопустимо. При ортостатическом тестировании ВСР, в связи с высокой чувствительностью, является незаменимым методом для экспресс-оценки и динамического контроля за функциональным состоянием, адаптивными и резервными возможностями организма спортсмена (Шлык Н.И. с соавт., 2012).

Повышение тренированности и адаптационно-резервных возможностей организма достигается только при оптимальном состоянии регуляции, устойчивых благоприятных диапазонах значений $MxDMn$ и отсутствии парадоксальных реакций на ортостаз (Шлык Н.И., Алабужев А.Е., 2020). Частая смена значений $MxDMn$ в покое с благоприятного на неблагоприятный диапазон или постоянное наличие неблагоприятных диапазонов $MxDMn$ у спортсменов в тренировочном процессе, в сочетании с парадоксальной реакцией на ортостаз, связаны с индивидуальной неустойчивостью процессов восстановления и состояния кардиорегуляторных систем. Причина в несоответствии функциональной готовности организма к выполнению тренировочных нагрузок, ведущих к перетренированности (Шлык Н.И., 2021).

Состояние парасимпатического отдела ВНС, которая отвечает за процесс восстановления после физиологического или эмоционального стресса, отражает показатель $RMSSD$, демонстрирующий физиологическое восстановление организма и позволяющий визуализировать баланс нагрузки и восстановления во время тренировочного процесса. На данный момент проведены сотни

исследований по выявлению эффективности использования RMSSD в тренировочном процессе, именно для того, чтобы избежать перетренированности при растущих физических нагрузках. Если при сохранении одинакового уровня нагрузки средняя величина RMSSD растет, то организм справляется с этой нагрузкой и ее можно увеличить. Если падает, то организм не успевает восстанавливаться и нагрузку нужно снизить. Для корректной интерпретации результатов показатель RMSSD следует анализировать в комплексе с ЧСС. В частности, тенденция роста показателя RMSSD должно подтверждаться снижением ЧСС, что говорит о качественном тренировочном процессе.

В обзоре (Laborde S., Mosley E., Bellenger C. and Thayer J., 2022) представлены результаты 139 авторов из 16 стран, которые отражают теоретические, методические и аналитические подходы к интерпретации параметров ВСР. **Вагусная активность** в регуляции сердца, связана со многими функциями саморегуляции, что делает ее **ключевым маркером** для исследователей. Примером параметров ВСР, опосредованных блуждающим нервом, являются среднеквадратичное значение последовательных различий (RMSSD). Авторы акцентируют внимание на обзоре ультракороткосрочных методов измерений **ВСР (≤ 5 мин)**, так как динамические условия создают проблемы с интерпретацией, поскольку в этом контексте необходимо учитывать метаболическое влияние на ВСР. Кроме того, во многих исследованиях авторы опираются на соотношение низкочастотных и высокочастотных сигналов (LF/HF), вегетативный или симпатовагальный баланс. Опираясь на обзор (Ackermann et al., 2021) авторы утверждают, что первоначально эта интерпретация основывалась на том, что LF показатель симпатической нервной активности, но данное утверждение, давно опровергнуто, в частности, с использованием исследований блокады.

Наиболее важным аспектом обзора, представленного (Laborde S. et al., 2022), на наш взгляд, является отмеченный рост интереса к исследованиям ВСР в области спортивных наук, преимущества мониторинга ВСР для

корректировки тренировочной нагрузки и оптимизации восстановления. В обзоре представлен новый метод определения аэробного порога, основанный на показателях ВСР (Rogers B. et al., 2020) для упражнений на выносливость и рекомендации по тренировкам, который может заменить трудоемкие и затратные методы оценки газообмена или лактата крови (Laborde S., Mosley E., Bellenger C. and Thayer J., 2022).

Таким образом, до настоящего времени существуют разногласия в отношении использования метода исследования ВСР и интерпретации его параметров. Указывается, что спектральные методы исследования в частотной области сталкиваются с неразрешимой проблемой нестационарности исследуемого временного ряда, что ставит под сомнение полную пригодность данного инструмента для исследования вариабельности. Для разработки универсальных показателей вариабельности ритма сердца, величина которых имела бы ясную физиологическую и клиническую трактовку, необходимо привлекать математические модели квазипериодических процессов в рамках циркулярного подхода, свободные от указанных недостатков (Татаринцев П.Б с соавт., 2019). Для основных показателей ВСР уже сложились определенные клиничко-физиологические оценки, которые более или менее однозначно трактуются в большинстве публикаций. Для отдельных показателей существуют оригинальные, но все еще дискуссионные трактовки, которые нуждаются в более тщательном обосновании (Баевский Р., Черникова А., 2017). Сложности при оценке результатов анализа ВСР и их интерпретации часто возникают из-за того, что отдельные показатели тесно коррелируют между собой, оставаясь относительно независимыми от других. В результате образуется 3 группы, внутри которых показатели коррелируют друг с другом при $r > 0,9$. Первую группу составляют SDNN и общая мощность спектра (TP). Вторая группа включает в себя мощности в диапазонах VLF и LF. Третья группа объединяет такие показатели, как RMSSD, pNN50 и мощность в диапазоне HF. Данное соотношение указывает на отражение близких по своей природе показателей ВСР и возможную их взаимозаменяемость (Mashin V.A., 2011).

Выводы по главе 1

Анализ отечественной и зарубежной литературы, посвященной исследованию адаптивных особенностей различных систем организма у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, показал дискуссионность данной актуальной проблемы. Противоречия выявлены в терминологическом использовании понятий и оценке предикторов, критериев и биомаркеров, отражающих эффективность адаптации к нагрузкам на разных этапах подготовки лыжников-гонщиков, что требует обоснованности использования данных дефиниций.

Следует согласиться с мнением А.В. Шахановой и Т.Г. Петровой (2015), что противоречия по конкретным измеряемым параметрам могут быть обусловлены особенностями индивидуальных биологических характеристик обследуемых спортсменов. С другой стороны, дизайн большинства исследований, отражает анализ отдельных доминирующих функциональных систем организма, но не их комплекса (Шаханова А. В., Петрова Т.Г., 2015).

Применение комплексного подхода к исследованию адаптации у лыжников-гонщиков, является приоритетным направлением при современных тренировочно-соревновательных нагрузках (Ванюшин Ю.С. с соавт. 2022).

В зависимости от преобладания системы энергообеспечения происходит адаптивное изменение биохимических показателей в ответ на физическую нагрузку, поэтому необходимо учитывать закономерные биохимические сдвиги общие для всех видов спорта, характеризующие срочную и долговременную адаптацию. В рамках срочной адаптации имеет значение состояние аэробного и анаэробного обмена и, связанные с ними показатели времени нагрузки, ПАНО, гемоглобин, гематокрит; а также состояние гликолиза, отражаемое в концентрации лактата и времени работы в анаэробной зоне. При долговременной адаптации биохимические сдвиги отражаются на таких показателях как миоглобин, тропонин, АЛТ, АСТ, кортизол, тестостерон и др. (Самойлов А.С. с соавт., 2018; Киш А.А., Голобородько Е.В., 2019).

В физиологии спорта наименее изученными остаются реактивные переходные функциональные состояния, определяющие границы сдвига гомеостаза, когда под влиянием прогрессирующих физических нагрузок создаются физиолого-биохимические предпосылки для адаптивных структурных перестроек в организме.

Для повышения специальной выносливости и, в целом, спортивной результативности лыжника-гонщика должны учитываться особенности согласованности функциональных возможностей мышечной и вегетативных систем обеспечения, доминирующих при спортивной деятельности. Хорошо известно, что специфика метаболических реакций, генетически детерминирована и наличие ДНК-локусов, сцепленных с показателями аэробной и анаэробной энергетических систем, указывают на ограниченность функциональных резервов в условиях возрастающей интенсификации физических нагрузок.

Передовой методологией является проведение комплексного исследования, критерием эффективности которого является практическое значение полученных новых научных данных. Ответ на уровне организма формируется во взаимодействии различных функциональных систем, и зачастую, может отличаться от ожидаемого, поэтому особое значение имеет идеология построения и методическая составляющая исследования (Бойко Е.Р., 2019). Представленные в данной главе сведения о физиологических изменениях, происходящих в отдельных системах организма, указывают на необходимость поиска предикторов, критериев и маркеров для оценки интегральных адаптивных функционально-метаболических сдвигов у лыжников-гонщиков. Так как, выявляемые изменения на молекулярном, клеточном, органном или системном уровне могут компенсироваться интеграцией деятельности целостных функциональных систем обеспечения организма к физическим нагрузкам.

ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Организация и дизайн исследования

Исследования проводились в течение 2015 – 2025 гг., в четыре этапа, на базе кафедры спортивного совершенствования Института спорта, туризма и сервиса ФГАОУ ВО «Южно-Уральского государственного университета (НИУ)».

На первом этапе (2015 – 2017 гг.) проведен анализ научных и научно-методических источников литературы и определена тема исследования, сформулирована рабочая гипотеза, цель и задачи для ее достижения. Для проверки рабочей гипотезы и формирования выборки спортсменов, на данном этапе было проведено исследование физической работоспособности с участием квалифицированных спортсменов, представителей циклических видов спорта, кандидатов в члены сборных команд Челябинской области и Российской Федерации ($n=91$).

Характеристика выборки обследуемых спортсменов. На основе добровольного информированного согласия, в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации, в состав общей выборки были включены спортсмены циклических видов спорта, мужского пола ($n=91$), средний возраст которых составил $21,15 \pm 4,48$ лет. На I-ом этапе были обследованы представители разных циклических видов спорта: лыжники-гонщики ($n=45$), пловцы ($n=28$), и легкоатлеты ($n=18$). Тестирование физической работоспособности спортсменов проводили в переходный период годичного цикла подготовки.

Для оценки физической работоспособности, уровня скоростно-силовой выносливости и мощности аэробной системы энергообеспечения спортсменам было предложено выполнить модифицированный пятиступенчатый нагрузочный тест на механической безмоторной беговой дорожке ($t=3$ мин работы на первых четырех ступенях; $t=1$ мин работы на пятой ступени через 2 минуты отдыха). Протокол теста соответствовал пятизонной модели

интенсивности тренировочных нагрузок, применяемой Норвежской Олимпийской и Паралимпийской федерацией (Seiler K.S., Kjerland G.Ø., 2006) (табл. 1).

Таблица 1 – Пятизонная шкала тренировочных зон интенсивности, используемая Норвежской Олимпийской и Паралимпийской федерацией

I зона	II зона	III зона	IV зона	V зона
% от ЧСС макс	% от ЧСС макс	% от ЧСС макс	% от ЧСС макс	% от ЧСС макс
55 – 72%	73 – 82%	83 – 87%	88 – 92%	93 – 100%
Ла, ммоль/л	Ла, ммоль/л	Ла, ммоль/л	Ла, ммоль/л	Ла, ммоль/л
0,8 – 1,5	1,6 – 2,5	2,6 – 4,0	4,1 – 6,0	6,1 – 10,0

Процедура нагрузочного тестирования была модифицирована с целью выявления срочных механизмов обеспечения функционально-метаболических ответов организма спортсменов на каждой ступени теста и валидности физиологических измерений (рис. 1). Особенностью модифицированного нагрузочного теста является ступенчатое увеличение нагрузки не по механической мощности, а по частоте сердечных сокращений (ЧСС). В отличие от классических тестов с приростом мощности до отказа, данный протокол позволяет оценить не столько максимальные возможности, сколько метаболическую эффективность и экономичность работы спортсмена.



Рисунок 1 – Графическое изображение протокола нагрузочного тестирования спортсменов циклических видов спорта

На рисунке 1, показано, что на начальной стадии каждой ступени (вход в заданную зону интенсивности) наблюдается закономерный синхронный рост ЧСС и мощности бега, далее для удержания пульса в заданном диапазоне интенсивности без превышения лимита спортсмен вынужден снижать механическую работу. Таким образом возникает состояние, при котором поддержание целевой ЧСС происходит за счет падения мощности и скорости.

Этот факт является ключевой диагностической ценностью, поскольку пульс-контролируемая работа позволяет выявить индивидуальный порог нарушения гомеостаза, а именно, ту мощность, превышение которой делает невозможным поддержание заданной интенсивности сокращений без резкого нарастания кислородного долга и закисления внутренней среды. Стабильность ЧСС на фоне падающей мощности указывает на переход энергообеспечения на анаэробный гликолиз, и единственный способ не превысить пульсовой лимит – снизить внешнюю нагрузку. Характер падения мощности служит прямым маркером функциональной подготовленности: раннее и резкое падение мощности (при входе на нагрузочные ступени) свидетельствует о слабом окислительном потенциале; длительное удержание мощности на стабильном пульсе говорит о высокой экономичности бега, высоких аэробных возможностях.

Таким образом, предложенный протокол тестирования с нагрузкой по ЧСС позволяет констатировать не только факт утомления, а дифференцированно оценивать метаболическую эффективность спортсмена.

Модификация протокола заключалась во введении прерывистого характера тестирования, что позволило проводить стандартизированные замеры в течение двухминутных интервалов отдыха между нагрузочными ступенями. На первой минуте паузы отдыха в положении сидя с помощью автоматического тонометра (Omron, Япония) регистрировали ЧСС, уд./мин; АД, мм рт.ст., на основании которых рассчитывали МОК, л/мин; УОК, мл; ОПСС, Па·мл⁻¹ по общепринятой методике (Пестряев В.А. и соавт., 2013). В конце второй минуты отдыха осуществляли забор капиллярной крови из мякоти дистальной фаланги

пальца руки для определения концентрации лактата (Ла, ммоль/л) с помощью портативного анализатора «Lactate Plus» (США).

Непосредственно во время выполнения каждой ступени нагрузки в непрерывном режиме фиксировали механические и физиологические параметры. К механическим показателям относились средние значения мощности в абсолютных (W, Вт) и относительных единицах (W, Вт/кг), скорости (V, км/ч) и каденса (RPMs, цикл/мин). Физиологический мониторинг включал регистрацию средней ЧСС (уд./мин) на последних 30 секундах первых 4-х ступеней и максимальной ЧСС (ЧСС_{max}, уд./мин) на 5-й ступени по данным нагрудных датчиков (Garmin, Polar H10).

Также с помощью портативного датчика Moxy Muscle Oxygen Monitor (США), использующего технологию спектроскопии в ближней инфракрасной области (NIRS), регистрировали динамику мышечной оксигенации (SmO₂, %) и общей концентрации гемоглобина (tHb, г/дл) в капиллярной крови. Датчики фиксировались на коже в области трехглавой мышцы плеча и на латеральной широкой мышце бедра.

Для синхронизированной записи всех параметров использовалась аналитическая платформа PerfPRO Studio. Данные с измерителей мощности бега (Stryd), пульсометров и датчика оксигенации передавались в программу в режиме реального времени по беспроводному каналу связи ANT+.

По итогам первого этапа исходного тестирования из общей совокупности квалифицированных спортсменов циклических видов спорта, на основе анализа рейтинговых стартов за 2015-2016 и 2016-2017 годы, с полноценной системой подготовки и с учетом однородности исходных базовых морфофункциональных параметров, нами была сформирована группа квалифицированных лыжников-гонщиков мужского пола (n=45, возраст 20,87±2,65 лет) для участия в дальнейшем исследовании и решения поставленных задач. Спортсмены отбирались из числа кандидатов в сборную команду и группу спортивного резерва Челябинской области и Российской Федерации по лыжным гонкам. Спортивный стаж обследуемых на момент

включения их в выборку составлял не менее 5-ти лет, спортивная квалификация мастер спорта ($n=8$), кандидат в мастера спорта ($n = 10$) представители первого разряда ($n=27$).

На втором этапе (2018 – 2020 г.г.), в соответствии с поставленной целью и задачами исследования, проводилось обследование физиологических и биохимических параметров организма лыжников-гонщиков на разных этапах подготовительного периода. По полученным результатам компонентного состава тела, количественно-качественных параметров системы крови, кардиогемодинамики, дыхательной функции и вегетативной регуляции формировалась база данных, включающая 62 показателя, для оценки морфофункционального и метаболического статуса обследованных спортсменов. Оценка исследуемых функционально-метаболических параметров проводилась на каждом этапе подготовительного периода: начало базового этапа (первая неделя июня), в конце базового этапа (последняя неделя августа) и в конце специально-подготовительного этапа (последняя неделя октября).

Реактивность систем организма лыжников-гонщиков на нагрузочное воздействие оценивалась по результатам активной ортостатической пробы (АОП), включающей 7 показателей. На каждом этапе подготовительного периода два раза в неделю, после дня полного отдыха и разгрузочного дня, спортсмены выполняли АОП. Количество тестирований составило: на I-ом этапе ($n=8$), на II-ом этапе ($n=24$), на III-ем этапе ($n=16$), измерения проводились в течение двух минут как в положении лежа, так и в положении стоя, исходя из цели исследования с оценкой показателей ЧСС, САД, ДАД, УОК, МОК, ОПСС, RMSSD.

Оценка физической работоспособности спортсменов проводилась методом эргометрического тестирования (13 показателей). В качестве функциональной пробы, выявляющей резервные возможности спортсмена и его готовность к соревновательному периоду, нами в конце специально-подготовительного этапа проводилось тестирование на лыжном эргометре Concept 2 «Ski-Erg» одновременным бесшажным ходом, рекомендованное для

исследований Д.В. Поповым с соавт. (2014) по протоколу, аналогичному на беговой безмоторной дорожке.

По результатам поэтапного контроля функционально-метаболического статуса (2018-2020 гг.) и эргометрического тестирования в конце специально-подготовительного периода была сформирована выборка спортсменов, соответствующая **10 критериям включения:**

- 1) пол спортсмена;
- 2) возраст спортсмена (юниоры);
- 3) спортивный стаж не менее 5-ти лет;
- 4) медицинское обследование раз в год;
- 5) отсутствие заболеваний и травм;
- 6) ваготонический тип вегетативной регуляции;
- 7) ортостатическое тестирование по этапам подготовительного периода;
- 8) комплексная диагностика функционально-метаболического статуса спортсменов на этапах подготовительного периода;
- 9) участие в соревнованиях Всероссийского и регионального уровня;
- 10) наличие активных RUS-пунктов.

Критериями исключения были:

Переезд в другой регион – 3

Отсутствие заключения врача о допуске к тренировкам – 2

Отказ спортсмена от участия в исследовании – 2

Возрастной критерий – 5

Нарушение протокола исследования – 8

Таким образом, в исследование были включены спортсмены, соответствующие 10 критериям включения. Это обеспечило оптимальную однородность выборки, в том числе для реализации персонифицированного подхода к анализу результатов исследования.

В итоге для анализа была сформирована база данных по 20 спортсменам, которая включала 62 параметра, характеризующих функционально-метаболическое обеспечение адаптации в состоянии покоя, зарегистрированные

на трех этапах подготовительного периода; 20 показателей, отражающих реактивность систем организма на нагрузочное воздействие.

По результатам нагрузочного тестирования выборка из 20 лыжников-гонщиков была разделена на группы сравнения. Критерием деления был выбран показатель «относительная средняя скорость» (усредненная скорость за 1 минуту, км/ч) на 5-ой ступени эргометрического тестирования на тренажёре «Ski-Erg». Данный показатель одновременно служил и критерием оценки уровня физической работоспособности, это обосновано тем, что скорость является интегральной количественной мерой функциональной мощности и рабочей эффективности спортивных локомоций (Солопов И.Н. и соавт., 2010; Уйба, 2018; Быков Е.В. и соавт., 2019), эмпирически доказана прямая связь средней скорости на дистанции с результатом соревновательной деятельности в лыжных гонках (Sandbakk Ø. et al., 2011; Holmberg НС., 2017).

Разделение спортсменов на группы сравнения проводилось по принципу, обоснованному в методических рекомендациях ФГБУ «Федерального научно-клинического центра спортивной медицины и реабилитации ФМБА» (под ред. Уйба В.В., 2018).

Показатель относительной скорости (v), рассчитываемый по формуле (1),

$$v = \frac{(V_{\text{инд.}} - V_{\text{гр.}})}{V_{\text{гр.}}} \quad (1)$$

где, $V_{\text{инд.}}$ – скорость конкретного спортсмена на ступени максимальной интенсивности; $V_{\text{гр.}}$ – средняя скорость по группе на данной ступени.

Значение $v > 0$ указывает на то, что скорость спортсмена превышает средне групповой уровень, а $v < 0$ – что она ниже средне группового показателя (рис. 2).

На основании относительной скорости спортсмены со значением диапазона от +0,001 до +0,075 составили выборку 1-й группы («лидеры», $n=10$) со спортивной квалификацией от первого разряда ($n=1$), кандидатов ($n=2$) и мастеров спорта ($n=7$).

Выборку 2-й группы («резерв», $n=10$) составили спортсмены с значением относительной скорости в диапазоне от $-0,001$ до $-0,148$. В составе группы были представлены лыжники-гонщики спортивной квалификации: I разряд ($n=7$), КМС ($n=2$) и МС ($n=1$).

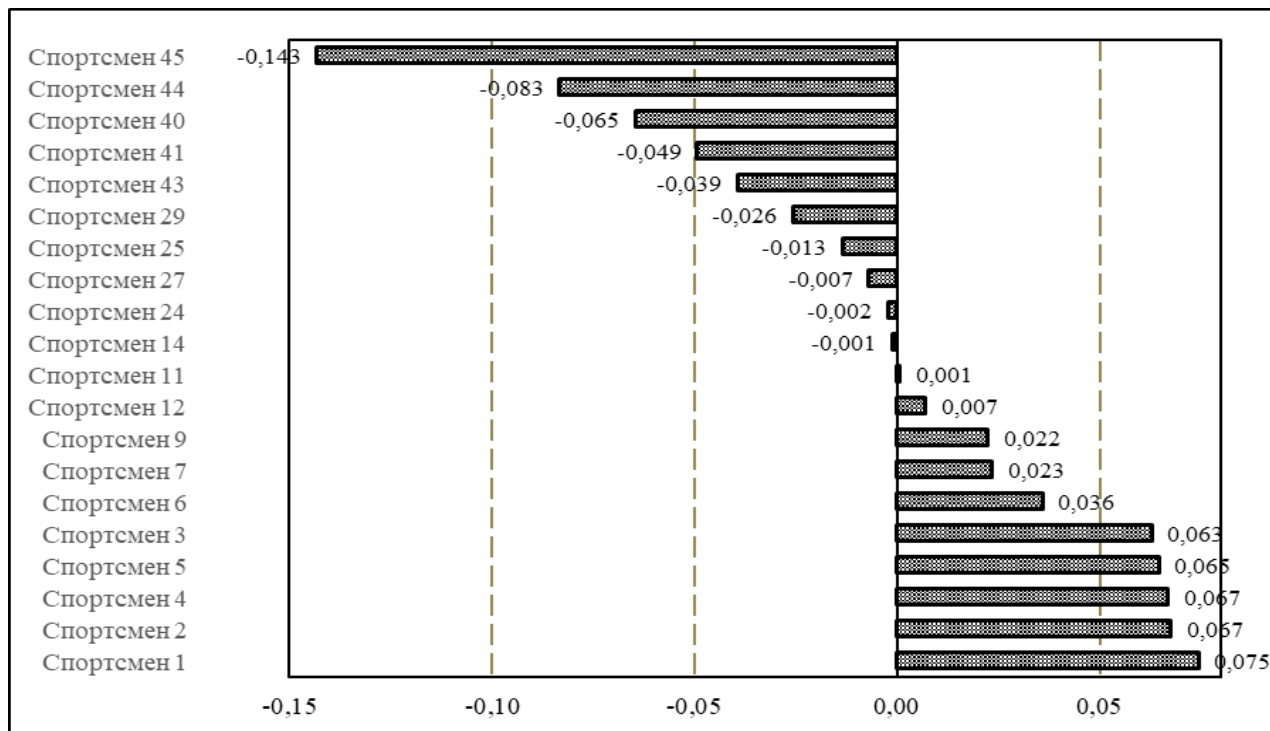


Рисунок 2 – Диаграмма распределения ($n=20$) лыжников-гонщиков на группы по значениям относительной скорости (v) в нагрузочном тестировании на лыжном эргометре

На третьем (2021 – 2023 гг.) – аналитическом этапе проводилась статистическая обработка и количественно-качественный анализ результатов исследования по каждому этапу подготовительного периода с учетом дифференцированных групп по уровню физической работоспособности; систематизация и интерпретация персонифицированных результатов исследования; разработка рекомендаций; подготовка и публикация статей; выступления с докладами на научных форумах.

На четвертом этапе (2024 – 2025 гг.) подготовка и публикация статей по групповому и персонифицированному анализу функционально-метаболического статуса лыжников-гонщиков; выступления с пленарными

докладами на научных форумах; формулирование выводов и практических рекомендаций, оформление текста диссертации и написание автореферата.

2.1. Инструментальные методы исследования

2.2.1. Оценка компонентного состава тела

Определение компонентного состава тела проводили на каждом этапе подготовительного периода. Параметры компонентного состава тела анализировали на основе биоэлектрического импеданса с помощью анализатора Tanita BC-418MA (регистрационное удостоверение ФС № 2005/806). Биоимпедансный анализ дает возможность оценить широкий спектр морфологических и физиологических параметров организма. На основе измерения активного и реактивного сопротивления тканей рассчитываются характеристики состава тела: масса тела (кг); процентное содержание жировой ткани (%); индекс массы тела (усл. ед.); масса не жировых тканей (костная, мышечная ткань, жидкость) (кг); метаболические показатели (основной обмен) (Ккал, кДж) (Николаев Д.В. с соавт., 2009).

2.2.2. Количественно-качественная оценка клеточного состава системы крови

Забор венозной крови спортсменов проводили в лицензированной лаборатории медицинского центра ЮУрГУ с 8.00 до 9.00 часов, строго натощак, на каждом этапе подготовительного периода. Оценку параметров количественно-качественного клеточного состава крови проводили на автоматическом гематологическом анализаторе Sysmex XN-1000 (Sysmex, Япония). Прибор позволяет выполнять количественный анализ, идентификацию, определять уровень присутствия компонентов и отмечать имеющиеся в заметных количествах компоненты крови.

2.2.3 Количественно-качественная оценка биохимических компонентов плазмы крови

Количественно-качественную оценку биохимических компонентов плазмы крови проводили на каждом этапе подготовительного периода.

Исследование выполняли на автоматических биохимических анализаторах Roche Cobas c501 и Roche Cobas c8000 (Roche Diagnostics, Швейцария), представляющих собой модульные системы с фотометрической и ион-селективной электродной технологией.

2.2.4. Оценка содержания гормонов-регуляторов

Определение содержания гормонов-регуляторов функционально-метаболического состояния организма проводили на каждом этапе подготовительного периода.

Измерения проводили иммунохемилюминесцентным методом на автоматическом анализаторе Roche Cobas e601 (Roche Diagnostics, Швейцария). Уровень кортизола был выражен в микрограммах на децилитр (мкг/дл), а уровень общего тестостерона – в нанogramмах на миллилитр (нг/мл). Для расчета индекса анаболизма ($ИА = T/K$) концентрации гормонов были переведены в единицы Международной системы (СИ) с применением стандартных коэффициентов: 3,476 для тестостерона (исходно в нг/мл) и 27,59 для кортизола (исходно в мкг/дл) (Князев Ю.А., Беспалова В.А., 2000).

2.2.5. Оценка функционального состояния системы гемодинамики

Показателями, отражающими функции сердечнососудистой системы, уровень обменных и энергетических процессов в организме, являются: ЧСС, систолическое и диастолическое артериальное давление (САД и ДАД), ударный объем крови (УО, мл), минутный объем кровообращения (МОК, л/мин); общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, $\text{Па} \cdot \text{мл}^{-1}$). Показатели ЧСС, САД и ДАД регистрировали 2 раза в неделю на каждом этапе подготовительного периода. Измерения проводили в положении лежа сразу после утреннего пробуждения с помощью автоматического осциллометрического тонометра OMRON M2 Basic (Япония) в соответствии с протоколом оценки базальных значений, применяемым в исследованиях с суточным мониторингом АД (Рогоза А.Н. с соавт., 1997).

Интегральные показатели функционального состояния ССС оценивали с применением физиологически обоснованных расчетных формул (Пестряев В.А. с соавт., 2013), повышающих точность определения МОК и ОПСС.

ОПСС рассчитывали по формуле: $ОПСС = K \cdot ДАД \cdot (Т_{сц} - Т_{пи}) / Т_{пи}$, где ДАД – диастолическое артериальное давление; $Т_{сц}$ – период сердечного цикла, вычисляемый по формуле $Т_{сц} = 60 / ЧСС$; $Т_{пи}$ – период изгнания, вычисляемый по формуле $Т_{пи} = 0,268 \cdot Т_{сц}^{0,36} \approx Т_{сц} \cdot 0,109 + 0,159$; K – коэффициент пропорциональности, зависящий от массы тела (МТ), длины тела (Р) и пола человека. МОК рассчитывали по уравнению: $МОК = Ср.Да \cdot 133,32 \cdot 60 / ОПСС$, где Ср.Да – среднее давление в аорте, вычисляемое по формуле: $Ср.Да = (САД + ДАД) / 3$; 133,32 – количество Па в 1 мм рт.ст.

Примеры расчетных МОК (РМОК) у 10 здоровых испытуемых в возрасте 18-23 лет были сопоставлены с величиной МОК, определенного с помощью неинвазивной мониторной системы «МАРГ 10-01» (Микролюкс, Челябинск), в основе работы которой лежит метод тетраполярной биоимпедансной реокардиографии. Результаты показали, что среднее отклонение между величинами расчетного и измеренного МОК составило 2,79%, что характеризует точность метода.

2.2.6. Оценка эхо-кардиографических параметров

Морфометрические показатели сердца определяли по трансторакальной эхокардиографии на аппарате Mindray DC-70 (Китай) в соответствии с международными эхокардиографическими протоколами. Оценка линейных и объемных показателей камер сердца проводилась на основании норм международных рекомендаций (Lang et al., 2015), в конце специально-подготовительного периода. Были оценены следующие параметры: размер (ЛП, см) и объем (ЛП, мл) левого предсердия; конечно-диастолический размер и объем (КДР, см) и (КДО, мл) левого желудочка (ЛЖ); конечно-систолический размер и объем (КСР, см) и (КСО, мл) ЛЖ; толщина задней стенки ЛЖ (ТЗСЛЖ, см) и межжелудочковой перегородки (ТМЖП, см); ударный объем ЛЖ (УО, мл); диаметр аорты и легочной артерии (см); масса миокарда (ММЛЖ,

г); индекс массы миокарда (ИММЛЖ, г/м²), фракция выброса (ФВ, %). Для выявления соотношения процессов дилатации и гипертрофии, дополнительно рассчитывали показатель КДО/ММЛЖ.

2.2.7. Оценка спирографических показателей функции внешнего дыхания

Функцию внешнего дыхания (ФВД) исследовали на каждом этапе подготовительного периода методом спирографии на аппарате серии «Этон» фирмы «НейроСофт» г. Иваново. Спирография проводилась в утренние часы в состоянии физиологического покоя, в положении сидя. Для правильной интерпретации результатов спирографии учитывался точный возраст, рост и масса тела обследуемых спортсменов. Определяли частоту дыхания (ЧД, движ./мин), дыхательный объем (ДО, л), жизненную емкость легких (ЖЕЛ, л), форсированную жизненную емкость легких (ФЖЕЛ, л), объем форсированного выдоха за 1 с (ОФВ₁, л), резервный объем вдоха (РОВд, л), максимальную вентиляцию легких (МВЛ, л/мин), минутный объем дыхания (МОД, л/мин).

Определение уровня нарушения проходимости крупных и мелких бронхов проводили по показателям кривой форсированного выдоха: пиковая объемная скорость (ПОС), максимальная объемная скорость при выдохе 25% ФЖЕЛ (МОС₂₅), максимальная объемная скорость при выдохе 50% ФЖЕЛ (МОС₅₀), максимальная объемная скорость при выдохе 75% ФЖЕЛ (МОС₇₅), средняя объемная скорость при выдохе 25-75 ФЖЕЛ (СОС₂₅₋₇₅), средняя объемная скорость при выдохе 75-85 ФЖЕЛ (СОС₇₅₋₈₅).

2.2.8. Оценка функционального состояния вегетативной (автономной) нервной системы

Оценка функционального состояния вегетативной (автономной) нервной системы проводилась путем анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР). Запись R-R интервалов осуществлялась в течение 2 минут в положениях лежа и стоя с использованием валидированной системы «Polar» (Финляндия), включавшей нагрудный датчик сердечного ритма «Polar H7, H10» и спортивные часы «Polar V800; Polar Vantage M; Polar Vantage V» для записи и

хранения данных. Полученные файлы с последовательностью R-R интервалов экспортировались через программное обеспечение Polar FlowSync, где рассчитывался показатель RMSSD (квадратный корень из среднего квадрата разностей между последовательными нормальными R-R интервалами), и рассматривался в качестве активности парасимпатического (вагусного) звена вегетативной регуляции (Giles D. et al., 2016). Длительность записи (2 минуты) была выбрана в соответствии с международными стандартами измерения BCP, согласно которым короткие записи продолжительностью от 30 секунд до 5 минут достаточны для проведения временного анализа, включая расчет показателя RMSSD (Lombardi, F. et al., 1996; Bourdillon N., et al., 2017). **RMSSD** является наиболее устойчивым показателем, а исследования подтверждают высокую корреляцию между 5-минутным RMSSD и записями продолжительностью 1-2 минуты, а при спокойном состоянии – даже 30 секунд. Для валидности коротких записей (ultrashort-term HRV) необходим спокойный, стационарный сигнал (обычно лежа или сидя) (Shaffer F., Ginsberg J.P., 2017).

2.2.9. Функциональные и нагрузочные пробы

Функциональные и нагрузочные пробы: эргометрия на ручном лыжном тренажере, на беговой безмоторной дорожке и активная ортостатическая проба описаны в соответствующих разделах диссертации (2.1).

2.3. Математико-статистические методы исследования

2.3.1. Методы описательной статистики

Статистическая обработка данных исследования проводилась при помощи пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics v.23. Анализируемые показатели были подвергнуты проверке на нормальность распределения с использованием критерия Шапиро-Уилка (W). Для оценки вариабельности данных рассчитывался коэффициент вариации (Cv, %). Значения исследуемых показателей были представлены в виде медианы и межквартильного размаха в формате Me [Q1; Q3].

2.3.2. Сравнительный анализ

Сравнение групп обследования по количественным признакам проводилось с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$ – *; уровень $p < 0,01$ – ** расценивался как показатель высокой значимости, а $p < 0,001$ – *** – как показатель очень высокой статистической значимости.

2.3.3. Корреляционный анализ

Для выявления и количественной оценки силы направленных связей между ключевыми параметрами, характеризующими механизмы адаптации, был проведён корреляционный анализ. Для расчёта был выбран непараметрический коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ). Данный метод оценивает монотонную зависимость между переменными, что делает его адекватным для анализа нелинейных, но направленных связей, ожидаемых в физиологических данных. Коэффициент рассчитывался для заданных пар переменных, отобранных на основе теоретической модели исследуемых адаптационных процессов. Сила корреляционной связи интерпретировалась в соответствии с общепринятой шкалой: значение $|\rho| < 0,30$ считалось слабой связью, $|\rho|$ от 0,30 до 0,70 – связью средней силы, $|\rho| > 0,70$ – сильной связью. 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 достоверности соответственно. Визуализация структуры значимых корреляционных связей была представлена в виде таблиц и графиков рассеяния.

2.3.4. Факторный анализ

Для снижения размерности данных и выявления латентных признаков был применен факторный анализ. При выполнении факторного анализа вращение было задано по типу «варимакс с нормализацией Кайзера. Для извлечения факторов использовался метод главных компонент, отбор факторов для интерпретации проводился на основе критерия Кайзера (собственное значение > 1). Число значимых факторов оценивали на основании следующих

критериев: учитывали суммарную дисперсию более 50 – 60% от общей дисперсии признаков (критерий объясняемой дисперсии), когда последующий незначимый фактор увеличивал суммарную дисперсию не более чем на 5% (Криволапчук И.А., Чернова М.Б., 2019). В анализ были включены 62 параметра, характеризующих функционально-метаболическое обеспечение работоспособности спортсменов: показатели компонентного состава тела, клеточные и биохимические показатели системы крови; объемные и скоростные показатели функции внешнего дыхания; маркеры и гормональные регуляторы метаболического и энергетического обмена; показатели центрального и периферического кровообращения; тонуса парасимпатического звена вегетативной регуляции.

2.3.5. Кластерный анализ

Для объективного разделения лыжников-гонщиков на группы с различным уровнем функционального резерва парасимпатической нервной системы на основе объективных данных был применён алгоритм машинного обучения – кластерный анализ (К-средних / K-means). В качестве входного параметра использовался индекс PVNS. Для определения оптимального количества кластеров (k) проводился серийный запуск алгоритма К-средних с различными значениями k. Качество и интерпретируемость полученных кластерных решений сравнивались на основе анализа дистанций между конечными центрами кластеров, представленных в выходной таблице SPSS, и изменения внутригрупповых сумм квадратов ошибок. На основании этого анализа было выбрано решение с k=3 как наиболее устойчивое.

2.3.6. Регрессионный анализ

Регрессионный анализ использовался для моделирования количественных взаимосвязей между переменными и прогнозирования значений зависимого показателя на основе одного или нескольких предикторов (независимых переменных). В ходе анализа оценивались стандартизированные коэффициенты Beta (β), позволяющие сравнивать относительную силу влияния различных предикторов. Для оценки общей объяснительной способности модели

применялся коэффициент детерминации R^2 , отражающий долю дисперсии зависимой переменной, объясняемую регрессионной моделью, а также его скорректированная версия (скорректированный R^2), учитывающая число включенных в модель предикторов. Статистическая значимость регрессионной модели в целом проверялась с помощью F-критерия (ANOVA для регрессии), а значимость отдельных коэффициентов регрессии – с использованием t-критерия; критический уровень значимости был принят равным $p < 0,05$.

2.3.7. Нормализация данных методом «min-max»

Для оценки индивидуальных профилей функционально-метаболического обеспечения адаптации лыжников-гонщиков была применена нормализация «мин-макс» в интервал $[-1, 1]$ (Han J. et al., 2012) с последующим построением лепестковых диаграмм. Преобразование проводилось по формуле (2):

$$\text{норм\_знач} = 2 \cdot \frac{x - \min}{\max - \min} - 1, \quad (2)$$

где x – исходное значение признака; $\min$ – минимальное значение признака в выборке; $\max$ – максимальное значение признака в выборке; норм – нормализованное значение в диапазоне $[-1; 1]$.

В результате минимальное значение признака принимало значение -1 , максимальное – $+1$, а среднее значение исходного диапазона соответствовало нулю.

ГЛАВА 3. УРОВЕНЬ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СПОРТСМЕНОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА И КРИТЕРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫБОРКИ ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ ДЛЯ ОЦЕКИ ЕЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Для обеспечения высокой результативности спортсмена и его спортивного долголетия необходим физиологически обоснованный подход в определении тренировочных и соревновательных нагрузок, формирующих высокий уровень общих и специфических резервных возможностей, доминирующих систем обеспечения спортивной деятельности (Лидов П.И. с соавт., 2017). Подготовка спортивного резерва в сборные команды требует научно обоснованной оценки резервных возможностей и успешной соревновательной деятельности на основе биологической надежности функциональных систем организма (Эрлих В.В. с соавт., 2012). Параметры физической работоспособности являются одним из ключевых компонентов функциональной готовности спортсмена к тренировочно-соревновательной деятельности (Разинкин С.М., с соавт., 2016; Голобородько Е.В. с соавт., 2018).

3.1. Оценка реактивности системы гемодинамики при нагрузочном тестировании и уровня физической работоспособности у спортсменов циклических видов спорта

На основании показателя относительной скорости (v) на ступени максимальной интенсивности нагрузочного тестирования, рассчитанного для каждого спортсмена по формуле (см. раздел 2.1), были сформированы две группы. Первую группу ($n=61$) составили спортсмены с положительными значениями данного показателя (> 0), что соответствует более высокому уровню физической работоспособности; во вторую группу ($n=30$) вошли атлеты с отрицательными значениями показателя, демонстрирующие более низкий уровень физической работоспособности.

Показатели функциональных параметров, полученных при проведении нагрузочного тестирования, были проверены на нормальность распределения с использованием критерия Шапиро-Уилка (W), который показал отсутствие соответствия. В связи, с чем результаты анализировались с использованием непараметрических методов и представлены в виде медианы и 25- и 75-й перцентилей Me [Q1; Q3]. Для проверки статистической значимости данных применялся непараметрический критерий Манна-Уитни (U).

Медианное значение скорости и межквартильный размах Me [Q1; Q3] на пятой ступени при нагрузочном тестировании у спортсменов 1-ой группы составили 19,13 (18,69-19,66), у спортсменов 2-ой группы – 16,82 (15,75-17,47), различия были статистически значимы и составили 12,08% (табл. 2).

Значения антропометрических показателей и компонентов состава тела у спортсменов представлены в таблице 2. Значения исследуемых параметров соответствуют статистическим показателям для спортсменов циклических видов спорта, указанным в работах (Солнцева Т.Н. с соавт., 2014; Корягина Ю.В. с соавт., 2018 и др.).

Таблица 2 – Показатели антропометрии и компонентного состава тела у спортсменов циклических видов спорта, Me [Q1; Q3]

Параметр	1-ая группа (n = 61)	2-ая группа (n = 30)	Различия, p
Возраст, лет	20,00 [17,00-23,00]	18,00 [16,00; 20,00]	> 0,05
Рост, см	180,00 [178,00; 182,00]	181,00 [179,00; 183,00]	> 0,05
МТ, кг	71,80 [64,75; 73,50]	77,10 [71,90; 80,10]	< 0,05
ОЖМ, %	8,20 [5,60; 10,35]	11,40 [8,60; 13,00]	< 0,05
БМТ, кг	60,90 [57,95; 64,00]	63,70 [62,40; 67,90]	< 0,05
ИМТ, усл.ед.	21,60 [19,45; 23,15]	23,40 [21,80; 24,20]	< 0,05

Примечание: МТ – масса тела; ОЖМ – относительная жировая масса; БМТ – безжировая масса тела; ИМТ – индекс массы тела.

Показатели возраста и роста спортсменов не имели статистически значимых различий. Анализ массы и показателей компонентного состава тела между группами спортсменов выявил особенности, в частности значения параметров общей массы, относительной жировой массы, безжировой массы тела и ИМТ были значимо выше во 2-ой группе, по сравнению с 1-ой, особенно высокое различие было по относительной жировой массе (39,02%).

Выявленные особенности были обусловлены распределением в группах спортсменов лыжников, атлетов и пловцов.

Так, во 2-ой группе обследования более высокая масса тела была обусловлена значительной численностью пловцов (16/53,33%), что и определило межгрупповые различия по этому параметру. При этом доля легкоатлетов составила 30,00%, а лыжников 16,66%. В первой группе доля пловцов составила 9,83%, легкоатлетов – 14,75% и лыжников – 75,41%.

Результаты медианных значений скорости двигательных действий на ступенях нагрузочного тестирования отражали последовательный ее прирост по мере увеличения интенсивности нагрузки по показателям ЧСС у спортсменов обеих групп (табл. 3).

Таблица 3 – Показатели скорости (V, км/ч) при нагрузочном тестировании в группах испытуемых спортсменов, Me [Q1; Q3]

Группа	1 ступень	2 ступень	3 ступень	4 ступень	5 ступень
1-ая группа	7,78 [6,73; 9,18]	10,03 [9,09; 10,93]	11,62 [10,90; 12,87]	12,65 [12,01; 14,52]	19,13 [18,69; 19,66]
2-ая группа	7,11 [6,31; 7,62]	8,58 [7,98; 9,83]	10,01 [9,42; 10,93]	11,90 [10,87; 12,94]	16,82 [15,75; 17,47]
%	8,62	14,46	13,86	5,93	12,08
Различия, p	> 0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,001

Межгрупповые различия в скорости спортсменов, за исключением 1-ой ступени нагрузки, были статистически значимы, с максимальным процентом на второй ступени, на уровне достижения аэробного порога (АЭП).

Анализ приростов значений скорости (табл. 4) в 1-ой группе спортсменов по сравнению со 2-ой, показал значимое межгрупповое различие на 5-ой ступени тестирования (на 9,90%). Внутригрупповые приросты скорости преодоления нагрузки в обеих группах и на каждой ступени тестирования имели статистическую значимость.

Таблица 4 – Динамика значений приростов скорости (V, %) на ступенях нагрузочного тестирования у спортсменов циклических видов спорта

Группа	Прирост 1→2 ступень	Прирост 2→3 ступень	Прирост 3→4 ступень	Прирост 4→5 ступень
1-ая группа	28,92***	15,85***	8,86**	51,24***
2-ая группа	20,68***	16,67**	18,88**	41,34***

Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$.

Результаты прироста скорости на пятой ступени тестирования указывают на преимущество анаэробных возможностей организма у спортсменов 1-ой группы, где доля лыжников составила 75%.

Физиологическим параметром, отражающим реактивность организма на возрастающие изменения физической нагрузки, является показатель ЧСС. Значения ЧСС в группах испытуемых спортсменов на ступенях нагрузочного тестирования увеличивались, согласно зонам интенсивности. Важно отметить, что статистически значимых межгрупповых различий не было выявлено (табл. 5), несмотря на показатели исходного уровня ЧСС, которые имели значимое различие (10,87%).

Таблица 5 – Показатели ЧСС (уд./мин) на ступенях нагрузочного тестирования в группах испытуемых спортсменов, Ме [Q1; Q3]

Параметр	1-ая группа (n = 61)	2-ая группа (n = 30)	Различия	
			%	p
ЧСС _{исх.}	69,00 [60,00; 72,50]	76,50 [68,25; 79,75]	10,87	< 0,05
ЧСС ₁	132,60 [124,75; 135,37]	133,90 [130,82; 136,73]	0,98	> 0,05
ЧСС ₂	149,89 [146,50; 152,10]	149,52 [144,64; 150,34]	0,25	> 0,05
ЧСС ₃	165,00 [160,51; 167,37]	164,82 [161,60; 165,94]	0,11	> 0,05
ЧСС ₄	174,79 [171,47; 178,00]	175,94 [171,10; 177,46]	0,66	> 0,05
ЧСС ₅	192,00 [189,75; 196,25]	193,00 [187,50; 199,50]	0,52	> 0,05

На всех ступенях тестирования медианные показатели ЧСС спортсменов были равнозначными и максимальные их значения на 5-ой ступени в обеих группах оказались практически равными, но с большим межквартильным сдвигом в сторону увеличения во 2-ой группе спортсменов. Однако спортсмены при одинаковой интенсивности нагрузки по ЧСС демонстрировали разную скорость двигательных действий.

Анализ значений приростов ЧСС, представленных в таблице 6, у испытуемых 1-ой и 2-ой групп показал статистически значимые различия на каждой последующей ступени нагрузочного тестирования, по сравнению с предыдущей. Межгрупповые значения прироста ЧСС значимо различались только на второй ступени тестирования (уровень достижения АЭП).

Таблица 6 – Динамика значений приростов ЧСС (%) на ступенях нагрузочного тестирования у спортсменов циклических видов спорта

Параметр	1-ая группа (n = 61)	2-ая группа (n = 30)	Межгрупповые различия	
			%	p
$\Delta\text{ЧСС}_{\text{исх.-1}}$	92,17***	75,03***	18,60	<0,05
$\Delta\text{ЧСС}_{1-2}$	13,04**	11,67**	10,51	>0,05
$\Delta\text{ЧСС}_{2-3}$	10,08**	10,23**	1,39	> 0,05
$\Delta\text{ЧСС}_{3-4}$	5,93*	6,72*	13,32	> 0,05
$\Delta\text{ЧСС}_{4-5}$	9,85**	9,70**	1,52	> 0,05

Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$.

Одним из важных интегральных показателей состояния системы кровообращения является уровень АД, абсолютные значения которого не в полной мере позволяют судить об объемной скорости кровотока в сосудах (Martin S.A., Hadmaş R.M., 2019). К наиболее информативным факторам относят динамику приростов артериального давления (Мавлиев Ф.А. с соавт., 2020). Нами была проанализирована динамика значений артериального давления (АД), определяющего транскапиллярный обмен. Медианы значений САД и ДАД на первых 30 секундах после каждой нагрузочной ступени, не имели статистически значимых межгрупповых различий (табл. 7, 8), но межквартильный размах в обеих группах был значительным.

Таблица 7 – Показатели САД между ступенями нагрузочного тестирования у спортсменов циклических видов спорта, Ме [Q1; Q3]

Параметр	1-ая группа (n = 61)	2-ая группа (n = 30)	Различия, p
САД _{исх.}	128,00 [121,00; 136,25]	132,00 [123,00; 138,00]	> 0,05
САД ₁	155,00 [144,00; 164,50]	156,00 [146,00; 163,00]	> 0,05
САД ₂	162,50 [156,50; 177,75]	168,00 [159,00; 174,00]	> 0,05
САД ₃	175,50 [162,75; 189,50]	173,00 [167,00; 180,00]	> 0,05
САД ₄	182,00 [169,50; 193,00]	181,00 [165,00; 192,00]	> 0,05
САД ₅	185,50 [173,00; 192,25]	179,00 [171,00; 185,00]	> 0,05

Проведенный анализ динамики САД, представленный в таблице 10, показывает одинаковую реакцию сердечно-сосудистой системы на возрастающую физическую нагрузку, выражающаяся в закономерном повышении показателей давления от ступени к ступени. Стоит отметить, что на пятой ступени нагрузки 2-ой группе спортсменов наблюдается незначительное

снижение медианного значения, по сравнению с предыдущей ступенью ($p > 0,05$). Анализ динамики значений ДАД, представленный в таблице 11, демонстрирует отсутствие статистически значимых межгрупповых различий на всех ступенях нагрузочного тестирования. В обеих группах наблюдается общая тенденция к умеренному росту ДАД в ответ на физическую нагрузку, хотя этот рост выражен менее значительно и стабильно, чем для САД.

Таблица 8 – Показатели ДАД между ступенями нагрузочного тестирования у спортсменов циклических видов спорта, Ме [Q1; Q3]

Параметр	1-ая группа (n = 61)	2-ая группа (n = 30)	Различия, p
ДАД _{исх.}	71,50 [65,75; 79,25]	73,00 [66,00; 79,00]	> 0,05
ДАД ₁	75,00 [72,50; 81,50]	80,00 [72,00; 83,00]	> 0,05
ДАД ₂	76,00 [68,50; 84,25]	78,00 [74,00; 86,00]	> 0,05
ДАД ₃	80,00 [73,00; 88,75]	79,00 [74,00; 86,00]	> 0,05
ДАД ₄	81,00 [73,00; 90,00]	84,00 [78,00; 89,00]	> 0,05
ДАД ₅	80,50 [71,25; 90,25]	77,00 [68,00; 85,00]	> 0,05

Интегральным показателем тонуса всех артериол организма является общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС) (Гуревич О.О. с соавт., 2015). Считается, что меньшие значения ОПСС свидетельствуют о повышении емкости кровеносного русла за счет увеличения числа функционирующих микрососудов, обеспечивающих перераспределение кровотока в скелетную мускулатуру (Айзятулова Е.Д. с соавт., 2019).

Анализ значений медианы показателя ОПСС, представленный в таблице 9, выявил статистически значимое различие только в состоянии покоя, где у спортсменов 1-ой группы ОПСС было на 19,4% выше, чем у второй 2-ой группы ($p < 0,05$).

Таблица 9 – Показатели ОПСС (Па·мл⁻¹) между ступенями нагрузочного тестирования у спортсменов циклических видов спорта, Ме [Q1; Q3]

Параметр	1-ая группа	2-ая группа	Различия, p
ОПСС _{исх.}	123,00 [106,75; 142,25]	103,00 [96,00; 124,00]	< 0,05
ОПСС ₁	100,63 [98,29; 112,05]	89,58 [84,58; 102,56]	> 0,05
ОПСС ₂	89,51 [80,72; 115,71]	89,72 [76,19; 98,43]	> 0,05
ОПСС ₃	85,00 [74,26; 97,90]	77,17 [71,57; 83,88]	> 0,05
ОПСС ₄	74,67 [67,70; 86,79]	76,56 [59,10; 80,10]	> 0,05
ОПСС ₅	55,53 [49,01; 65,06]	52,10 [45,15; 58,81]	> 0,05

Со второй ступени это межгрупповые различия становятся не значимыми, и обе группы демонстрируют идентичную, физиологическую реакцию – выраженное и прогрессирующее снижение ОПСС. К пятой ступени сопротивление в обеих группах падает более чем в два раза по сравнению с исходным уровнем.

Далее на рисунке 3 представлена динамика приростов гемодинамических параметров, которая в 1-ой группе спортсменов носила нисходящий характер от максимального прироста САД на 21,09% ($p < 0,001$) на первой ступени от фоновых показателей, до 1,92% к 5-ой ступени тестирования. Диастолическое давление отражало физиологические изменения приростов, в пределах 5%, характерных для квалифицированных спортсменов.

У спортсменов 1-ой группы выявлено снижение показателей ОПСС с минимальным значением на 3-ей ступени ($p > 0,05$) и максимумами на 1-ой ($p < 0,001$) и 5-ой ($p < 0,001$) ступени тестирования. Значимое снижение ОПСС наблюдалось от 3-ой к 4-ой ступени нагрузки ($p < 0,05$). Данные изменения гемодинамических параметров отражают адекватную реактивность системы кровообращения на ступенчато возрастающие нагрузки у спортсменов с более высокими показателями скорости.

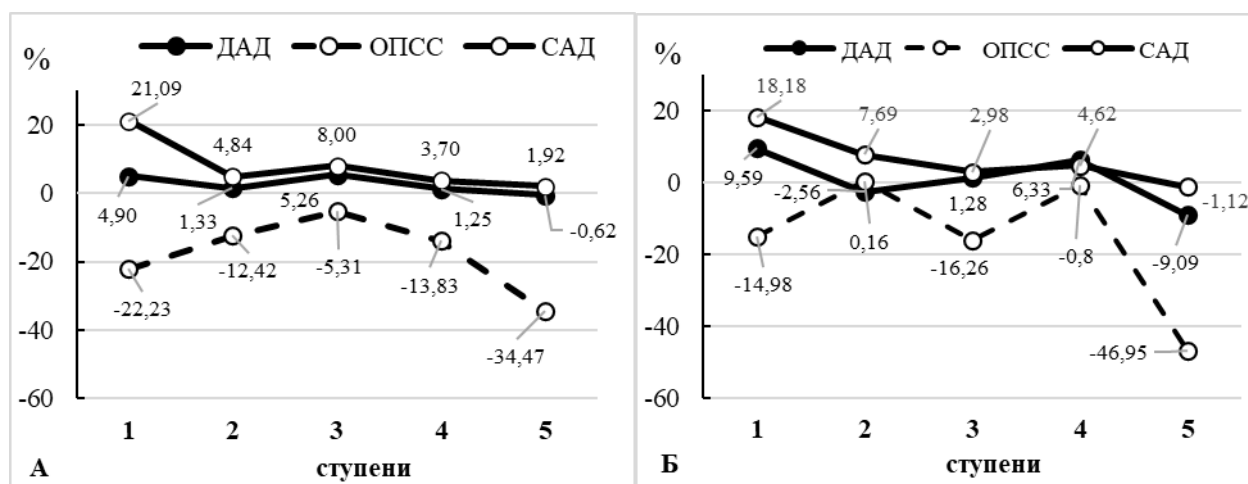


Рисунок 3 – Динамика значений приростов САД, ДАД и ОПСС (%) между ступенями нагрузочного тестирования у спортсменов циклических видов спорта А) – первая группа; Б) – вторая группа

Во 2-ой группе спортсменов приросты систолического и диастолического АД были аналогичны динамике показателей спортсменов 1-ой группы до 4-ой ступени тестирования. Отличительной особенностью явилась тенденция снижения приростов САД и ДАД, относительно значений у спортсменов 1-ой группы к 5-ой ступени нагрузки. Показатели ОПСС у спортсменов 2-ой группы изменялись фазно, снижение сменялось повышением показателя на 2-ой и 4-ой ступенях нагрузки, что указывает на нестабильность перераспределения кровотока в скелетной мускулатуре. На 5-ой ступени отмечается максимальное снижение показателя ОПСС ($p < 0,001$), которое на 12,48% выше, чем у представителей 1-ой группы спортсменов. Выявленная реакция гемодинамической системы по значениям параметра ОПСС у спортсменов 2-ой группы, с относительно более низкими показателями скорости, отражает ее фазный характер с максимальным снижением на 5-ой ступени нагрузки. Такая реактивность системы гемодинамики отражает компенсаторную реакцию, направленную на повышение венозного возврата крови. Адаптация к высокоинтенсивной нагрузке может выражаться значительным объёмом крови, протекающим прямо из артерии в вену (артериовенозный шунт), что приводит к резкому снижению общего периферического сопротивления, которое мы наблюдали у спортсменов 2-ой группы.

Такая ситуация указывает на снижение числа функционирующих микрососудов, обеспечивающих перераспределение кровотока в скелетную мускулатуру, что затрудняет адекватное обеспечение мышц кислородом во время физической нагрузки. Значительное повышение общего объема циклической нагрузки в предсоревновательном мезоцикле специально-подготовительного этапа, соответственно увеличивает и нагрузку на сердечнососудистую систему (Руль Е.А., Кудря О.Н., 2021), которая является лимитирующим фактором спортивного результата.

Таким образом, результаты исследования указывают, что наиболее реактивным параметром системы гемодинамики у спортсменов циклических видов спорта при нагрузочном тестировании на беговой безмоторной дорожке

оказалось периферическое сопротивление сосудов. Следовательно, механизмы венозного возврата крови в условиях нагрузочного тестирования у спортсменов первой и второй группы различаются. Представленные нами результаты нагрузочного тестирования, проведенного с участием спортсменов разных циклических видов спорта, дифференцированных на группы по скорости двигательных действий, указывают, что при оценке функционально-метаболического обеспечения работоспособности спортсменов, включение в формируемую выборку представителей разных видов спорта, может привести к искажению результатов и их интерпретации. Адаптивные процессы и механизмы их обеспечения характеризуются специфическими особенностями для спортсменов, специализирующихся в конкретных видах спорта.

Материалы данного раздела представлены в статье: Бахарева, А.С. Реактивность системы гемодинамики у спортсменов циклических видов спорта при нагрузочном тестировании /А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, Ю.Н. Романов // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т.8, порядковый №2.

Влияние на результаты исследования физиологических особенностей организма пловцов, спортивная деятельность которых отличает ее от физической работы в условиях воздушной среды, обусловлено механическими факторами, связанными с движением в плотной водной среде и горизонтальным положением тела. При этом, горизонтальное положение тела пловца существенно влияет на работу сердца и легких, что позволяет пловцу длительно выполнять большой объем работы в воде, и которую на суше он выполнить не может (Хорькова А.С., Адилев В. О., 2016). В покое пловцы по сравнению с лыжниками имеют более высокие показатели центрального и периферического систолического и пульсового давления, низкие значения аугментации, что говорит о более высокой эластичности артерий и длительности диастолы, обеспечивающей лучшую перфузию миокарда (Комлягина Т.Г. с соавт., 2024).

Влияние на результаты исследования физиологических особенностей организма легкоатлетов-бегунов определяется физиологическими

предикторами выносливости – более низкий индекс массы тела, более высокие функциональные свойства нижних конечностей, вентиляционный порог (Корягина Ю.В., Симонова К. Ю., 2016). Кроме того, адаптивные особенности организма бегунов формируются в условиях многолетнего воздействия средних оптимальных температур внешней среды. В исследованной нами группе легкоатлетов индекс массы тела и его относительная жировая масса были ниже, чем средние групповые показатели на 15,05% и 15,13% (ИМТ= 18,37 и 21,60; ОЖМТ= 6,96% и 8,20%, соответственно).

Учитывая влияние на результаты исследования морфологических и физиологических особенностей организма спортсменов, специализирующихся в плавании и легкоатлетов-бегунов, для получения более однородной группы спортсменов, мы исключили из анализа показатели пловцов и легкоатлетов в обеих группах обследования.

3.2. Физиологическое обоснование отбора лыжников-гонщиков, претендентов в сборную молодежную команду Челябинской области и Российской Федерации

Изменчивость значимых параметров субъекта исследования, которые могут существенно повлиять на зависимую переменную, нивелируется с увеличением однородности выборки. При отборе спортсменов в основную выборку, мы учитывали требования, предъявляемые к формированию групп обследования в физиологических исследованиях. Достаточным числом испытуемых однородной выборки принято считать не менее ($n = 10$) и не более ($n = 30$). При отборе в выборке обязательно должны быть представлены испытуемые с определённым набором характеристик (Макарова Н.В., 2012; Куренкова Г.В. с соавт., 2022). В нашей выборке набор характеристик включал: пол, возраст, спортивный стаж, антропометрические данные, уровень исходной работоспособности, исходный автономный тип регуляции.

Предварительный анализ состава выборки показал, что место спортсмена в рейтинге не определяется однозначно его спортивной квалификацией и не

может выступать достаточно объективным критерием для отбора кандидатов в сборную команду или группу резерва. Места на дистанции RUS-пункт, например, распределялись: у МС – 42 или 258; у КМС 136 или 300; у I разрядника – 330 или 929 место, что не согласуется со спортивной квалификацией спортсменов.

Интегральным показателем функциональной подготовленности спортсменов является уровень их физический работоспособности, для выявления которого в конце специально-подготовительных этапов проводилось модифицированное нагрузочное тестирование на ручном лыжном эргометре. Выбор технологии тестирования, определялся нами с позиции информативности и эффективности ее применения для оценки динамических характеристик физической работоспособности, с учетом нагрузки, специфической для лыжников-гонщиков. Показано, что у лыжников-гонщиков с ростом квалификации более выражена связь между спортивным результатом и показателями работоспособности при работе руками (Феофилактов В.В. с соавт., 2011, 2015). Пиковое потребление кислорода при работе руками приближается к показателю МПК данного спортсмена при беге на роллерах и у элитного лыжника составляет 86–95%. Скоростно-силовые показатели при работе руками составляют у квалифицированных спортсменов 70–75% от показателей ног (Calbet J.A.L. et al., 2005; Seiler K.S., Kjerland G.O., 2006). Выбранный нами подход был подтвержден исследованиями сотрудников ФМБА при анализе данных специфического и неспецифического нагрузочного тестирования при оценке физической работоспособности спортсменов (Киш А.А. с соавт., 2021).

По результатам поэтапного контроля функционально-метаболического статуса (2018-2020 гг.) и эргометрического тестирования в конце специально-подготовительного периода была сформирована выборка спортсменов, соответствующая 10 критериям отбора (раздел диссертации 2.1). Возрастной диапазон спортсменов, включенных нами в выборку, был определен исходя из ряда установленных половозрастных физиологических особенностей:

– активное функциональное половозрастное созревание у спортсменов завершается к 19 годам, в том числе под влиянием систематических физических нагрузок (Фомин Н.А., Дятлова Н.Н., 2002);

– в первом зрелом возрасте у спортсменов, тренирующих аэробную выносливость, достигается наибольшая эффективность регуляции ССС, наибольшую реактивность проявляет дыхательная система, у мужчин достигается наибольшая эффективность гормональных механизмов мобилизации функций энергообеспечения (Погодина С.В., 2017);

– период от 19 до 23 лет характеризуется приоритетным формированием у спортсменов циклических видов спорта скоростно-силового компонента физической работоспособности, что означает организм лыжников «дозревает» до необходимых кондиций (Плохой В.Н., 2018).

Нами показано, что выборки спортсменов, разделенных на возрастные группы 16-18 лет (стаж занятий 5 лет) и 19-23 года (стаж от 5-ти до 10 лет), характеризуются особенностями кардиоремоделирования, что существенно отражается на функционально-метаболическом обеспечении физической работоспособности (табл. 10).

Таблица 10 – Медианные значения эхокардиографических параметров у лыжников-гонщиков 16-18 лет (n = 20) и 19–23 лет (n = 15) (Ярышева В.Б., 2022)

Параметр, ед. изм.	Возрастная группа	
	19-23 года	16-18 лет
Размер ЛП, см	3,56	3,09
Конечный диастол. размер ЛЖ, см	5,69	5,08
Конечный систол. размер ЛЖ, см	3,38	2,20*
Фракция выброса, %	70,93	73,50
Диаметр аорты, см	3,23	2,00*
Диаметр легочной артерии, см	2,43	1,90
Масса миокарда, г	249,78	145,00**
Индекс массы миокарда, у.е.	133,66	86,00*
Ударный объем, мл	111,92	63,00**

Примечание: ЛП – левое предсердие, ЛЖ – левый желудочек; уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$.

Анализ данных, представленных в таблице 10, свидетельствует о незавершенности морфофункционального развития сердца и сосудов у

представителей возрастной группы 16-18 лет, что и обусловило выбор для поэтапного контроля функционально-метаболического статуса лыжных гонщиков возрастную группу от 19 до 23 лет. Также мы учитывали, что в видах спорта, связанных с развитием выносливости, спортсмены достигают максимальных индивидуальных границ мощности и емкости аэробной системы энергообеспечения в возрасте 21–23 лет, вследствие больших объемов тренировочной работы соответствующей направленности. Дальнейшее увеличение достигнутых объемов тренировочной работы, не подкрепленное адаптационными ресурсами, не способствует увеличению возможностей аэробной системы энергообеспечения, но является серьезным риском для прекращения спортивной карьеры (Платонов В.Н., 2017).

Таким образом, процесс отбора лыжников-гонщиков в исследовательскую выборку был основан на последовательном применении методологических и физиологических критериев. Это обеспечило формирование однородной группы спортсменов (мужчины, 19–23 лет) с завершенной фазой кардиореспираторной адаптации, что позволяет объективно оценивать взаимосвязь их функционально-метаболического статуса с уровнем специфической работоспособности, определяемой через критерий средней скорости в нагрузочном тесте на ступени максимальной интенсивности.

3.3. Анализ показателей эргометрического тестирования и реактивности организма в группах сравнения лыжников-гонщиков в конце подготовительного периода

Физиологический смысл специально-подготовительного этапа лыжников-гонщиков заключается в регуляции процессов сочетанного аэробного и анаэробного путей освобождения энергии до оптимального уровня для данного вида спорта. С целью выявления уровня функциональной готовности спортсменов к соревновательной деятельности, в конце специально-подготовительного этапа нами был проведен стресс-тест с физической нагрузкой на ручном лыжном эргометре. Показатели мощности, скорости на

эргометре и частоты движений на ступенях нагрузочного тестирования у лыжников-гонщиков представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Показатели мощности, скорости и частоты преодоления нагрузки на ступенях нагрузочного тестирования у лыжников-гонщиков, Ме [Q1; Q3]

Группа	1 ступень	2 ступень	3 ступень	4 ступень	5 ступень
Мощность (W, Вт/кг)					
Лидеры (n=10)	1,39 [1,28; 1,51]	2,04 [1,94; 2,11]	2,62 [2,57; 2,81]	3,37 [3,25; 3,4]	5,79 [5,60; 5,90]
Резерв (n=10)	1,21 [1,11; 1,36]	1,62 [1,49; 1,76]	1,97 [1,88; 2,34]	2,34 [2,20; 2,71]	4,36 [3,80; 4,88]
%	14,88	25,93	32,99	44,02	32,80
p	< 0,05	< 0,01	<0,01	< 0,001	< 0,001
Скорость (V, км/ч)					
Лидеры (n=10)	11,95 [11,77; 12,16]	13,35 [13,15; 13,57]	14,72 [14,60; 14,96]	15,93 [15,72; 16,06]	19,12 [18,63; 19,28]
Резерв (n=10)	11,16 [10,42; 11,78]	12,21 [11,90; 13,07]	13,06 [12,97; 14,40]	13,96 [13,43; 14,70]	17,39 [15,68; 18,01]
%	7,08	9,34	12,71	14,11	9,95
p	< 0,05	< 0,01	<0,01	< 0,001	< 0,001
Частота движений (RPMs, цикл/мин)					
Лидеры (n=10)	39,31 [35,90; 40,14]	40,31 [38,56; 41,16]	42,75 [40,22; 44,37]	46,55 [42,77; 49,45]	70,31 [62,42; 77,89]
Резерв (n=10)	37,71 [36,58; 40,76]	39,96 [38,11; 46,44]	42,78 [38,09; 48,49]	44,90 [41,58; 50,94]	75,30 [66,18; 87,20]
%	4,24	0,88	0,07	3,67	6,63
p	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05	> 0,05

Анализ результатов, представленных в таблице 11, показывает, что значения мощности и скорости имели значимые межгрупповые различия на всех 5-ти ступенях нагрузочного тестирования. Межгрупповые различия нарастали от 1-ой к 4-ой ступени и сокращались на 5-ой ступени нагрузки на 11,22% и 4,16%, соответственно. Значения каденс межгрупповых различий не имели, но на 5-ой ступени тестирования в группе резерва, по сравнению со спортсменами группы лидеров, отмечена тенденция к повышению данного показателя с расширением межквартильных значений в сторону увеличения.

Значения приростов мощности, скорости и частоты двигательных действий у лыжников-гонщиков на ступенях нагрузочного тестирования представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Динамика прироста механических показателей (%) на ступенях нагрузочного тестирования у лыжников-гонщиков

Группа	Прирост 1→2 ступень	Прирост 2→3 ступень	Прирост 3→4 ступень	Прирост 4→5 ступень
Мощность (W, Вт/кг)				
Лидеры	46,76**	28,43**	28,63**	71,81***
Резерв	33,88**	21,60*	18,78*	86,32***
Скорость (V, км/ч)				
Лидеры	11,72*	10,26*	8,22	20,03**
Резерв	9,41	6,96	6,89	24,57**
Частота (RPMs, цикл/мин)				
Лидеры	2,54	6,05	8,89	51,04***
Резерв	5,97	7,06	4,96	67,71***

Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$.

Анализ динамики приростов (табл. 12) выявил, что спортсмены группы лидеров характеризовались более выраженным ответом организма на нагрузки (ступени 1-4), что проявлялось в статистически значимо больших приростах мощности и скорости при выполнении эргометрического тестирования, по сравнению с группой резерва.

Прирост скорости в группе лидеров снижался к достижению ПАНО, на уровне лактата 5,5 ммоль/л (рис. 4). Значения каденса нарастали постепенно, от ступени к ступени с достоверными различиями прироста на 5-ой ступени. В группе резерва приросты значений скорости на ступенях тестирования после достижения аэробного порога, имели иной характер, по сравнению со спортсменами группы лидеров. В частности, прирост на 3-4 ступенях стабилизировался на более низком уровне, к достижению ПАНО (лактат 4,9 ммоль/л). На 5-ой ступени прирост превысил показатель спортсменов группы лидеров на 4,54%. Приросты частоты движений с наименьшими значениями были установлены также на уровне ПАНО, а с наибольшими – на пике нагрузки и превышали показатель спортсменов группы лидеров на 16,67%.

Однако, большие приросты значений мощности, скорости и каденс от 4-ой к 5-ой ступени в группе резерва не обеспечило больших абсолютных значений скорости, которые на 5-й ступени тестирования, остались достоверно ниже, чем у лидеров (см. таблицу 12).

При этом, показатели ЧСС, как исходные, так и на каждой ступени нагрузочного тестирования не имели статистически значимых различий и соответствовали значениям, отражающим прирост нагрузки (рис. 4).

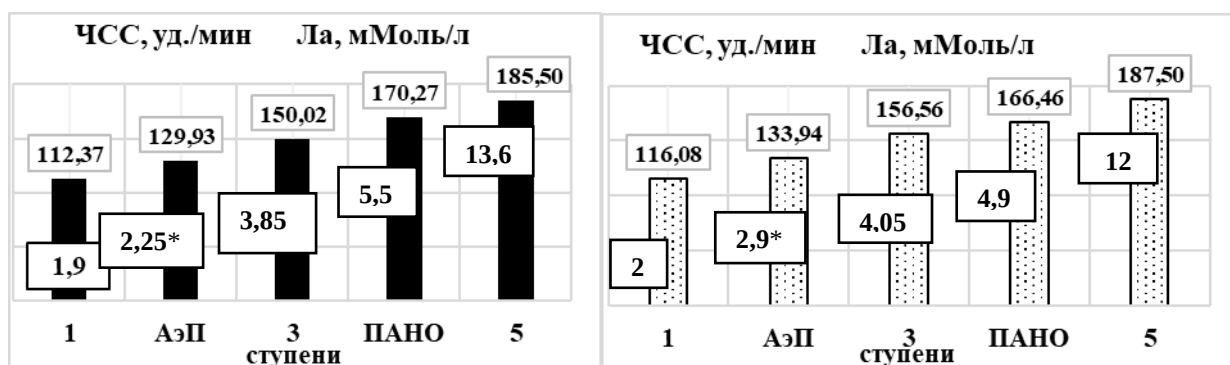


Рисунок 4 – Динамика медианных значений ЧСС (уд./мин) и концентрации лактата (ммоль/л) у лыжников-гонщиков при нагрузочном тестировании

■ группа лидеров ▨ группа резерва

Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$.

Медианные значения ЧСС на ПАНО и пикового лактата у обследованных нами спортсменов, практически совпадали с результатами действующих спортсменов сборной команды лыжников-гонщиков Российской Федерации ($163,1 \pm 7,4$). При этом, пиковые медианные значения концентрации лактата в исследуемых нами группах составили: у лидеров – 13,6 и в группе резерва 12,0 ммоль/л, что сопоставимо с показателем $11,80 \pm 1,87$, полученным в исследовании (Мякинченко П.Е. с соавт., 2022). Концентрация лактата на уровне АЭП в группе резерва, по сравнению со спортсменами группы лидеров, была выше на 28,89% ($p < 0,05$).

Далее в таблице 15 отражена динамика и величина функционально-метаболического ответа организма лыжников-гонщиков с различным уровнем физической работоспособности по значениям ЧСС и ЛА на ступенчато возрастающую нагрузку.

Анализ динамики приростов значений ЧСС на ступенях нагрузочного тестирования спортсменов (табл. 13) выявил статистически значимое межгрупповое различие приростов на 4-ой ступени нагрузки. Вероятно, стабилизация прироста скорости на этой же ступени нагрузочного тестирования

была обусловлена ограниченным приростом ЧСС у представителей группы резерва, значения которого более, чем в 2 раза были, значимо ниже.

Таблица 13 – Динамика прироста показателей ЧСС и Ла (%) на ступенях нагрузочного тестирования

Группа	Прирост 1→2 ступень	Прирост 2→3 ступень	Прирост 3→4 ступень	Прирост 4→5 ступень
ЧСС (уд./мин)				
Лидеры	15,62**	15,46**	13,50**	8,94
Резерв	15,39**	16,89**	6,32	12,65**
Ла (ммоль/л)				
Лидеры	18,42**	71,11***	42,86**	147,27***
Резерв	45,00**	39,66**	20,99**	144,90***

Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$.

Анализ динамики приростов значений концентрации Ла позволил выявить в обеих группах его рост с максимальным и высоко значимым приростом на 5-ой ступени нагрузки. При этом, у лидеров существенный прироста лактата пришелся на переход от 2-ой к 3-ей ступени, а в группе резерва наибольший прирост лактата наблюдался от 1-ой ко 2-ой ступени (до уровня ПАНО). Данный факт указывает на более раннее и интенсивное вовлечение анаэробного гликолиза даже при низкой мощности, что отражает меньший аэробный потенциал, более низкую устойчивость к лактату и меньшую экономичность работы.

Таким образом, на 4-й ступени нагрузки, соответствующей ПАНО, абсолютные значения ЧСС и Ла между группами лыжников-гонщиков статистически значимо не различались. При этом, наибольшие межгрупповые различия значений приростов уровня Ла и ЧСС были установлены при переходе от 3-ей к 4-ой ступени, которые практически в 2 раза были выше в группе лидеров ($p < 0,01$). Это объясняет, что на 4-й ступени (ПАНО) наблюдается пик отставания спортсменов группы резерва по мощности и скорости (на 44,02% и 14,11%, $p < 0,001$, соответственно).

Следовательно, лимитирующим фактором работоспособности на данной субмаксимальной интенсивности являются не центральные механизмы адаптации сердечно-сосудистой системы (доставка кислорода), а

периферические факторы: эффективность утилизации кислорода в скелетных мышцах и его артерио-венозная экстракция, а также общая экономичность работы. Однако, даже последующая полная мобилизация функционально-метаболических систем, выявленная по значительным приростам ЧСС и Ла при переходе от 4-й к 5-й ступени, не позволила группе резерва преодолеть отставание по скорости. Это свидетельствует о том, что исходный физиологический потенциал у спортсменов группы резерва объективно ниже.

Анализ гемодинамических показателей САД, ДАД, УОК на всех ступенях нагрузочного тестирования не выявил межгрупповых различий (табл. 14).

Таблица 14 – Показатели САД (мм рт.ст.), ДАД (мм рт.ст.) и УОК (мл) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков, Ме [Q1; Q3]

Параметр	Лидеры (n=10)	Резерв (n=10)	Различия	
			%	p
САД, мм рт.ст.				
САД _{исх.}	132,50 [128,75; 137,25]	135,50 [129,50; 139,25]	2,26	> 0,05
САД ₁	143,50 [140,50; 154,00]	152,50 [144,50; 155,25]	6,27	> 0,05
САД ₂	158,50 [151,00; 164,50]	156,50 [144,25; 162,00]	1,28	> 0,05
САД ₃	170,00 [165,00; 175,50]	168,50 [139,75; 174,75]	0,89	> 0,05
САД ₄	180,50 [174,50; 186,50]	170,00 [155,00; 187,75]	5,82	> 0,05
САД ₅	182,50 [172,75; 192,25]	170,50 [151,50; 181,25]	6,58	> 0,05
ДАД, мм рт.ст.				
ДАД _{исх.}	69,50 [65,75; 75,00]	75,50 [68,25; 79,00]	8,63	> 0,05
ДАД ₁	69,00 [65,00; 71,50]	66,50 [63,00; 76,00]	3,62	> 0,05
ДАД ₂	67,00 [60,25; 69,25]	67,00 [57,50; 71,50]	0,00	> 0,05
ДАД ₃	68,50 [57,75; 80,50]	68,00 [63,50; 71,00]	0,73	> 0,05
ДАД ₄	74,50 [64,50; 79,75]	66,50 [62,25; 74,50]	10,74	> 0,05
ДАД ₅	73,00 [64,75; 78,00]	75,00 [66,75; 81,25]	2,71	> 0,05
УОК, мл				
УОК _{исх.}	100,75 [97,07; 110,20]	99,95 [92,62; 102,67]	0,79	> 0,05
УОК ₁	109,60 [105,17; 113,52]	113,05 [102,52; 117,65]	3,15	> 0,05
УОК ₂	116,25 [110,27; 129,67]	116,50 [108,62; 125,85]	0,22	> 0,05
УОК ₃	116,50 [107,40; 140,27]	120,15 [102,20; 124,45]	3,13	> 0,05
УОК ₄	120,05 [108,22; 135,95]	120,90 [110,32; 133,25]	0,71	> 0,05
УОК ₅	125,90 [115,20; 142,20]	123,65 [108,77; 128,65]	1,79	> 0,05

В частности, отсутствие межгрупповых различий показателей УОК при нагрузочном тестировании, в определенной степени, можно объяснить не только общими механизмами адаптивных процессов гемодинамики на нагрузку, но и возрастом лыжников, участвовавших в исследовании. Изучение

онтогенеза кровообращения у человека показало, что при систематической мышечной деятельности у спортсменов в возрасте до 20 лет происходит увеличение мощности работы сердца. Максимальные значения ударного и минутного объемов крови, как в покое, так и при максимальной физической нагрузке наблюдаются в 20 лет, а в возрасте 21-24 лет наблюдается максимальная потенциальная работа желудочков сердца (Власов Ю.А., 1985).

В таблице 15 представлены внутригрупповые приросты значений САД, ДАД и УОК (%) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков.

Таблица 15 – Значения приростов САД, ДАД и УОК (%) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков

Параметр	Лидеры (n=10)	Резерв (n=10)	Межгрупповые различия	
			%	p
САД, %				
САД _{исх.→1}	8,30*	12,53*	4,23	> 0,05
САД _{1→2}	10,45**	2,62	7,83	> 0,05
САД _{2→3}	7,26*	7,67	0,41	> 0,05
САД _{3→4}	6,18*	0,89	5,29	> 0,05
САД _{4→5}	1,11	0,20	0,91	> 0,05
ДАД, %				
ДАД _{исх.→1}	-0,72	-13,53	12,81	> 0,05
ДАД _{1→2}	-2,99	0,75	3,74	> 0,05
ДАД _{2→3}	2,24	1,49	0,95	> 0,05
ДАД _{3→4}	8,76	-2,26	11,02	> 0,05
ДАД _{4→5}	-2,05	12,78	14,83	> 0,05
УОК, %				
УОК _{исх.→1}	8,78*	13,11*	4,33	> 0,05
УОК _{1→2}	6,07*	3,05	3,02	> 0,05
УОК _{2→3}	0,22	3,13	2,91	> 0,05
УОК _{3→4}	3,05	0,62	2,43	> 0,05
УОК _{4→5}	4,87	2,27	2,60	> 0,05

Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$.

Анализ результатов, представленных в таблице 15, позволяет заключить, что в группе лидеров прирост показателя САД был статистически значим на первых 4-х ступенях тестирования, а прирост УОК – на 1-й и 2-й ступенях. В группе резерва, напротив, статистически значимый прирост наблюдался для САД и для УОК на переходе от исходного уровня к первой ступени нагрузки. Прирост ДАД в группах спортсменов не достигал уровня статистической значимости на всех ступенях тестирования.

Полученные данные указывают на различный вариант адаптации системы кровообращения в группах спортсменов. У лидеров отмечается устойчивая мобилизация САД и УОК в ответ на нагрузку. У спортсменов группы резерва гемодинамический ответ носит неустойчивый характер, в частности, после первоначальной реакции функциональные возможности ССС не способны обеспечить статистически значимый прирост ключевых параметров (САД, УОК) по мере увеличения интенсивности, особенно в зоне ПАНО (ступени 2-4). Это согласуется с ранее выявленным пиком отставания по мощности и скорости на 4-й ступени и подтверждает гипотезу о менее эффективной адаптации системы кровообращения при нагрузке у спортсменов группы резерва.

Результаты, представленные в таблице 16 демонстрируют статистически значимое различие между группами, только на первой ступени нагрузки (МОК₁), у спортсменов группы резерва МОК был выше, практически на 21%, относительно группы лидеров.

Таблица 16 – Показатели МОК (л/мин) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков Me [Q1; Q3]

Параметр	Лидеры (n=10)	Резерв (n=10)	Различия	
			%	p
МОК _{исх.}	6,40 [5,72; 6,73]	6,62 [6,03; 7,08]	3,44	> 0,05
МОК ₁	7,87 [7,01; 8,48]	9,50 [7,79; 11,03]	20,71	< 0,05
МОК ₂	9,24 [8,50; 9,77]	10,30 [9,11; 12,00]	11,47	> 0,05
МОК ₃	12,03 [11,09; 13,39]	12,47 [10,36; 13,41]	3,66	> 0,05
МОК ₄	14,49 [13,41; 16,08]	14,51 [12,26; 17,82]	0,14	> 0,05
МОК ₅	18,55 [17,87; 20,65]	18,68 [16,96; 19,85]	0,70	> 0,05

На уровне АэП у лыжников группы резерва значения МОК₂ также превышали показатели лидеров, но на правах тенденции. На ступенях тестирования с субмаксимальной (ПАНО) и максимальной нагрузкой (МОК₄ и МОК₅) межгрупповые различия не выявлены, что указывает на равные функциональные возможности максимальной производительности сердца.

Таким образом, динамика значений МОК у лыжников-гонщиков в ступенчатом тестировании указала на менее экономичную адаптацию ССС

спортсменов группы резерва на нагрузку в зоне низкой и умеренной интенсивности, характеризующейся избыточным приростом сердечного выброса.

Таблица 17 – Значения приростов МОК (%) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков

Параметр	Лидеры (n=10)	Резерв (n=10)	Межгрупповые различия	
			%	p
МОК _{исх.→1}	22,97***	43,50***	20,53	$\leq 0,05$
МОК _{1→2}	17,41**	8,42	8,99	$> 0,05$
МОК _{2→3}	30,19***	21,07**	9,12	$> 0,05$
МОК _{3→4}	20,45**	16,36**	4,09	$> 0,05$
МОК _{4→5}	28,02***	28,74***	0,72	$> 0,05$

Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$.

Результаты, представленные в таблице 17, позволяют констатировать, что значимые межгрупповые различия были установлены при переходе от состояния покоя к нагрузке на 1-ой ступени (исх.→МОК₁). При переходе от 1-ой ступени нагрузки ко 2-ой у спортсменов группы резерва наблюдается выраженное снижение прироста по сравнению с группой лидеров. При переходе от 2-ой к 3-ей и к 4-ой ступени значения приростов в группах лыжников-гонщиков становятся относительно сопоставимыми. На переходе от 4-ой ступени к 5-ой значения приростов МОК становятся идентичными (~28%).

Таким образом, избыточная реакция МОК у спортсменов группы резерва представляет собой компенсаторно-приспособительный механизм адаптации центрального звена гемодинамики на дефицит кислорода в зонах низкой и умеренной интенсивности, характеризующийся повышенными энергозатратами на обеспечение мышечной деятельности. Схожая реактивность центрального звена кровообращения у лыжников-гонщиков при различных показателях работоспособности на максимальной интенсивности в нагрузочном тестировании позволяет заключить, что лимитирующим фактором становится не доставка кислорода, а его утилизация в мышцах, а также способность поддерживать высокую мощность при максимальной активации всех физиологических систем.

Установленные сдвиги минутного объема кровотока могут быть обусловлены изменениями ОПСС и его приростов (табл. 18, 19).

Таблица 18 – Показатели ОПСС (Па·мл⁻¹) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков, Ме [Q1; Q3]

Параметр	Лидеры (n=10)	Резерв (n=10)	Различия	
			%	p
ОПСС (Па·мл ⁻¹)				
ОПСС _{исх.}	127,00 [118,25;144,75]	122,00 [111,50; 142,00]	4,10	> 0,05
ОПСС ₁	108,00[104,86; 119,38]	87,89 [75,98; 115,46]	22,88	< 0,05
ОПСС ₂	95,66 [86,84; 108,71]	83,58 [74,53; 98,80]	14,45	< 0,05
ОПСС ₃	80,23 [72,66; 88,22]	76,34 [70,61; 87,22]	5,10	> 0,05
ОПСС ₄	67,97 [65,27; 77,73]	65,08 [58,11; 76,42]	4,44	> 0,05
ОПСС ₅	54,16 [48,89; 57,71]	52,87 [45,79; 61,49]	2,44	> 0,05

Анализ показателей общего периферического сопротивления сосудов выявил статистически значимые межгрупповые различия на 1-ой и 2-ой ступенях тестирования (табл. 18), что обусловило значимое превышение значений МОК у спортсменов группы резерва, относительно группы лидеров.

Результаты, представленные в таблице 19, показывают, что в группе лидеров отмечалось значимое адекватное снижение значений ОПСС от ступени к ступени тестирования, в группе резерва максимальное снижение ОПСС на первой ступени сменяется минимальными темпами его снижения на 3-ей ступени, что может быть причиной не эффективного перераспределения мышечного кровотока и нарушения утилизации лактата на уровне аэробного порога.

Таблица 19 – Значения приростов ОПСС (%) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков

Параметр	Лидеры (n=10)	Резерв (n=10)	Межгрупповые различия	
			%	p
ОПСС _{исх.→1}	-14,96*	-27,96***	13,00	< 0,05
ОПСС _{1→2}	-11,43*	-4,90	6,53	> 0,05
ОПСС _{2→3}	-16,13*	-8,66	7,47	> 0,05
ОПСС _{3→4}	-15,28*	-14,75*	0,53	> 0,05
ОПСС _{4→5}	-20,32**	-18,76*	1,56	> 0,05

Примечание: уровень значимости различий: * – p≤0,05; ** – p≤0,01; *** – p≤0,01.

При этом показатель оксигенации мышц SmO_2 на уровне ПАНО у группы лидеров составил 32,34% и был ниже, чем показатель у группы резерва – 40,94%, что и обусловило большее насыщение кислородом мышц у спортсменов лидеров, относительно группы резерва на 26,59% ($p < 0,05$) (табл. 20).

Таблица 20 – Показатели SmO_2 при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков, Ме [Q1; Q3]

Параметр	Лидеры (n=10)	Резерв (n=10)	Различия	
			%	p
SmO ₂ (%)				
SmO ₂ (1)	42,01 [32,68; 46,82]	41,19 [34,04; 44,96]	1,99	> 0,05
SmO ₂ (2)	33,18 [28,80; 40,99]	36,97 [27,70; 43,50]	11,42	> 0,05
SmO ₂ (3)	32,86 [27,94; 40,83]	39,47 [29,12; 43,53]	20,12	< 0,05
SmO ₂ (4)	32,34 [29,55; 43,43]	40,94 [29,74; 45,28]	26,59	< 0,05
SmO ₂ (5)	39,03 [32,07; 47,06]	43,03 [38,92; 51,16]	10,25	> 0,05

SmO_2 представляет собой баланс между доставкой и извлечением кислорода в мышечной ткани. Увеличение SmO_2 означает, что поставляется больше кислорода, чем потребляется. Уменьшение SmO_2 указывает на то, что кислород потребляется быстрее, чем поставляется. Устойчивое состояние (плоский тренд SmO_2) означает баланс между поставляемым кислородом и потребляемым, что наблюдается во время нагрузки умеренной интенсивности.

Анализируя приросты значений SmO_2 , (рис. 5) следует отметить, что на уровне АэП в группе лидеров уровень насыщения мышц кислородом был более, чем в 2 раза выше, чем у спортсменов из группы резерва. Согласно мнению (Крючков А.С., 2019), такая ситуация является результатом улучшения капилляризации работающих мышц у спортсменов в группе лидеров, что и обуславливает повышение потребления кислорода с большей его экстракцией из притекающей крови.

Косвенным подтверждением этого тезиса в нашем исследовании служат результаты корреляционного анализа взаимосвязи между мощностью нагрузки и показателем SmO_2 , представленные на рисунке 6. Корреляционные взаимосвязи между мощностью (W) и тканевой оксигенацией (SmO_2), показали, что у лыжников-гонщиков группы лидеров на всех ступенях тестирования

наблюдалась обратная связь. Статистически значимые связи не зафиксированы при мощности, соответствующей уровню ПАНО ($p=0,048$).

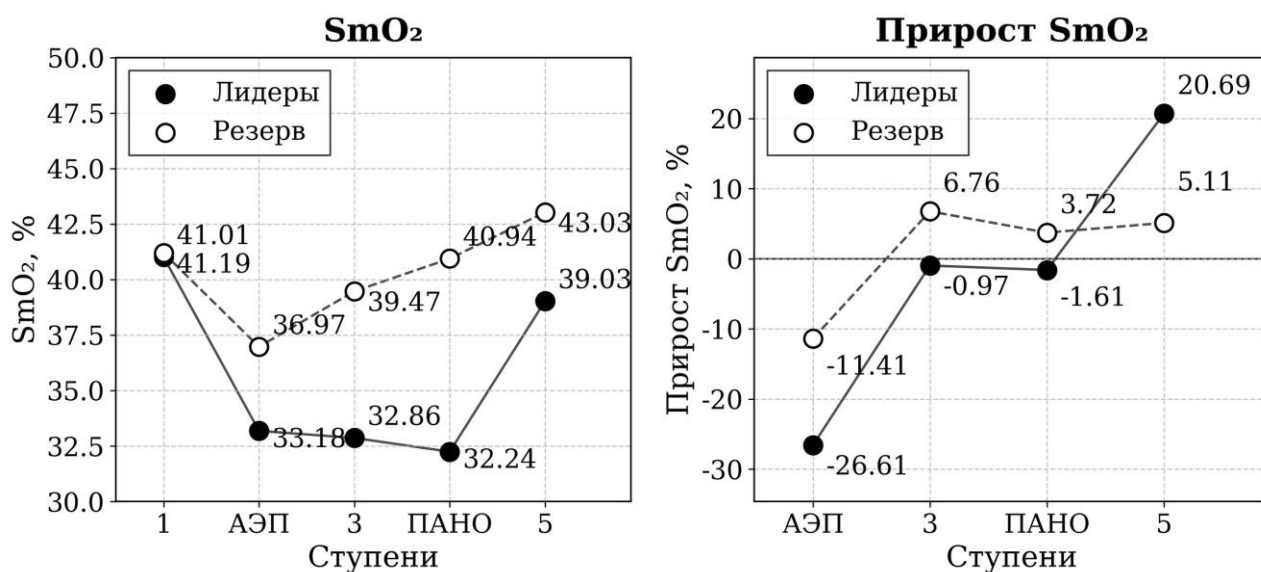


Рисунок 5 – Динамика значений SmO₂ (%) и его прироста (%) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков группы лидеров и резерва

В группе резерва статистически значимых корреляционных взаимосвязей выявлено не было. Коэффициенты корреляции характеризовались от слабо отрицательных до слабо положительных значений. Полученные нами данные согласуются с данными работы (Paquette M. et, al., 2018), где показатель SmO₂ в рабочих мышцах значимо коррелировал с пиковой мощностью у гребцов ($r=-0,5$, $p<0,05$), которая, в свою очередь, сильно коррелировала с VO₂ max ($r=0,9$, $p<0,05$). Следовательно, совокупность полученных данных и их согласованность с результатами исследований в циклических спортивных дисциплинах позволяет утверждать, что ключевым лимитирующим фактором работоспособности квалифицированных лыжников-гонщиков на специально-подготовительном этапе является не центральная доставка кислорода, а эффективность его периферической утилизации в скелетных мышцах.

Важнейшим физиологическим условием для эффективной экстракции кислорода является адекватное кровенаполнение и сосудистая реактивность на уровне мышечных капилляров. Для оценки этого компонента был

проанализирован характер взаимосвязи между ОПСС и концентрацией капиллярного гемоглобина (Thb) – маркером объема крови в микроциркуляторном русле исследуемой мышцы (рис. 7).

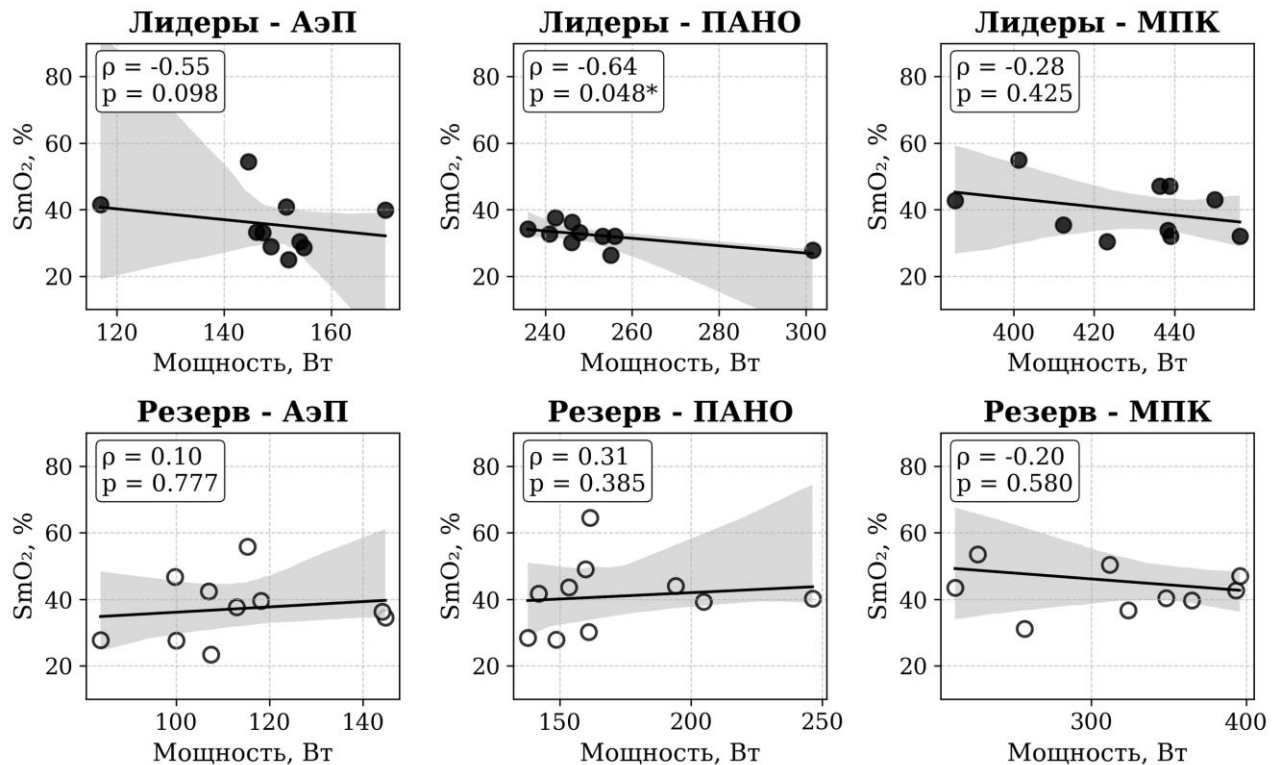


Рисунок 6 – Результаты корреляционного анализа (коэффициент ρ Спирмена) взаимосвязи между мощностью на ступенях нагрузочного тестирования (W, Вт) и уровнем насыщения мышц кислородом (SmO_2 , %) в группе лидеров и резерва
Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$.

Анализ данных, представленных на рисунке 7, показывает, что у спортсменов-лидеров на 3-й и 4-й ступенях нагрузки, соответствующих зоне субмаксимальной мощности, была зафиксирована сильная и статистически высокосignимая обратная корреляционная взаимосвязь между ОПСС и Thb. Выявленный у лыжников-гонщиков группы лидеров паттерн ($\downarrow$ ОПСС $\rightarrow \uparrow$ Thb) на субмаксимальных ступенях нагрузки позволяет предположить об экстренной максимизации доставки кислорода к мышцам в момент предельной потребности. На уровне ПАНО возможен рефлекторный выброс депонированных эритроцитов из селезенки и кратковременная гемоконцентрация, что повышает кислородную емкость крови (Stewart I.B. et al., 2002).

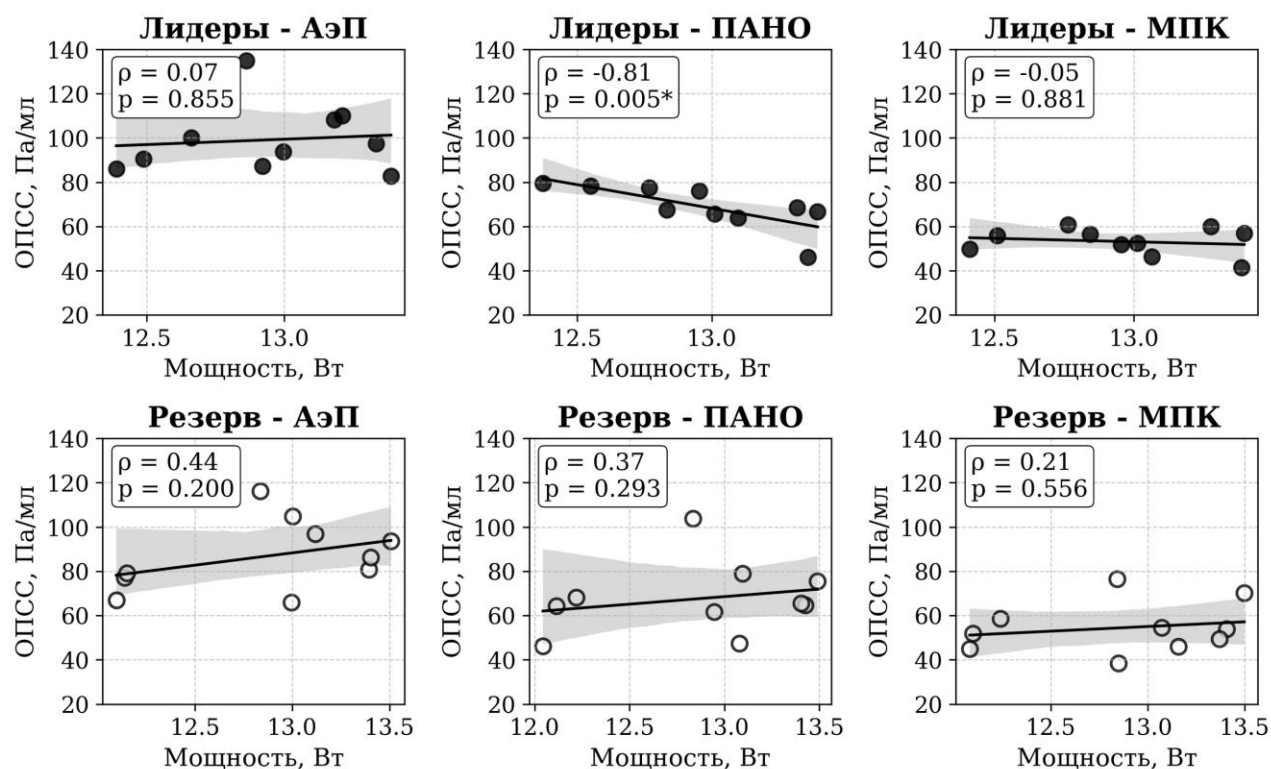


Рисунок 7 – Результаты корреляционного анализа (коэффициент ρ Спирмена) взаимосвязи между ОПСС ($\text{Па} \cdot \text{мл}^{-1}$) на ступенях нагрузочного тестирования (W, Вт) и концентрацией капиллярного гемоглобина (Thb, г/дл) в группе лидеров и резерва

Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$.

В группе резерва значимых корреляционных взаимосвязей не установлено, что свидетельствует о дисбалансе между состоянием периферического звена гемодинамики и кислородным обеспечением мышечной ткани.

Таким образом, полученные групповые результаты эргометрического исследования указывают, что адекватное снижение ОПСС, наблюдаемое у спортсменов-лидеров, сопровождалось достоверным приростом САД до уровня достижения ПАНО и стабильным уровнем ДАД. Такая реактивность параметров гемодинамики обусловила более эффективный мышечный кровоток и кислородный гомеостаз при физической нагрузке. У лыжников-гонщиков группы резерва выявленная реакция гемодинамической системы по значениям параметра ОПСС является компенсаторно-приспособительной на недостаточное обеспечение мышц кислородом. Большие спады значений ОПСС на первых двух ступенях (на уровне АЭП), по сравнению со спортсменами

группы лидеров, привело к дефициту мышечного кровотока, вероятно, обусловленного включением механизма «артериовенозный шунт» или снижением вязкости крови (Амбросимова Н.В., с соавт., 2022).

3.4. Динамика распределения объема циклической нагрузки по зонам интенсивности в годовом цикле подготовки лыжников-гонщиков

В обследуемых группах лыжников-гонщиков система подготовки строилась с учетом традиционной одноцикловой периодизации физических нагрузок (Матвеев Л.П., 2010; Суслов Ф.П., 2010). Годовой цикл состоял из подготовительного периода (май – ноябрь месяцы, 58,3 %), соревновательного периода (декабрь – март месяцы, 33,3 %) и переходного периода (апрель месяц, 8,4 %).

Динамика показателей тренировочных воздействий в подготовительном периоде у лыжников-гонщиков представлена в таблице 21. Значения коэффициента вариации показали высокую степень разброса показателей интенсивности физической нагрузки ($C_v > 30\%$), особенно в III-й зоне.

Результаты, представленные в таблице 21, показывают, что общий объем тренировочной нагрузки в подготовительном периоде у лыжников-гонщиков значимо не различался. Одним из наиболее актуальных вопросов, связанных с построением спортивной тренировки в подготовительном периоде лыжников-гонщиков, считается эффективность распределения нагрузок по интенсивности, направленных на развитие специальной выносливости (Черкасов И.Ф. с соавт., 2014).

Меньший относительный объем работы в I-ой зоне интенсивности в группе лидеров, при равном общем времени, косвенно указывает на более эффективное восстановление и возможность перераспределения ресурсов в пользу более интенсивной работы. Данная тенденция согласуется с исследованиями, показывающими, что у спортсменов с высокими функциональными возможностями сердечно-сосудистой системы, оцениваемыми по величине ударного объема крови (УОК), не требуется

чрезмерного объема низкоинтенсивной работы для создания тренировочных предпосылок (Ногаев Б.Т. с соавт., 2018; Сороина Е.В., 2020).

Таблица 21 – Общий объем и структура тренировочной нагрузки по зонам интенсивности ЧСС у лыжников-гонщиков в подготовительном периоде Ме [Q1; Q3]

Параметр	Лидеры (n=10)	Резерв (n=10)	Различия	
			%	p
Общий объем, час	491,50 [478,20; 511,30]	489,80 [472,50; 506,90]	0,35	> 0,05
<i>Распределение по зонам интенсивности ЧСС, %</i>				
I зона	77,20 [75,50; 79,10]	80,80 [78,90; 82,50]	4,46	> 0,05
II зона	13,80 [12,50; 15,30]	12,00 [10,80; 13,50]	15,00	> 0,05
III зона	3,40 [2,90; 4,00]	4,00 [3,40; 4,70]	15,00	> 0,05
IV зона	3,10 [2,60; 3,70]	2,00 [1,60; 2,50]	55,00	< 0,05*
V зона	2,20 [1,80; 2,70]	1,10 [0,80; 1,50]	100,00	< 0,01**

Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$.

Наиболее существенным и статистически подтвержденным отличием является значимо большая доля высокоинтенсивной анаэробной работы (IV и V зоны) в тренировочном процессе лидеров. Это может объясняться фазой развития спортивной формы, в которой происходит увеличение окислительных возможностей гликолитических мышечных волокон. Данная энергетическая перестройка, в свою очередь, позволяет выполнять больший объем максимальной интенсивной работы с более высокой эффективностью и меньшим метаболическим стрессом (Попов Д.В., 2016). Таким образом, выявленная структура нагрузки – со смещением акцента от низкоинтенсивного объема к развивающей и, особенно, высокоинтенсивной работе – может рассматриваться как один из ключевых факторов, дифференцирующих уровень специальной подготовленности лыжников-гонщиков.

Для выявления объективных физиологических предикторов и критериев, обуславливающих уровень физической работоспособности, далее нами был проведен групповой анализ динамики значений параметров ведущих функциональных систем и механизмов адаптации к нагрузкам на этапах подготовительного периода.

ГЛАВА 4. ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ НА ЭТАПАХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА (ГРУППОВОЙ АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ)

4.1. Сравнительный анализ показателей параметров биоимпедансометрии у лыжников-гонщиков, дифференцированных по скорости двигательных действий на этапах подготовительного периода и их обсуждение

Для текущей оценки адаптации организма спортсменов к нагрузке информативны варианты динамики лабильных компонентов массы тела в цикле подготовки, которые зависят от структуры тренировочного воздействия (Абрамова Т.Ф. с соавт., 2013). Контролировать метаболический статус, направленность и выраженность адаптивных изменений в организме спортсмена, а также оценить преимущественный характер энергообеспечения позволяет биоимпедансный анализ (Николаев Д.В., Руднев С.Г., 2012), показатели которого отражают уровень тренированности организма, в частности у спортсменов, занимающихся видами спорта, связанными с выносливостью (Торнуев с соавт., 2014).

Результаты нашего исследования по проверке показателей биоимпедансометрии на нормальность распределения у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода (критерий Шапиро-Уилка, W) и однородности данных (C_v , %). Динамика показателей компонентного состава тела у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, дифференцированных на группы лидеров и резерва, представлена в таблице 22.

Показатели компонентного состава тела у квалифицированных лыжников-гонщиков той же возрастной группы и за тот же период обследования представлены в единичных исследованиях, в частности в работе (Людина А.Ю. с соавт., 2024). Различие заключается в том, что мониторинг компонентного состава тела нами проводился на каждом этапе

подготовительного периода, а спортсмены были дифференцированы на группы по скорости преодоления нагрузки при тестировании на лыжном эргометре, в отличие от ретроспективно проанализированных данных, полученных в результате обследования за весь период подготовки (май-ноябрь).

Таблица 22 – Динамика показателей компонентного состава тела у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
Масса тела (МТ), кг			
Лидеры (n=10)	76,50 [70,10; 78,80]	75,81 [68,20; 78,57]	75,89 [70,35; 79,65]
Резерв (n=10)	66,30 [58,77; 72,47]	67,23 [59,70; 75,32]	67,36 [60,00; 75,82]
p	>0,05	>0,05	>0,05
ИМТ, усл.ед.			
Лидеры (n=10)	23,35 [22,36; 24,18]	23,55 [22,33; 24,56]	23,55 [22,33; 24,56]
Резерв (n=10)	21,29 [19,01; 23,06]	21,85 [19,31; 23,96]	22,03 [19,41; 24,31]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Относительная жировая масса (ОЖМ), %			
Лидеры (n=10)	7,10 [5,30; 11,45]	6,51 [5,90; 6,27]	6,95 [6,50; 8,90]
Резерв (n=10)	10,05 [7,55; 14,42]	12,03 [8,64; 15,00]	12,79 [9,90; 14,65]
p	<0,05	<0,01	<0,01
Безжировая масса тела (БМТ), кг			
Лидеры (n=10)	65,70 [61,95; 68,60]	66,36 [63,77; 73,02]	65,49 [61,40; 69,35]
Резерв (n=10)	57,50 [48,07; 62,72]	57,90 [48,90; 65,05]	57,50 [47,45; 65,02]
p	<0,05	>0,05	>0,05
Общая вода, %			
Лидеры (n=10)	65,60 [63,65; 66,50]	66,22 [66,07; 67,95]	66,49 [65,25; 67,15]
Резерв (n=10)	66,00 [65,25; 67,15]	65,54 [60,40; 66,47]	64,95 [60,57; 65,57]
p	>0,05	>0,05	<0,05
Уровень базального метаболизма (УБМ), ккал			
Лидеры (n=10)	2211,57 [2066,31; 2262,50]	2143,94 [2078,29; 2231,45]	2118,42 [1947,37; 2143,16]
Резерв (n=10)	1945, 75 [1860,37; 1975,79]	1945, 75 [1860,37; 1975,79]	1936,31 [1912,63; 2276,05]
p	>0,05	>0,05	>0,05

Результаты, представленные в таблице 22, позволяют утверждать, что масса тела в группе лидеров и резерва не имела значимых различий, ИМТ у спортсменов обеих групп находится в диапазоне нормативных значений для исследуемой возрастной группы, что отражает нормальный пищевой статус спортсменов в динамике подготовительного периода. (Петеркова В.А. с соавт., 2018).

Показатели относительной жировой массы в группе лидеров на первом этапе демонстрировали большой межквартильный размах в сторону

повышения, самые низкие медианные значения ОЖМТ были на II-ом этапе подготовки с минимальным межквартильным размахом. На специально-подготовительном этапе медианное значение ОЖМТ увеличилось на 6,76%, относительно II-го этапа и остались ниже средних нормативных значений, рекомендованных лабораторией спортивной антропологии (Абрамова, Т.Ф., с соавт., 2013) (табл. 23).

Таблица 23 – Нормативные значения уровня относительной жировой массы для спортсменов мужского пола различных специализаций, %

Низкая	Средняя	Выше среднего	Высокая	Очень высокая	Очень и очень высокая
< 8	8 –10	10,1–12,0	12,1–16,0	16,1–20,0	> 25

Показатель ОЖМТ в группе лидеров в конце базового этапа подготовки, который был ниже на 16,9% и 15,1%, относительно начального базового и специально-подготовительного этапов, указывает на интенсификацию липолиза и в целом катаболических процессов в ответ на возросшую физическую нагрузку на II-ом этапе подготовительного периода.

У спортсменов группы резерва медианные значения относительной жировой массы на протяжении всего периода подготовки практически не изменялись и соответствовали уровню выше среднего. Максимальные различия значений относительной жировой массы между группой лидеров и резерва наблюдались на втором этапе подготовки и составили 84,8% ($U=0,001$ при $p=0,020$); к концу подготовительного периода (третий этап) различия оставались существенными и статистически значимыми, составляя 84,0%. Показатели безжировой массы у лыжников группы лидеров соответствовали значениям выше среднего, и к концу подготовительного периода наблюдалась тенденция к снижению, а у спортсменов группы резерва соответствовали средним значениям, для данной половозрастной группы и отмечалась тенденция к повышению показателя. В итоге, значимые межгрупповые различия на начальном этапе подготовки в 8,2 кг безжировой массы ($U=1,50$

при $p=0,037$) к концу специально подготовительного этапа снизились до уровня тенденции ($U=4,00$ при $p=0,142$).

За нормативные значения уровня общей воды (ОВ) в организме принимают средний диапазон для квалифицированных спортсменов-мужчин разных видов спорта от 60 до 70 % (Корягина Ю.В. с соавт., 2018). Показатель общей воды в организме лыжников-гонщиков на всех этапах подготовительного периода находился в пределах физиологической нормы. При этом показатели лидеров, по сравнению с группой резерва, на этапах подготовительного периода были выше и в конце специально-подготовительного этапа различия достигли статистической значимости ($U=2,00$ при $p=0,050$).

Параметром биоимпедансометрии, по которому можно судить об эффективности тренировочных воздействий, является уровень базального метаболизма (УБМ) – показатель энергетического расхода организма в состоянии покоя. Физиологической нормой интенсивности основного обмена в среднем является одна ккал/кг/ч, то есть за сутки на основной обмен расходуется 1700 ккал для здорового мужчины весом 70 кг. На всех этапах подготовительного периода значения УБМ в обеих группах обследуемых лыжников соответствовали умеренному уровню, и межгрупповых различий выявлено не было (табл. 22). Динамика значений УБМ на этапах подготовительного периода у лидеров и у резерва отражает незначимое снижение данного показателя в процессе подготовки.

Далее на рисунке 8 графически визуализирована динамика приростов показателей биоимпедансометрии лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.

Прирост показателей массы тела у лыжников-гонщиков колебался в пределах 1-2% в обеих группах, но имел разную направленность. Изменения прироста относительной жировой массы тела имели также разнонаправленный характер в группах обследования. В частности, у спортсменов-лидеров наблюдалась тенденция к снижению ОЖМТ, а у лыжников группы резерва,

наоборот, значимое ее увеличение на 1-ом и 3-ем этапах подготовительного периода. Значения приростов безжировой массы тела и общей воды от этапа к этапу подготовительного периода в обеих группах колебались в пределах ± 1 -2%, отражая стабильность данных компонентов состава тела.

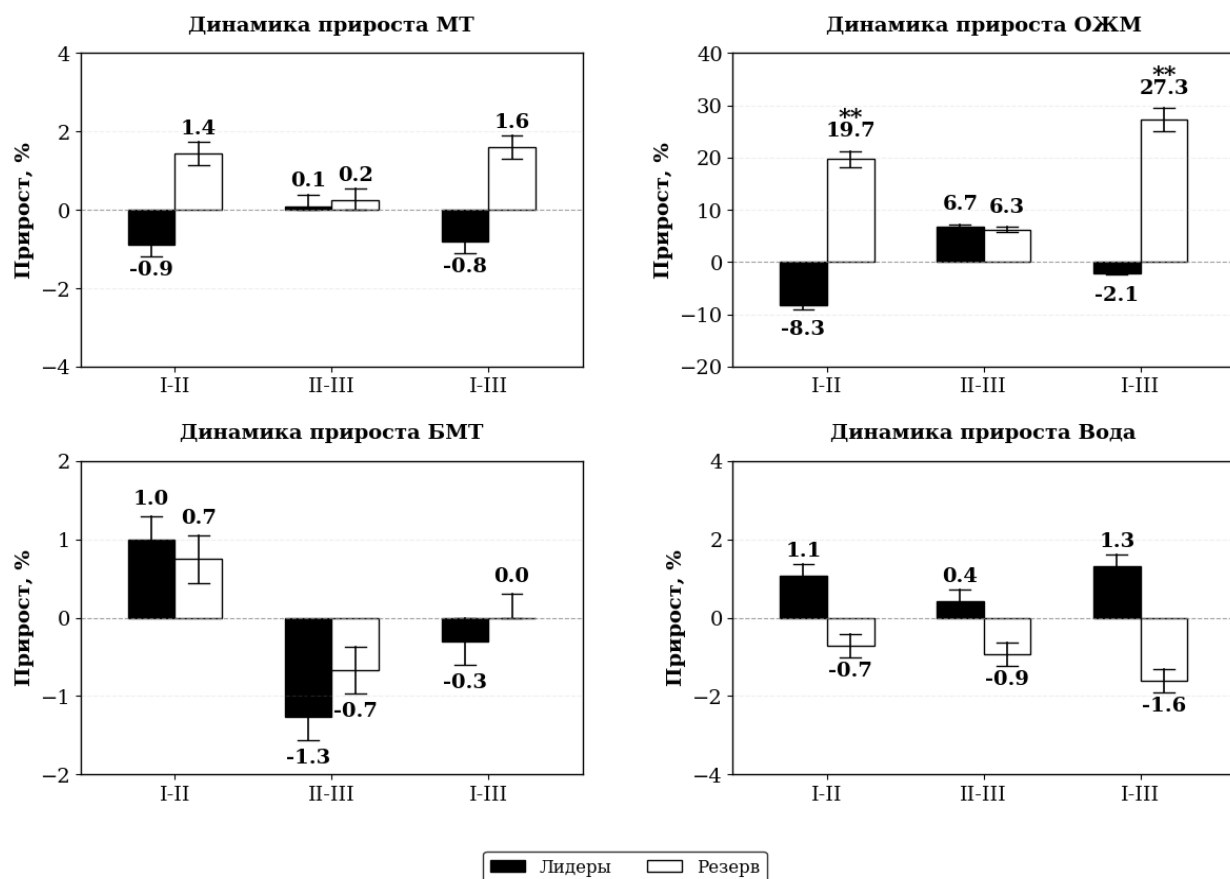


Рисунок 8 – Динамика приростов внутригрупповых показателей массы тела (МТ), безжировой массы тела (БМТ), относительной жировой массы тела (ОЖМ) и общей воды (ОВ) у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, %

Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$.

Таким образом, у спортсменов из группы лидеров выявлен более вариативный характер лабильных показателей компонентного состава тела, но в границах нормативных значений для квалифицированных спортсменов. У спортсменов из группы резерва наблюдалась тенденция прироста массы тела и относительной жировой массы к концу базового этапа, с последующей стабилизацией к концу подготовительного периода.

Выявленная динамика медианных показателей компонентного состава тела спортсменов, указывает на более выраженную катаболическую

направленность метаболических процессов с активацией липолиза на базовом этапе подготовки, в ответ на физические нагрузки у лидеров. Для спортсменов группы резерва в конце базового этапа подготовки характерно снижение доли аэробных процессов энергообеспечения организма.

В качестве потенциально нового показателя для оценки комбинированного состава тела было предложено соотношение его жировой и безжировой компоненты (Córdoba-Rodríguez, D.P. et al., 2022), данный индекс ранее рассматривали как модель соотношения метаболической нагрузки и работоспособности (Prado, C.M.M. et al., 2012).

В нашем исследовании мы использовали в качестве прогностического показателя уровня работоспособности лыжников-гонщиков коэффициент соотношения безжировой массы тела (кг) и жировой массы тела (кг), который можно рассматривать как критерий, характеризующий уровень работоспособности (табл. 24).

Таблица 24 – Показатели индекса соотношения БМТ/ЖМТ у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Me [Q1; Q3], усл.ед.

Группа	Этапы			Различия, р	
	I этап	II этап	III этап	I-II этапы	II-III этапы
Лидеры	7,07 [4,46; 7,37]	8,22 [4,75; 9,03]	6,49 [4,65; 7,33]	+16,26% > 0,05	-21,04% < 0,05
Резерв	4,37 [2,83; 5,63]	3,64 [2,70; 5,37]	3,78 [2,85; 3,90]	-16,70% > 0,05	+3,85% > 0,05
%	61,78	125,82	71,69		
р	< 0,05	< 0,001	< 0,01		

У спортсменов лидеров значения индекса БМТ/ЖМТ на втором этапе подготовки имели тенденцию к повышению на уровне 16%, а к концу специально-подготовительного этапа снижение индекса, относительно 2-го этапа, было статистически значимым.

У спортсменов группы резерва, значения индекса БМТ/ЖМТ на всех этапах подготовки были значимо ниже, чем у лидеров. Внутригрупповые различия БМТ/ЖМТ в группе резерва между этапами подготовки не имели статистической значимости. Ниже представлена корреляционная матрица

взаимосвязи показателей индекса БМТ/ ЖМТ (усл.ед.) и скорости (км/ч) у лыжников-гонщиков в конце подготовительного периода (рис. 9).

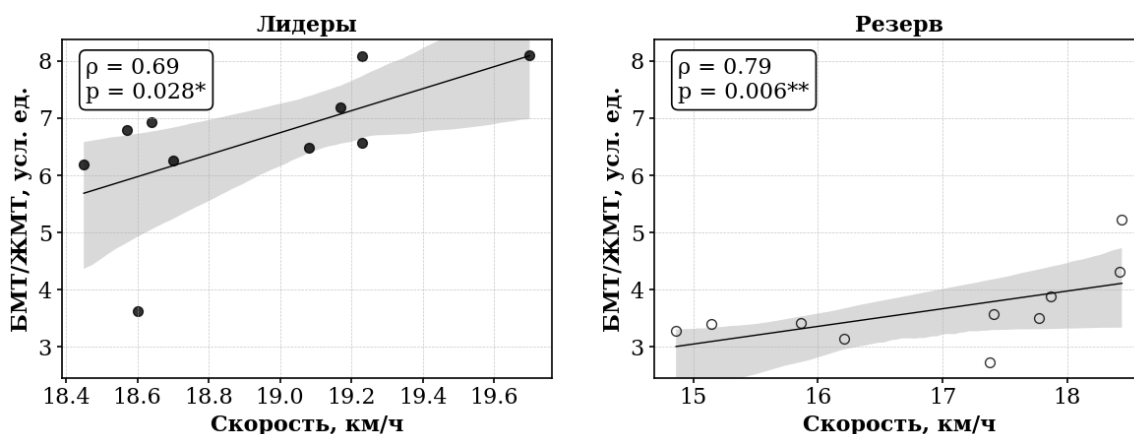


Рисунок 9 – Корреляционная матрица взаимосвязи показателей БМТ/ЖМТ (усл.ед.) и скорости (км/ч) у лыжников-гонщиков в группе лидеров и резерва в конце подготовительного периода

Примечание: уровень значимост: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$.

Коэффициенты корреляции характеризуют высокую положительную взаимосвязь между анализируемыми переменными. Высокая сила корреляционной связи отражает согласованное повышение скорости двигательных действий и значения индекса БМТ/ЖМТ. Соответственно, в группе лидеров максимальная скорость движений от 19 км/ч и выше, наблюдается у спортсменов с индексом БМТ/ЖМТ от 6 до 8 усл/ед.

Обсуждение результатов. Мониторинг компонентного состава тела на основе биоимпедансного анализа в комплексной оценке функционального состояния организма спортсменов имеет большое значение. В частности, в лыжных гонках компонентный состав тела рассматривается как один из определяющих факторов результативности спортивной деятельности. Изменения компонентного состава тела можно оптимизировать и скорректировать в ходе тренировочного процесса (Бахарева А.С. с соавт., 2019; Людина А.Ю. с соавт., 2024). Следует согласиться с мнением Н.В. Рыловой, что перспективным направлением исследований в области оценки состава тела у спортсменов остаётся создание нормативной базы, что значительно облегчит анализ и сопоставление получаемых результатов разными авторами

(Рылова Н.В., 2014). Проведенный анализ компонентного состава тела у лыжников-гонщиков в течение подготовительного периода позволил нам выявить различия в направленности метаболической и морфофункциональной адаптации организма к физическим нагрузкам. У спортсменов-лидеров адаптация к нагрузкам подготовительного периода носит системный характер и выражается в увеличении доли метаболически активной мышечной массы на фоне снижения жирового компонента. Эти изменения коррелируют с более высокими скоростными показателями в нагрузочном тестировании и отражают эффективную перестройку энергообмена, связанную с усилением липолиза и аэробных возможностей. У спортсменов группы резерва адаптация протекает менее сбалансированно: отмечается тенденция к повышению жировой массы на II-ом этапе с последующей стабилизацией. Такая динамика может свидетельствовать о недостаточной активации аэробных механизмов энергообеспечения и менее экономичном метаболическом профиле.

Предложенный нами индекс состояния жирового обмена (БМТ/ЖМТ) и его оптимальный диапазон от 6 до 8 усл/ед отражают согласованное повышение скорости двигательных действий и значения индекса, что подтверждается высокой высокой силой корреляционной связи.

Результаты данного материала представлены в статье: Бахарева, А.С. *Мониторинг компонентного состава тела у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода на основе биоимпедансного анализа* / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, В.В. Эрлих // *Физическое воспитание и спортивная тренировка*. – 2024. – № 4 (50). – С. 116-124.

4.2. Количественно-качественные изменения параметров системы крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Гематологический контроль в спортивной практике используется для оценки функционального состоянием спортсмена, уровня его тренированности, характера изменений метаболизма. Адаптивные реакции спортсмена на физические нагрузки, обусловленные нейроэндокринными изменениями,

отражаются в морфологическом составе крови, которая лимитирует выраженность кислородного обеспечения работающих органов (Сашенков С.Л. с соавт., 2018; Трушина Э.Н., Мустафина О.К., 2023).

Эритроцитарное звено системы крови. Результаты проверки показателей эритроцитарного звена системы крови на нормальность распределения у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода (критерий Шапиро-Уилка, W) и однородности данных (C_v , %) показали отклонения. Отдельные значения в группах обследуемых, отклонялись от требований нормальности распределения, поэтому был использован непараметрический критерий Манна-Уитни (U). Коэффициент вариации имел относительно высокие значения для СОЭ у лидеров на I-ом и III-ем этапах подготовки, в группе резерва на I-ом и II-ом этапах.

Сравнение результатов нашего исследования с нормативами (под ред. Уйба В.В., 2018) выявило, что в обеих группах, на всех этапах подготовительного периода анализируемые показатели находились в границах рекомендованных значений для высококвалифицированных спортсменов мужского пола, в циклических видах спорта: гемоглобин ($152,67 \pm 7,37$), эритроциты ($5,07 \pm 0,26$), гематокрит (36-56%), СОЭ ($2-10$ мм/ч^{*-1}).

В таблице 25 представлены значения параметров эритроцитарного звена системы крови лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода. Анализ количественных характеристик эритроцитарного звена крови в группах обследуемых спортсменов на этапах подготовительного периода выявил стабильность показателей количества эритроцитов и концентрации гемоглобина на всех этапах подготовительного периода (колебания значений не превышали 4%), но межквартильный размах показателя HbG в группе резерва был более смещен в сторону увеличения.

Кислородтранспортная функция эритроцитов зависит от текучести цельной крови, уровень которой отражает показатель гематокрита. На этапах подготовительного периода в группах обследования наблюдалась оптимальная динамика показателя гематокрита, однако в конце базового этапа (II) у

спортсменов-лидеров наблюдалось значимое его превышение на 10,57% и 8,59% ($p < 0,05$), относительно внутригруппового и межгруппового значения, соответственно.

Таблица 25 – Динамика показателей эритроцитарного звена системы крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
Эритроциты (RBC), $10^{12}/л$			
Лидеры (n=10)	4,97 [4,61; 5,19]	5,02 [4,77; 5,03]	5,17 [4,97; 5,23]
Резерв (n=10)	5,15 [4,65; 5,48]	5,29 [4,81; 5,36]	5,14 [4,73; 5,32]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Гемоглобин (HbG), г/л			
Лидеры (n=10)	150,00 [147,00; 154,00]	152,00 [147,50; 155,75]	154,00 [145,50; 159,00]
Резерв (n=10)	157,50 [145,00; 164,00]	158,50 [149,00; 164,25]	152,50 [145,50; 160,25]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Гематокрит (HCT), %			
Лидеры (n=10)	44,00 [43,40; 45,30] #	48,65 [46,55; 49,32]	46,90 [43,30; 51,05]
Резерв (n=10)	45,45 [42,70; 45,50]	44,80 [43,52; 47,87]	43,30 [42,60; 49,32]
p	>0,05	<0,05	<0,05
СОЭ, мм/ч			
Лидеры (n=10)	2,00 [2,00; 2,50]	3,50 [2,00; 6,50]	3,00 [2,00; 4,00]
Резерв (n=10)	3,50 [2,25; 4,75]	2,50 [2,00; 3,75]	2,50 [1,00; 7,75]
p	<0,01	<0,05	>0,05

Примечание: # – статистически значимое различие внутригрупповых медианных значений между I-ым и II-ым этапами подготовки ($p \leq 0,05$).

Значения СОЭ соответствовали нормативным показателям, при этом в группе резерва отмечено выраженное увеличение межквартильного размаха значений СОЭ в конце специально-подготовительного периода.

Объективные данные о кислородтранспортных свойствах эритроцитов отражают эритроцитарные индексы, значения которых у лыжников-гонщиков исследуемых групп на различных этапах подготовительного периода представлены в таблице 26.

Медианные значения эритроцитарных индексов в группах обследованных лыжников находились в оптимальных границах физиологической нормы для квалифицированных спортсменов (под ред. Уйба В.В., 2018), за исключением показателя RDW-CV, который соответствовал нижней границе нормы (11-12%) у представителей группы резерва на всех этапах подготовительного периода. Различия между спортсменами группы лидеров и резерва наблюдались по

показателю средней концентрации гемоглобина в эритроцитах (MCHC), который на II-ом этапе подготовительного периода у спортсменов группы резерва был на 9,59% выше, чем у лидеров ($p \leq 0,05$).

Таблица 26 – Динамика показателей эритроцитарных индексов системы крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
Средний объем эритроцитов (MCV), фл			
Лидеры (n=10)	88,50 [85,35; 99,70] #	96,80 [92,65; 103,42]	90,00 [86,80; 98,30]
Резерв (n=10)	88,30 [82,95; 91,85]	88,95 [83,15; 92,65]	87,95 [81,77; 97,80]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Ср. содержание Hb в эритроците (MCH), пг			
Лидеры (n=10)	31,00 [28,40; 31,15]	31,10 [29,62; 31,67]	30,00 [28,35; 31,20]
Резерв (n=10)	30,55 [29,87; 31,15]	30,60 [29,67; 31,30]	30,25 [28,90; 31,45]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Ср. конц. Hb в эритроцитах (MCHC), г/л			
Лидеры (n=10)	333,50 [325,50; 343,00]	311,50 [301,50; 333,50]	331,00 [305,50; 341,50]
Резерв (n=10)	347,00 [338,50; 361,00]	344,50 [338,00; 357,00]	344,50 [321,75; 353,75]
p	>0,05	$\leq 0,05$	>0,05
Распределение эрит. по объему, SD (RDW-SD), фл			
Лидеры (n=10)	41,50 [39,20; 44,15]	45,90 [43,70; 56,27]	40,90 [39,65; 51,90]
Резерв (n=10)	43,05 [41,20; 45,50]	41,75 [39,12; 44,60]	43,00 [39,42; 49,27]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Распределение эрит. по объему, CV (RDW-CV), %			
Лидеры (n=10)	13,00 [12,30; 13,35]	13,35 [12,77; 14,67]	13,20 [12,10; 14,30]
Резерв (n=10)	11,85 [12,47; 13,17]	11,95 [11,67; 13,12]	11,95 [11,82; 13,42]
p	>0,05	>0,05	>0,05

Примечание: # – статистически значимое различие внутригрупповых медианных значений между I-ым и II-ым этапами подготовки ($p \leq 0,05$).

Внутригрупповой анализ динамики приростов эритроцитарных индексов системы крови в группе лидеров выявил, что значения показателя MCV колебались на уровне 7-9%, а в конце базового этапа подготовки достигали статистической значимости ($p < 0,05$). Направленность прироста MCV совпадала с таковой по показателю RDW-CV, отражающего отклонение размера эритроцитов от средних значений в пределах верхней границы физиологической нормы (11,5-13,5%). Изменения приростов показателя средней концентрации гемоглобина в эритроците (MCHC) имели противоположную направленность с приростом MCV.

В группе резерва значения исследуемых параметров практически находились в границах физиологических колебаний, отражая стабильность

качественных морфологических показателей эритроцитарного звена крови на разных этапах подготовительного периода.

Таким образом, анализ показателей эритроцитарного звена крови у спортсменов-лидеров с количественной стороны показал достоверные изменения гематокрита (HCT), а с качественной стороны – объемных характеристик эритроцитов (MCV) в конце базового этапа подготовки. На правах тенденции отмечено увеличение медианного значения параметра RDW-SD с расширением межквартильного размаха, относительно начала подготовительного периода. Следовательно, у спортсменов в группе лидеров адаптивные механизмы эритроцитарного звена крови, были направлены на поддержание суспензионной устойчивости эритроцитов и сохранение реологических свойства крови (Сашенков С.Л. с соавт., 2011). Улучшение реологических свойств крови способствует снижению расхода энергии сердечной мышцы на продвижение крови по сосудам.

У спортсменов группы резерва адаптация системы крови к нагрузкам подготовительного периода характеризуется, в первую очередь, устойчивым поддержанием ключевых количественно-качественных показателей эритроцитарного звена. В целом, динамика проанализированных показателей подтверждает адекватный уровень адаптированности спортсменов обеих групп к тренировочным нагрузкам подготовительного периода.

Анализ параметров тромбоцитарного звена системы крови. Мышечная деятельность субмаксимальной интенсивности и большой продолжительности может приводить к активации процессов гемокоагуляции и фибринолиза (Ferguson E.W. et al., 1987), поэтому далее нами проанализирована динамика показателей тромбоцитарного звена крови у лыжников-гонщиков по этапам подготовительного периода (табл. 27). Данные таблицы 27 свидетельствуют, что показатели тромбоцитарного звена системы крови в обследуемых группах на всех этапах подготовительного периода находились в границах нормативных значений, и статистически значимых межгрупповых различий выявлено не было.

Таблица 27 – Динамика показателей тромбоцитарного звена системы крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
Тромбоциты (PLT), $\times 10^9/\text{л}$			
Лидеры (n=10)	227,00 [225,00; 240,00]	225,00 [193,50; 256,50]	226,00 [215,00; 289,00]
Резерв (n=10)	233,00 [224,75; 248,25]	227,50 [209,50; 264,25]	223,50 [199,75; 267,50]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Средний объем тромбоцитов (MPV), фл			
Лидеры (n=10)	11,10 [10,45; 11,15]	11,70 [10,90; 12,35]	11,20 [10,10; 12,05]
Резерв (n=10)	10,20 [9,85; 11,00]	11,25 [10,37; 11,97]	11,25 [10,35; 11,85]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Тромбокрит (PCT), %			
Лидеры (n=10)	0,25 [0,24; 0,27]	0,27 [0,22; 0,29]	0,27 [0,25; 0,29]
Резерв (n=10)	0,28 [0,26; 0,30]	0,24 [0,21; 0,28]	0,23 [0,21; 0,26]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Ширина распределения тромбоцитов по объему (PWD), фл			
Лидеры (n=10)	13,80 [11,70; 15,20]	14,35 [12,65; 17,40]	13,60 [11,80; 15,70]
Резерв (n=10)	12,35 [10,82; 13,80]	13,80 [11,90; 15,32]	13,60 [12,05; 14,32]
p	>0,05	>0,05	>0,05

Исключением стал показатель среднего размера тромбоцитов (MPV, норма 5,0 – 10,0 фл), который превышал верхние нормативные значения на 11-17% на разных этапах подготовки, что может обусловить повышение их коагуляционных свойств.

Таким образом, адаптация тромбоцитарного звена системы крови к тренировочным нагрузкам подготовительного периода у лыжников-гонщиков протекает без значительных сдвигов количественных показателей. Тренировочный процесс не провоцирует гиперкоагуляционных сдвигов, но индуцирует качественные изменения в тромбоцитарной популяции, что может рассматриваться как компонент физиологической адаптации системы гемостаза к регулярным физическим нагрузкам у лыжников-гонщиков, направленной на обеспечение адекватного восстановления микрососудистого русла в условиях длительных нагрузок.

Анализ параметров лейкоцитарного звена системы крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода. Результаты исследования абсолютного и процентного содержания отдельных форм

лейкоцитов в крови лыжников-гонщиков в разные периоды подготовки представлены в таблицах 28, 29.

Таблица 28 – Динамика абсолютных показателей лейкоцитарного звена системы крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода Ме, [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
Лейкоциты (WBC), $10^9/\text{л}$			
Лидеры (n=10)	5,14 [4,91; 5,49]	4,84 [4,81; 5,89]	5,93 [5,02; 6,23]
Резерв (n=10)	5,07 [4,36; 6,08]	5,95 [4,52; 7,39]	4,80 [3,92; 5,96]
p	>0,05	<0,05	<0,05
Нейтрофилы (Ne), $10^9/\text{л}$			
Лидеры (n=10)	2,93 [2,73; 3,19]	2,70 [2,25; 3,10]	2,48 [2,20; 3,70]
Резерв (n=10)	2,67 [2,20; 3,12]	3,06 [2,22; 5,24]	2,50 [1,99; 2,88]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Лимфоциты (LYMF), $10^9/\text{л}$			
Лидеры (n=10)	1,80 [1,33; 1,96]	1,37 [1,06; 1,49]	2,19 [1,79; 2,72]
Резерв (n=10)	1,78 [1,50; 2,28]	1,80 [1,19; 2,28]	1,76 [1,45; 2,21]
p	>0,05	>0,05	<0,05
Моноциты (MON), $10^9/\text{л}$			
Лидеры (n=10)	0,38 [0,36; 0,49]	0,47 [0,43; 0,48]	0,40 [0,34; 0,55]
Резерв (n=10)	0,47 [0,40; 0,57]	0,54 [0,41; 0,63]	0,44 [0,38; 0,55]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Эозинофилы (Ео), $10^9/\text{л}$			
Лидеры (n=10)	0,10 [0,07; 0,12]	0,07 [0,02; 0,08]	0,08 [0,04; 0,20]
Резерв (n=10)	0,13 [0,07; 0,21]	0,10 [0,06; 0,20]	0,07 [0,05; 0,30]
p	>0,05	<0,05	>0,05
Базофилы (Ba), $10^9/\text{л}$			
Лидеры (n=10)	0,04 [0,02; 0,06]	0,03 [0,02; 0,04]	0,04 [0,02; 0,04]
Резерв (n=10)	0,02 [0,02; 0,03]	0,03 [0,02; 0,04]	0,03 [0,01; 0,04]
p	<0,05	>0,05	>0,05

Проведенный сравнительный анализ абсолютных показателей лейкоцитарной формулы у лыжников-гонщиков на различных этапах подготовительного периода выявил изменения в динамике общего количества лейкоцитов (WBC). На II-ом этапе подготовки медианное значение WBC в группе резерва статистически значимо превышало аналогичный показатель группы лидеров на 18,7% ($p<0,05$). К III-му этапу наблюдалась обратная ситуация, а именно: в группе лидеров количество лейкоцитов стало значимо выше на 23,5% относительно спортсменов группы резерва ($p<0,05$), что может указывать на более выраженную активацию иммунной системы в ответ на пиковые тренировочные нагрузки у квалифицированных спортсменов.

Значимые межгрупповые различия были установлены и в лимфоцитарном звене. В конце специально-подготовительного этапа подготовки абсолютное число лимфоцитов (LYMF) в группе лидеров было на 24,4% выше, чем у спортсменов резерва ($p < 0,05$). Статистически значимые различия выявлены также в популяциях гранулоцитов. На I-ом и II-ом этапе количество эозинофилов (Ео) у лыжников-гонщиков группы резерва было на 30,0% и 42,85% выше, чем у группы лидеров ($p < 0,05$). Содержание базофилов на начальном этапе подготовки в группе лидеров было в 2 раза выше, чем в группе резерва ($p < 0,05$).

Характер перераспределения внутри лейкоцитарной формулы и оценка иммунологического сдвига отражены в процентном содержании отдельных клеточных субпопуляций. Процентное соотношение различных видов лейкоцитов может указывать на неадекватность физической нагрузки или недостаточное восстановление спортсмена после тренировки (Gleeson M., 2007).

Данные, представленные в таблице 29, позволяют оценить вклад каждой группы лейкоцитов в общий клеточный состав и определить тип адаптационной реакции организма на тренировочную нагрузку.

Анализ данных, представленных в таблице 29, показывает, что значения процентного содержания отдельных видов лейкоцитов в крови лыжников-гонщиков на разных этапах подготовительного периода находились в пределах физиологических нормативов, рекомендованных для квалифицированных спортсменов.

В начале базового этапа подготовки у спортсменов группы резерва было зафиксировано статистически значимое более высокое относительное содержание эозинофилов, которое на 30,9% превышало показатели лидеров. В группе лидеров отмечалось более высокое процентное содержание базофилов, превышающее показатель группы резерва в 2 раза ($p < 0,05$). В конце базового этапа подготовки межгрупповых различий установлено не было. На III-ем этапе статистически значимое межгрупповое различие было установлено только для

моноцитов, относительное содержание которых в группе резерва было на 27,0% выше, чем у лидеров.

Таблица 29 – Динамика процентного содержания отдельных форм лейкоцитов в крови лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
Нейтрофилы (Ne), %			
Лидеры (n=10)	54,10 [52,95; 62,75]	57,55 [49,00; 70,15]	47,40 [41,20; 59,50]
Резерв (n=10)	50,40 [47,45; 57,25]	51,75 [48,02; 71,07]	50,65 [47,72; 52,97]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Лимфоциты, (LYMF), %			
Лидеры (n=10)	34,70 [26,70; 36,40]	28,98 [20,62; 38,79]	40,80 [29,15; 50,55]
Резерв (n=10)	36,40 [31,00; 40,45]	35,50 [18,42; 40,57]	36,95 [36,70; 37,27]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Моноциты (MON), %			
Лидеры (n=10)	7,50 [7,40; 9,00]	9,58 [7,84; 10,97]	6,90 [6,30; 9,35]
Резерв (n=10)	9,25 [8,70; 10,02]	9,05 [8,25; 9,40]	9,45 [8,55; 10,20]
p	>0,05	>0,05	<0,05
Эозинофилы (Ео), %			
Лидеры (n=10)	1,90 [1,35; 2,40]	1,46 [0,57; 2,55]	1,50 [0,75; 3,55]
Резерв (n=10)	2,75 [1,35; 3,62]	1,75 [1,05; 3,12]	1,65 [1,22; 4,92]
p	<0,05	>0,05	>0,05
Базофилы (Ba), %			
Лидеры (n=10)	0,80 [0,35; 1,20]	0,56 [0,42; 0,90]	0,60 [0,35; 0,70]
Резерв (n=10)	0,40 [0,32; 0,62]	0,60 [0,52; 0,90]	0,65 [0,30; 0,77]
p	<0,05	>0,05	>0,05

Динамика прироста абсолютного и относительного количества отдельных форм лейкоцитов в крови у лыжников-гонщиков по этапам подготовительного периода в процентах от медианных значений позволила оценить характер иммунологического сдвига (рис. 10). У спортсменов-лидеров общее количество лейкоцитов (WBC) увеличилось на 22,52% ($p<0,05$) к концу специально-подготовительного этапа (III), относительно предыдущего этапа, что в итоге привело к значимому суммарному приросту за весь подготовительный период на 15,37% ($p<0,05$). Наиболее выраженным изменением стал прирост абсолютного числа лимфоцитов от II-го к III-му этапу, который составил 59,85% ($p<0,01$). Данный прирост лимфоцитов в совокупности со значимым увеличением количества базофилов на 33,33% ($p<0,05$) на том же этапе, свидетельствует о выраженной активации адаптивного иммунного звена в

конце подготовительного периода. Одновременно, в течение всего подготовительного периода было зафиксировано значимое суммарное снижение уровня нейтрофилов на 15,36% ($p < 0,05$).

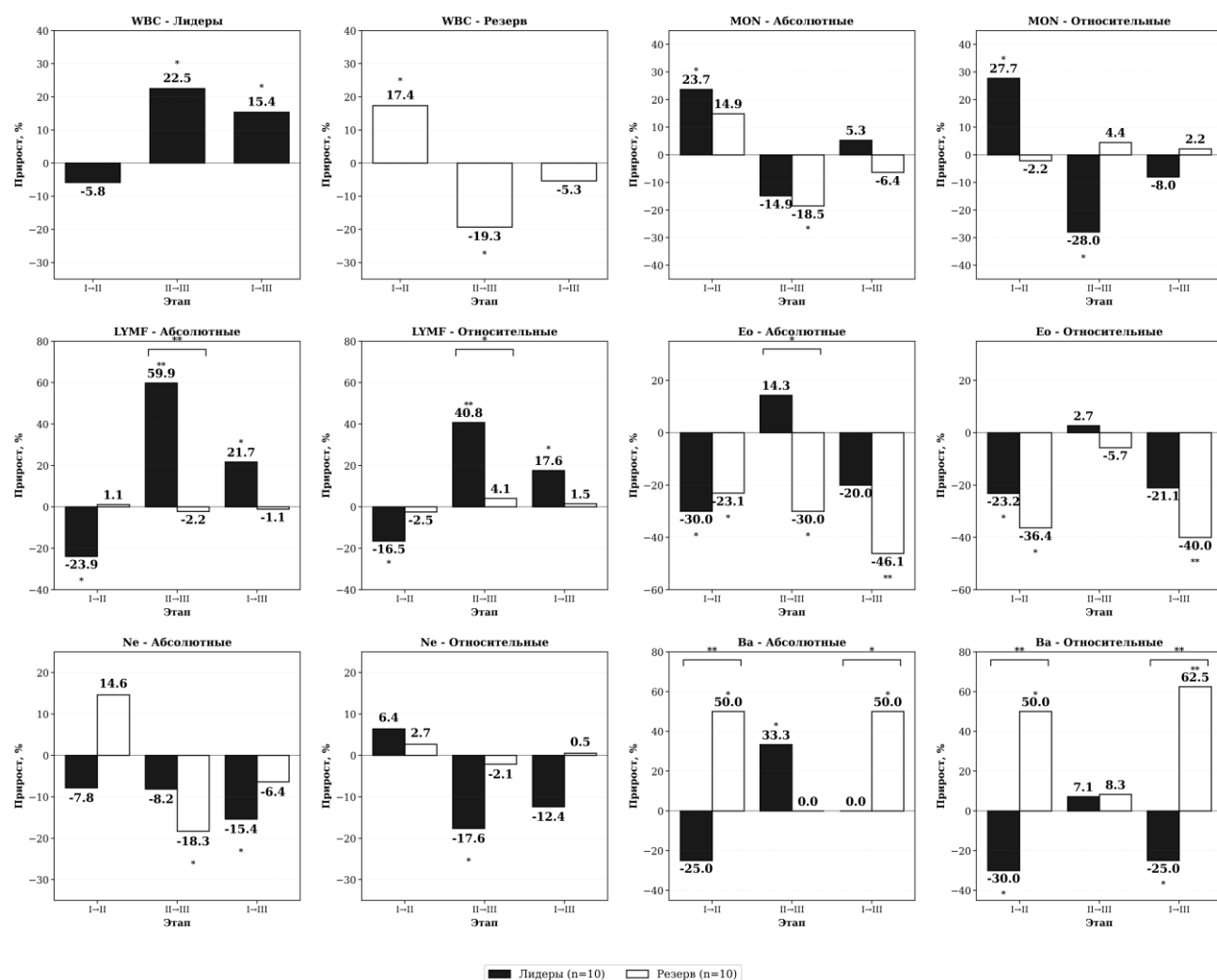


Рисунок 10 – Внутригрупповые приросты абсолютных и относительных показателей лейкоцитарного звена на этапах подготовительного периода у лыжников-гонщиков, %

Примечание: уровень значимости различий: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

В группе резерва адаптация лейкоцитарного звена системы крови носила иной, менее однородный, характер с выраженными разнонаправленными колебаниями. Увеличение общего числа лейкоцитов на 17,36% ($p < 0,05$) на II-ом этапе сменилось его снижением на 19,33% ($p < 0,05$) к концу специально-подготовительного этапа. Наиболее выраженным изменением в группе резерва стало последовательное и значимое снижение количества эозинофилов, которое в итоге составило 46,15% за весь период подготовки ($p < 0,01$). Аналогичная

отрицательная динамика к III-му этапу была отмечена для нейтрофилов (-18,30%, $p<0,05$) и моноцитов (-18,52%, $p<0,05$). Одновременно наблюдался значимый прирост уровня базофилов на 50,00% ($p<0,05$) как на II-ом этапе, так и в целом за подготовительный период. При этом количество лимфоцитов у спортсменов группы резерва оставалось стабильно неизменным на всех этапах.

Анализ внутригрупповой динамики процентного содержания лейкоцитов, представленный на рисунке 10, позволил выявить, что у спортсменов-лидеров произошел выраженный лимфоцитарный сдвиг лейкоцитарной формулы. После значимого снижения доли лимфоцитов на 16,48% ($p<0,05$) в середине подготовительного периода (от I-го→II-му этапу), на завершающем этапе (от II-го→III-му) зафиксирован их резкий прирост на 40,79% ($p<0,01$). Этот прирост сопровождался одновременным значимым снижением относительного содержания нейтрофилов на 17,64% ($p<0,05$) в тот же период, что указывает на уменьшение вклада врожденного (нейтрофильного) компонента при нарастании роли адаптивного (лимфоцитарного) компонента в обеспечении иммунного защитного механизма. Динамика моноцитов выражалась разнонаправленными колебаниями их доли ($\pm 27-28\%$) на этапах подготовки, что может свидетельствовать о напряженной регуляции данного лейкоцитарного звена системы крови в процессе адаптации.

У лыжников-гонщиков группы резерва наиболее значимым изменением было снижение как доли эозинофилов, так и их абсолютного содержания в течение всего подготовительного периода, что в итоге составило 40,00% и 46,15%, ($p<0,01$). Одновременно был установлен выраженный значимый прирост относительного содержания базофилов, суммарно достигший 62,50% ($p<0,01$) к концу подготовительного периода. Доли лимфоцитов и нейтрофилов у спортсменов группы резерва оставались стабильными на всех этапах ($p>0,05$).

Регуляция функционального состояния организма осуществляется путем активации механизмов нейроиммунноэндокринной системы с участием клеток иммунной системы (Черешнев А.В., Юшков Б.Г., 2011). Интегральными показателями, которые отражают ответную реакцию организма как на

физиологические (адаптационные), так и на воспалительные или аллергические процессы являются лейкоцитарные индексы. Лейкоцитарные индексы, служат гематологическими маркерами оценки нарушения иммунного статуса и перетренированности спортсменов. В качестве интегративных и информативных по оценке состояния спортсмена в различные периоды тренировочной и соревновательной деятельности используют различные индексы (Трушина Э.Н., Мустафина О.К., 2023).

Лимфоцитарный индекс (ЛИ) рассчитывается как отношение содержания лимфоцитов к нейтрофилам (Л/Н) и отражает взаимоотношение гуморального и клеточного звена иммунной системы (табл. 30). Повышение индекса указывает на активную ответную реакцию клеток на воспаление. Снижение значения означает неполноценность иммунного ответа при воспалительной реакции. Нормативным показателем ЛИ у спортсменов считают значение $0,41 \pm 0,03$ (Свид-во о госуд-ой регистрации № 2024624085 от 11.10.2024). По данным других авторов показатель лейкоцитарного индекса спортсменов составляет $0,87 \pm 0,14$ (Трищенко С.Н. с соавт., 2011).

Таблица 30 – Динамика лимфоцитарного индекса (Л/Н) у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3], усл.ед.

Группа	I этап	II этап	III этап
Лидеры (n=10)	0,61 [0,42; 0,72] [#]	0,51 [0,34; 0,66] ^{##}	0,88 [0,48; 1,24] ^{###}
Резерв (n=10)	0,67 [0,48; 1,04]	0,59 [0,23; 1,03] ^{##}	0,70 [0,50; 1,11]
p	>0,05	>0,05	<0,05

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений. В группе лидеров: # – между I и II этапом ($p \leq 0,05$); ## – между II и III этапом ($p \leq 0,01$); ### – между I и III этапом ($p \leq 0,05$). В группе резерва: ## – между II и III этапом ($p \leq 0,05$).

Анализ значений лимфоцитарного индекса (Л/Н), представленных в таблице выявил, что у спортсменов обеих групп данный показатель на всех этапах превышал диапазон ($0,41 \pm 0,03$), что является характерным признаком состояния тренированности и согласуется с данными других исследователей ($0,87 \pm 0,14$). При оценке межгрупповых различий было установлено, что на III-ем этапе значение лимфоцитарно-нейтрофильного индекса (Л/Н) у спортсменов-лидеров было на 25,7% выше, чем у спортсменов группы резерва

($p < 0,05$). Данный факт указывает на активную ответную реакцию лимфоцитарной популяции клеток на воспалительные процессы в тканях, вызванные интенсивными нагрузками у лыжников-гонщиков с более высоким уровнем работоспособности.

Анализ динамики приростов лимфоцитарного индекса (Л/Н) по данным таблицы 31 выявил, что в группе лидеров наблюдалась двухфазная реакция иммунной системы, а именно: после значимого снижения показателя от I-го ко II-му этапу последовал выраженное повышение. В результате, итоговое значение индекса к III-му этапу превысило исходный уровень на 44,3% ($p < 0,05$), что свидетельствует об активации лимфоцитарного звена иммунитета в ответ на кумулятивную тренировочную нагрузку.

В группе резерва от I-го ко II-му этапу тенденция снижения индекса, сменилась значимым повышением показателя, который тем не менее был, практически, в 4 раза ниже, чем в группе лидеров. Изменение показателя индекса Л/Н за весь подготовительный период было статистически незначимым. Данный факт указывает на отсутствие выраженного кумулятивного сдвига в иммунном балансе у данных спортсменов.

Таким образом, у лыжников-гонщиков группы лидеров адаптация к тренировочным нагрузкам на этапах подготовки сопровождалась активной перестройкой лейкоцитарного звена с акцентом на усиление лимфоцитарного и базофильного компонентов.

У спортсменов группы резерва иммунный ответ на физические нагрузки отличается главным образом, перераспределением гранулоцитарных популяций – эозинофилов и базофилов. Выявленные признаки угнетения ряда клеточных популяций (эозинофилы, нейтрофилы, моноциты) к концу подготовительного периода могут отражать более низкий уровень функциональной готовности, ограниченные адаптационные резервы организма и активацию провоспалительных механизмов (относительный рост базофилов).

Интегральным показателем активности противовоспалительного и восстановительного пула иммунной системы является соотношение E_0/B_0 .

Нами был рассчитан индекс соотношения клеток лейкоцитарного звена Eo/Va как новый диагностический критерий оценки физиологического механизма, обеспечивающего ускорение процессов восстановления и регенерации мышц, сосудов и дыхательных путей, способствуя формированию долгосрочной адаптации к нагрузкам, повышению выносливости, вегетативному балансу, повышению функциональных возможностей организма спортсмена в условиях регулярных физических нагрузок (Brescia G. et al., 2021).

Исходя из рекомендаций нормативных диапазонов относительных показателей Eo и Va (под ред. Уйба, 2018), мы рассчитали индекс соотношения Eo/Va (2,75; 0,66–4,00) как среднее нормативное значение, для квалифицированных спортсменов циклических видов спорта мужского пола. Расчетные индексы соотношения абсолютных значений и относительных долей Eo/Va у обследованных нами лыжников-гонщиков, представлены в таблице 31.

Таблица 31 – Динамика индекса абсолютных показателей Eo/Va у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, $Me [Q1; Q3]$, усл.ед.

Группа	I этап	II этап	III этап
Лидеры (n=10)	2,50 [1,25; 3,25]	2,33 [1,00; 4,33]	2,00 [1,33; 7,50]
Резерв (n=10)	6,50 [2,33; 8,50] #	3,33 [2,00; 5,67] ##	2,33 [1,67; 5,67] ###
p	<0,01	>0,05	>0,05

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений. В группе резерва: # – между I и II этапом ($p \leq 0,01$); ## – между II и III этапом ($p \leq 0,05$); ### – между I и III этапом ($p \leq 0,05$).

У лидеров индекс соответствовал оптимальным «нормативным» значениям на этапах подготовки с тенденцией к снижению индекса на 20% к концу подготовительного периода. У спортсменов группы резерва на начальном базовом этапе подготовки значение индекса Eo/Va было более чем в 2 раза выше за счет большего абсолютного количества Eo и меньшего количества Va относительно показателей у спортсменов группы лидеров. На следующих этапах подготовительного периода наблюдалось снижение индекса до нормативных показателей.

Изменения абсолютных количественных показателей клеток лейкоцитарного звена на этапах подготовительного периода могут сочетаться с различными вариантами их относительной доли. В таблице 32 представлены относительные значения содержания Ео и Ва в крови у обследованных лыжников-гонщиков.

Таблица 32 – Динамика индекса процентного содержания Ео/Ва у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3], усл.ед.

Группа	I этап	II этап	III этап
Лидеры (n=10)	2,38 [1,80; 3,20]	2,61 [1,90; 4,00]	2,50 [1,70; 5,00]
Резерв (n=10)	6,88 [5,50; 8,50] [#]	2,92 [2,20; 4,00]	2,54 [1,80; 4,00] ^{###}
p	<0,01	>0,05	>0,05

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений. В группе резерва: # – между I и II этапом ($p \leq 0,01$); ### – между I и III этапом ($p \leq 0,01$).

Динамика индекса Ео/Ва (табл. 32) характеризовалась исходным доминированием содержания Ео у спортсменов группы резерва (превышение в 2,9 раза относительно лидеров), которое в процессе подготовительного периода снижалось на 57,6% ($p < 0,01$) ко II-му этапу и на 63,1% ($p < 0,01$) к III-му этапу, достигая к концу наблюдения значений, сопоставимых с группой лидеров. У спортсменов группы лидеров индекс Ео/Ва сохранял стабильность на протяжении всего подготовительного периода (колебания в пределах $\pm 10\%$ от исходного уровня).

Разнонаправленная динамика Ео и Ва позволила выявить различия в характере иммунного ответа у спортсменов с разным уровнем работоспособности, что нашло свое выражение в динамике индекса соотношения Ео/Ва. Анализ внутригрупповой динамики индекса соотношения эозинофилов и базофилов (Ео/Ва) позволил установить, что в группе лидеров значения индекса Ео/Ва демонстрировали статистически незначимую динамику на всех этапах подготовки, колебания не превышали 5 - 10%. Данный факт свидетельствует об относительной стабильности баланса между эозинофильным и базофильным звеном иммунитета у спортсменов группы лидеров в ответ на кумулятивную тренировочную нагрузку.

У спортсменов группы резерва статистически значимое снижение индекса Ео/Ва за весь подготовительный период составило указало на перераспределение клеток в гранулоцитарном звене с выраженным уменьшением относительного «веса» эозинофилов, что может отражать более напряженный характер адаптации иммунной системы к нагрузкам у лыжников-гонщиков группы резерва.

Обсуждение результатов. Функции Ео и Ва с чисто провоспалительной, традиционно ассоциируемой с аллергическими реакциями и борьбой с паразитами, в настоящее время смещаются на модуляцию иммунного ответа к восстановлению тканей, что является ключевым для адаптации к стрессу, вызванному физической нагрузкой (Terra R. et al., 2017). По данным литературных источников установлено, что эозинофилы (Ео), являясь ключевым источником IL-4, повышают энергообеспечение при длительных нагрузках и играют важную роль в профилактике бронхоспазма, индуцированного физической нагрузкой, повышая эффективность газообмена (Rankin L.C., Artis D., 2018).

Кроме того, индекс Ео/Ва может служить прогностическим показателем низкого уровня МПК, что подтверждается коэффициентом корреляции ($r = -0,4$) между значениями МПК и количеством эозинофилов по данным (Уйба, 2018).

Таким образом, адаптация системы крови к тренировочным нагрузкам у спортсменов-лидеров характеризуется количественно-качественными перестройками, направленными на оптимизацию кислородтранспортной функции, поддержание микроциркуляции и активацию адаптивного иммунитета. У спортсменов резерва адаптация характеризуется большим напряжением регуляторных механизмов с признаками иммунного дисбаланса, что может отражать недостаточность адаптационных резервов.

4.3. Динамика биохимических параметров системы крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Проблема выявления конкретных биохимических факторов, регулирующих работоспособность, остается актуальной, для спортсменов высокой и высшей квалификации, работающих с предельным напряжением систем вегетативного обеспечения мышечной деятельности. Показатели динамики активности ряда ферментов, характеризующих обменные процессы, по которым на подготовительном этапе можно диагностировать признаки утомления необходимы для рационального управления подготовкой спортсменов (Гурская А.И., 2014). Результаты биохимического мониторинга на этапах подготовительного периода представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Показатели активности ферментов в сыворотке крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
АЛТ, ед/л (N= 12,6 – 25,1)			
Лидеры (n=10)	27,40 [21,15; 32,70]	13,50 [13,30; 15,80]	13,10 [12,40; 18,50]###
Резерв (n=10)	14,55 [10,87; 18,22]	17,30 [9,95; 20,60]	15,75 [13,12; 19,50]
p	<0,05	>0,05	>0,05
АСТ, ед/л (N= 18,3 – 37,6)			
Лидеры (n=10)	31,00 [30,15; 49,80]#	17,60 [17,40; 24,90]	21,00 [16,80; 27,00]
Резерв (n=10)	23,50 [20,42; 27,55]	26,30 [16,42; 37,82]	21,65 [18,07; 35,50]
p	>0,05	>0,05	>0,05
ЛДГ, ед/л (N=168,0 – 222,0)			
Лидеры (n=10)	224,80 [202,35; 293,30]	194,00 [186,00; 230,00]	189,80 [182,30; 201,00]
Резерв (n=10)	208,75 [168,12; 237,60]#	250,0 5 [203,80; 290,45]	190,00 [162,50; 236,37]###
p	>0,05	>0,05	>0,05

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений. В группе лидеров: # – между I и II этапом ($p \leq 0,05$); ### – между I и III этапом ($p \leq 0,01$). В группе резерва: # – между I и II этапом ($p \leq 0,05$); ### – между I и III этапом ($p \leq 0,05$).

Анализ исследуемых параметров показал отклонение от требований нормальности распределения и высокую вариативность уровня мочевины (CV 38,96%) и АСТ (CV 31,0%) у спортсменов группы лидеров на первом этапе подготовки. У спортсменов группы резерва коэффициент вариации имел максимальные значения по параметру АСТ (43,49%) и АЛТ (35,87%) на втором

этапе подготовки и по показателю АСТ (39,20%) в конце подготовительного периода.

Диапазоны нормативных биохимических показателей для лыжников-гонщиков мужского пола использовали из методических рекомендаций для высококвалифицированных спортсменов (Уйба, 2018). Сравнительный анализ активности ферментов сыворотки крови у представителей группы лидеров выявил превышение референтных уровней для спортсменов по показателю АЛТ на 9,16% и смещение межквартильного размаха в сторону повышения только на начальном этапе подготовки по трем ферментам (АЛТ, АСТ, ЛДГ). Повышение активности АЛТ и АСТ у квалифицированных спортсменов указывает на высокую функциональную активность миокарда и скелетных мшц. Повышенные значения ЛДГ указывают на активизацию анаэробных процессов. Далее до конца подготовительного периода активность ферментов соответствовала рекомендованным для спортсменов нормативным значениям.

У спортсменов группы резерва только медианное значение активности ЛДГ превышало нормативный показатель на 12,61% в конце базового этапа подготовки (II этап), но межквартильный размах на всех этапах подготовительного периода существенно превышал границы нормативных показателей.

Анализ межгрупповых различий в динамике ключевых ферментов у лыжников-гонщиков выявил, что на I-ом этапе подготовительного периода активность фермента АЛТ в группе лидеров была на 46,89% выше ($p < 0,05$), чем в группе резерва. Внутригрупповые показатели активности АЛТ у лыжников группы лидеров значимо снижались от начала базового этапа к концу специально-подготовительного этапа до нижней границы нормативных показателей.

Медианные значения уровня исследуемых биохимических параметров мы сопоставили с данными, полученными для лыжников-гонщиков сборной команды Беларуси, у которых в интервале от нижнего Q (25 %) до верхнего Q (75 %) квартилей, содержание мочевины составило 5,45 – 7,48 ммоль/л; АСТ

29,68 – 45,4 Ед/л; АЛТ 20,95 – 27,94 Ед/л (Гилеп И.Л. с соавт., 2021). Было выявлено, что в большинстве случаев значения нижнего и верхнего квартиля указанных биохимических маркеров были более низкими в обеих группах обследуемых нами лыжников-гонщиков. Исключение составили показатели на I-ом этапе подготовки у группы лидеров, где уровень АЛТ, АСТ и мочевины превышал референсные значения белорусских спортсменов.

Таким образом, проанализированные результаты, с одной стороны, подтверждают мнение (Гилеп И.Л. с соавт., 2021), что более узкие диапазоны концентраций для веществ, являющихся маркерами мобилизации основных источников энергии, свидетельствуют о более высокой слаженности обменных процессов в организме спортсменов. С другой стороны, более узкие межквартильные различия биохимических показателей, обследованных лыжников-гонщиков, в сравнении с данными белорусских лыжников, указывают на большую однородность исследуемой нами выборки спортсменов.

Динамика содержания АЛТ и АСТ в сыворотке крови у лыжников-гонщиков обусловила направленность изменения «коэффициента де Ритиса» (табл. 34), который отражает соотношение катаболических и анаболических процессов в организме и является критерием оценки биоэнергетики (Рослый И.М., Водолажская М. Г., 2008).

У спортсменов коэффициент де Ритиса является индикатором активации глюконеогенеза, при котором для поддержания адекватного уровня глюкозы в крови требуется соответствующая концентрация АЛТ. Анализ данных (табл. 34) выявил статистически значимое межгруппное различие коэффициента де Ритиса на I-ом этапе подготовки, с превышением показателя в группе резерва на 42,47%, относительно группы лидеров.

Внутригрупповая динамика имела разнонаправленный характер, в частности, в группе лидеров отмечалась тенденция последовательного повышения коэффициента от I-го ко II-му этапу на 15,0% и от II-го к III-му этапу на 23,1%.

Таблица 34 – Динамика коэффициента де Ритиса (АСТ/АЛТ) у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3], усл.ед.

Группа	I этап	II этап	III этап
Лидеры (n=10)	1,13 [1,00; 1,52]	1,30 [1,19; 1,58]	1,60 [1,33; 1,77]###
Резерв (n=10)	1,61 [1,34; 2,11]	1,52 [1,06; 2,32]	1,37 [1,12; 1,81]
p	<0,05	>0,05	>0,05

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений. В группе лидеров: ### – между I и III этапом ($p \leq 0,05$).

Общий прирост коэффициента де Ритиса за период подготовки в группе лидеров составил 41,6% ($p < 0,05$). У спортсменов группы резерва, напротив, наблюдалась тенденция к снижению коэффициента – на 5,6% от I-го ко II-му этапу и на 9,9% от II-го к III-му этапу. Значения коэффициента де Ритиса находилось в пределах или вблизи верхней границы клинических нормативов (0,91–1,75 усл.ед.), при этом квартильные значения Q3 у спортсменов резерва на I-ом и II-ом этапах, а у лидеров на III-ем этапе незначительно превышали референсный диапазон.

Обсуждение результатов. У спортсменов в группе резерва активность трансаминаз в сыворотке крови была значительно ниже, чем показатели у группы лидеров, на первом этапе, далее наблюдалась фаза относительного роста активности ферментов на II-ом этапе и направленность к снижению, как и у лидеров, на третьем этапе подготовки. Полученные данные свидетельствуют о различной направленности метаболической адаптации к тренировочным нагрузкам у спортсменов группы лидеров и группы резерва. Анализ динамики коэффициента де Ритиса у лыжников-гонщиков в подготовительном периоде выявил различную направленность метаболической адаптации у спортсменов разного уровня работоспособности. Группа лидеров демонстрировала направленную адаптацию с последовательным повышением коэффициента, отражающим сдвиг баланса в сторону катаболических процессов (активность АСТ увеличивается относительно АЛТ).

В условиях интенсивной физической нагрузки «коэффициент де Ритиса» служит индикатором активации глюконеогенеза через глюкозоаланиновый шунт с использованием АЛТ, который необходим для поддержания адекватного

уровня глюкозы в крови. В результате активируются процессы распада белков и окисления аминокислот, что сопровождается усиленным образованием аммиака (NH_3) при мышечной деятельности, который связывается в печени в цикле синтеза мочевины.

АСТ является ключевым ферментом в интеграции цикла трикарбоновых кислот, углеводного, липидного и белкового обмена, маркером транспорта протонов в митохондриии и их функционального состояния – показателем «горения» митохондриии (Ермолаева Е.Н. с соавт., 2015). Одновременное повышение активности ферментов АСТ и ЛДГ, подтверждает активацию гликолитического пути энергообразования в скелетных мышцах и миокарде.

В группе резерва наблюдалась тенденция к снижению коэффициента от исходно более высоких значений, что может указывать на постепенную нормализацию метаболического статуса после начального стрессового отклика.

Следовательно, спортсмены группы лидеров демонстрируют энергетически более эффективную адаптацию, направленную на оптимизацию катаболических процессов. У спортсменов группы резерва метаболическая адаптация носит более напряженный, отсроченный и вариативный характер. Полученные различия подтверждают, что анализируемые биохимические показатели обусловлены особенностями вида спорта, этапами подготовки с разной интенсивностью тренировочных нагрузок, а также индивидуальными биохимическими ответами организма спортсменов, в связи с чем формируется индивидуальный тип адаптационных реакций конкретного спортсмена (Гилеп И.Л. с соавт., 2021).

Динамика концентрации мочевины, глюкозы, триглицеридов у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода представлена в таблице 35.

Анализ представленных в таблице 35 медианных значений основных метаболитов белкового (мочевина), углеводного (глюкоза) и жирового обмена (триглицериды) выявил их соответствие, рекомендованным нормативам, на всех этапах подготовительного периода

Таблица 35 – Показатели биохимических параметров крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
Мочевина, ммоль/л (N=4,4 – 6,8)			
Лидеры (n=10)	5,60 [4,30; 8,10]	6,20 [5,80; 6,40]	5,50 [5,00; 6,40]
Резерв (n=10)	5,95 [5,75; 6,47]	5,65 [4,92; 6,22]	5,15 [4,87; 5,57]
p	>0,05	>0,05	>0,05
Глюкоза, ммоль/л (N=4,1 – 5,3)			
Лидеры (n=10)	4,99 [4,93; 5,02]	5,23 [5,20; 5,26]	5,35 [5,31; 5,41]
Резерв (n=10)	4,82 [4,75; 4,93]	4,80 [4,76; 4,85]	5,25 [5,04; 5,30]
p	>0,05	<0,05	>0,05
Триглицериды, ммоль/л (N= 0,5 – 1,0)			
Лидеры (n=10)	0,80 [0,71; 0,90] [#]	0,59 [0,57; 0,63]	0,65 [0,59; 0,74]
Резерв (n=10)	0,56 [0,55; 0,72]	0,62 [0,57; 0,66]	0,77 [0,61; 0,81] ^{###}
p	<0,05	>0,05	>0,05

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений. В группе лидеров: # – между I и II этапом ($p \leq 0,05$). В группе резерва: ### – между I и III этапом ($p \leq 0,05$).

При этом, у спортсменов группы лидеров в начале базового этапа подготовки отмечен значительный межквартильный размах в сторону превышения верхней границы нормы по концентрации мочевины; межгрупповые различия установлены по концентрации глюкозы в конце, а по триглицеридам в начале базового этапа подготовки с более высокими, но со значениями в пределах нормы.

4.4. Динамика показателей концентрации гормонов в крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Гормональный статус организма спортсмена сопряжен с активностью метаболизма скелетной мускулатуры и оказывает на него ключевое влияние, определяя эффективность работоспособности организма в целом. Маркерами тренировочного стресса у спортсменов являются показатели тестостерона и кортизола на фоне адаптации к физическим нагрузкам. Оба гормона отражают кислородтранспортные возможности системы крови (Даутова А.З. с соавт., 2022; Васильева М.Е. с соавт., 2024). Поэтому результаты динамического исследования гормонального уровня в организме спортсмена могут указывать на эффективность тренировочного процесса и адаптацию к нагрузкам.

Нормативные значения для квалифицированных спортсменов (под ред. Уйба В.В., 2018) для тестостерона определены в диапазоне ($21,53 \pm 8,52$ нмоль/л) и для кортизола – ($506,66 \pm 201,50$ нмоль/л), среднее значение индекса анаболизма ИА – 4,25%

В таблице 36 представлены значения концентрации гормонов в крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.

Таблица 36 – Показатели гормонального статуса у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
Тестостерон, нмоль/л			
Лидеры (n=10)	19,26 [16,61; 22,59]	17,50 [17,45; 23,29]	18,60 [15,40; 20,82]
Резерв (n=10)	13,94 [13,45; 26,52]	14,08 [11,12; 26,56]	19,05 [14,67; 30,10]###
p	>0,05	>0,05	>0,05
Кортизол, нмоль/л			
Лидеры (n=10)	451,92 [342,94; 577,46]	503,24 [379,91; 538,01]	485,03 [313,42; 674,30]
Резерв (n=10)	401,71 [288,87; 538,01]	512,07 [331,63; 650,85]	514,28 [441,99; 641,74]###
p	>0,05	>0,05	>0,05
Индекс анаболизма (ИА), %			
Лидеры (n=10)	4,26 [3,91; 4,84]	3,48 [3,09; 4,33]	3,83 [3,09; 4,91]
Резерв (n=10)	3,47 [2,90; 4,93]	2,75 [2,35; 4,08]##	3,70 [3,32; 4,69]
p	>0,05	>0,05	>0,05

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений. В группе резерва: ## – между II и III этапом ($p \leq 0,05$); ### – между I и III этапом ($p \leq 0,05$).

Показатели тестостерона и кортизола, представленные в таблице 36, находились в пределах нормативных значений, рекомендованных для квалифицированных спортсменов циклических видов спорта. В обеих группах лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода значимых межгрупповых различий не было выявлено. Представленные данные, показывают некоторые различия внутригрупповой динамики уровня гормонов у спортсменов лидеров и резерва на этапах подготовительного периода. Так, в группе лидеров отмечались колебания медианных значений тестостерона и кортизола на этапах подготовки, не выходящие за пределы нормативных показателей. У спортсменов группы резерва наблюдались более существенные приросты концентрации тестостерона от I-го к III-му этапу на 36,66% ($p < 0,05$). Следует отметить, что на первом этапе межгрупповые различия (на правах

тенденции) по тестостерону составляли 27,62%, с большими значениями у группы лидеров, а межквартильный размах показателей был в 2 раза выше в группе резерва. Значения кортизола крови у спортсменов группы резерва от I-го к III-ему этапу повышались на 28,0% ($p < 0,05$).

Особенности направленности метаболических процессов, доминирующих в организме спортсменов, отражает интегральный индекс анаболизма (тестостерон/кортизол).

Данные таблицы 36 демонстрируют, что от I-го ко II-му этапу у лыжников обеих групп наблюдалось снижение индекса анаболизма. В группе лидеров медиана ИА снизилась, оставаясь выше нижней границы нормативного порога (3%). В группе резерва медиана ИА снизилась на 20,75% ($p > 0,05$), что ниже нормативного показателя в 3%, используемого в качестве маркера риска развития перетренированности с преобладанием катаболических процессов (Будко А.Н., Рыбина И.Л., 2016). Это свидетельствует о большей активации катаболических процессов и развитии утомления у спортсменов данной группы на базовом этапе подготовки.

В конце специально-подготовительного этапа (III) наблюдался рост показателя ИА в обеих группах относительно II-го этапа. В группе резерва этот прирост был выраженным (на 34,55%, $p < 0,05$), что обусловлено значимым повышением уровня тестостерона.

Следует отметить, что при оценке гормонального статуса спортсменов, авторы указывают концентрации гормонов в различных единицах измерения, что затрудняет сравнительный анализ результатов. По значениям тестостерона наши результаты сопоставимы с данными (20,17 нмоль/л) для лыжников-гонщиков, представленными в работе (Руль Е.А. с соавт., 2022), но показатели кортизола (322 нмоль/л), по сравнению с нашими данными, были существенно ниже. Вероятно, эти различия обусловлены более, старшим возрастным составом (от 22-х до 26 лет) группы, обследованных Е.А. Руль с соавторами, лыжников. Также, наши результаты сопоставимы с данными, представленными в работе (Васильева М.Е. с соавт., 2025), полученными при обследовании

биотлонистов, соответствующих по возрасту и спортивной квалификации спортсменам нашей выборки.

Результаты полученных данных показывают, что тестостерон и кортизол чувствительны к изменениям в тренировочном объеме и интенсивности у спортсменов высокого уровня подготовленности с преимущественным развитием выносливости. При этом как повышение, так и падение уровня кортизола может быть связано с утомлением. О высоком уровне тренированности позволяет судить его умеренное повышение. Однако, следует указать, что в более ранних исследованиях не было выявлено связи между индексом анаболизма и синдромом перетренированности (Duclos M.A., 2008). Тренировки на развитие выносливости с мощностью не ниже порога анаэробного обмена (ПАНО) сопровождаются ростом концентрации уровня кортизола, что наблюдается на базовом этапе подготовки у лыжников обеих групп, но более выраженным у спортсменов из группы резерва.

Таким образом, основное различие между группами при адаптации к нагрузкам подготовительного периода заключается в выраженности адаптационного стресса: у спортсменов группы резерва стресс-реакция была более выраженной, что в итоге могло стимулировать мощную компенсаторную реакцию. У спортсменов группы лидеров реакция была оптимальной, что характерно для более высокого уровня тренированности и эффективных механизмов поддержания гомеостаза. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для группы резерва нагрузка на базовом этапе была чрезмерной; для лидеров – адекватной. Динамика значений индекса (ИА) отражает направленность тренировочного процесса, а его показатели ниже 3% указывают на снижение переносимости тренировочных нагрузок (дезадаптивный характер).

4.5. Особенности кардиогемодинамической и дыхательной функции у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Состояние деятельности центральной и периферической гемодинамики определяет уровень и скорость доставки кислорода к работающим мышцам

(Rowell, L.B. et al.,1990). Адекватные тренировки на развитие выносливости сопровождаются улучшением растяжимости и снижением тонуса артерий и обменных капилляров, что способствует снижению скорости кровотока и оптимальному использованию кислорода мышцами. Периферический отдел кровообращения является специфическим звеном в деятельности сердечно-сосудистой системы (Кудря О.Н., с соавт., 2012).

4.5.1. Центральное и периферическое гемодинамическое обеспечение адаптивных процессов у лыжников-гонщиков к физическим нагрузкам на этапах подготовительного периода

Результаты исследования реактивности центральной гемодинамики у обследованных лыжников-гонщиков до и после функциональной ортостатической пробы, на разных этапах периодов подготовки, представлены в таблице 37. Медианные значения гемодинамических параметров в состоянии покоя (в положении лежа) на начальном базовом, в конце базового и в конце специально-подготовительного этапов исследования указывают на статистически значимые межгрупповые различия. Так, значения ЧСС на II-ом и III-ем этапах подготовки были статистически значимо ниже у спортсменов группы лидеров на 11,5% ($p<0,05$) на 15,2% ($p<0,05$), соответственно, по сравнению с группой резерва. Значимых различий по САД и ДАД между группами лидеров и резерва на этапах подготовки не выявлено. Внутригрупповые значения ДАД в состоянии покоя у лидеров имели тенденцию к увеличению на III-ем этапе, по сравнению с I-ым на 8,2%. Аналогичные абсолютные значения по показателям САД (124,0; 116,5-127,5) и ДАД (62,5; 54,5-66,0), полученные в летний период исследования у лыжников-гонщиков, представлены в монографии (Дерновой В.Ф., Прошева В.И., 2024) В целом, динамические колебания параметров САД и ДАД от этапа к этапу, в обеих группах находились в пределах физиологических значений, определенных для квалифицированных спортсменов (под ред. Уйба, 2018).

Таблица 37 – Показатели гемодинамики у лыжников-гонщиков в положении лежа на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
ЧСС лежа, уд./мин			
Лидеры (n=10)	47,00 [45,25; 50,25]	42,50 [41,50; 46,25]	42,00 [39,00; 46,00]
Резерв (n=10)	50,50 [50,00; 51,75]	48,00 [46,50; 48,25]	49,50 [46,75; 52,25]
p	>0,05	< 0,05	< 0,05
САД лежа, мм рт.ст.			
Лидеры (n=10)	123,00 [118,25; 126,75]	124,50 [119,50; 126,00]	123,00 [121,75; 126,25]
Резерв (n=10)	118,00 [107,50; 121,00]	120,00 [111,50; 124,50]	117,00 [111,75; 123,25]
p	>0,05	>0,05	>0,05
ДАД лежа, мм рт.ст.			
Лидеры (n=10)	61,00 [58,50; 69,75]	61,00 [60,00; 67,75]	66,00 [62,00; 68,25]
Резерв (n=10)	67,00 [63,75; 70,50]	66,50 [61,75; 68,25]	67,00 [63,00; 69,00]
p	>0,05	>0,05	>0,05
УОК лежа, мл			
Лидеры (n=10)	104,00 [103,25; 112,75]	107,00 [102,50; 112,25]	108,50 [105,00; 112,25]
Резерв (n=10)	99,50 [96,75; 101,75]	103,50 [100,75; 108,00]	100,00 [98,75; 103,50]
p	>0,05	>0,05	>0,05
МОК лежа, л/мин			
Лидеры (n=10)	4,88 [4,67; 5,19]	4,54 [4,46; 4,74]	4,55 [4,40; 4,80]
Резерв (n=10)	5,02 [4,85; 5,11]	4,97 [4,64; 5,23]	4,95 [4,78; 5,20]
p	>0,05	>0,05	>0,05
ОПСС лежа, Па·мл ⁻¹			
Лидеры (n=10)	157,60 [133,54;162,22]	164,57 [153,25;170,12]	166,50 [162,47;168,72] ###
Резерв (n=10)	146,05 [139,59;153,15]	151,11 [139,29;158,31]	147,34 [135,29; 158,24]
p	>0,05	< 0,05	< 0,05

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений: ### – между I и III этапом.

Межгрупповые различия по УОК и МОК были статистически не значимыми на всех этапах подготовительного периода, однако значения УОК у лидеров были выше на 4,5-8,5 мл, а МОК ниже, по сравнению с показателями спортсменов группы резерва. Значимые различия ($p<0,05$) на II-ом и III-ем этапах подготовки были выявлены по параметру ОПСС с более высокими значениями в группе лидеров на 8,9% и 13,0%, соответственно, по сравнению с группой резерва. В целом, на основании полученных данных в положении физиологического покоя, можно говорить об оптимальном адаптивном состоянии системы гемодинамики у спортсменов обеих групп на протяжении всего подготовительного периода. Более низкие значения ЧСС в покое у лыжников группы лидеров, а, следовательно, большее расслабление миокарда

во время диастолы обеспечивает увеличение коронарного кровотока (Шауцукова Л.З., 2005). Большие значения УОК в состоянии покоя, наблюдаемые у лидеров, указывают на более эффективную адаптацию организма к физическим нагрузкам подготовительного периода. Значимые межгрупповые различия гемодинамических параметров в положении лежа указывают на особенности вегетативного обеспечения организма спортсменов группы лидеров, в сравнении с представителями группы резерва.

Для установления функциональных резервов и регуляторных возможностей системы кровообращения у лыжников-гонщиков была проведена активная ортостатическая проба (АОП), которая дает возможность изучить компенсаторные гемодинамические и вегетативные сдвиги (Ванюшин Ю.С., с соавт., 2020).

В таблице 38 представлены результаты реакции гемодинамических параметров на активный ортостаз по этапам подготовительного периода. В реакции на ортостаз в группах лыжников была зафиксирована адекватная реакция ЧСС в сторону повышения при симпатотонической активации. Значимые межгрупповые различия ЧСС в реакции на ортопробу были выявлены на всех этапах подготовки, с более высокими значениями в группе резерва: на 17,3%, 15,9% и 19,9%, соответственно на I, II и III этапах подготовительного периода. Реакцию ЧСС на пике перехода в вертикальное положение в обеих группах спортсменов можно характеризовать как тахисистолическую, так как увеличение показателя от исходного уровня составило 38-46 уд./мин у лидеров и 48-50 уд./мин в группе резерва. Межгрупповые различия по пиковой ЧСС стали значимыми на III-ем этапе (+12,4% в группе резерва, $p < 0,05$).

Статистически значимые различия в реакции на ортостатическую пробу были установлены по значениям САД и ДАД на III-ем этапе (+12,6% и +10,3% у лидеров), по МОК на всех этапах в группе резерва значения были выше на 11,0 – 14,8%, по параметру ОПСС значения у лидеров были выше, чем у резерва на 14,7% (I этап), 11,3% (II этап) и 22,0% (III этап).

Таблица 38 – Показатели гемодинамики у лыжников-гонщиков при ортостатической пробе на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
ЧСС стоя, уд./мин			
Лидеры (n=10)	78,00 [60,75; 80,25]	72,50 [60,50; 80,75]	73,00 [59,00; 81,00]
Резерв (n=10)	91,50 [85,75; 95,00]	84,00 [78,00; 90,00]	87,50 [87,00; 90,25]
p	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ЧСС стоя пик, уд./мин			
Лидеры (n=10)	85,00 [83,25; 95,75]	86,50 [83,25; 94,25]	88,50 [86,50; 93,50]
Резерв (n=10)	98,50 [97,25; 108,75]	96,50 [89,25; 105,25]	99,55 [95,00; 100,75]
p	>0,05	>0,05	< 0,05
САД стоя, мм рт.ст.			
Лидеры (n=10)	117,50 [113,75; 127,00]	122,50 [118,50; 124,00]	123,50 [116,75; 125,00]
Резерв (n=10)	113,00 [108,75; 115,75]	116,50 [109,50; 125,25]	108,00 [103,75; 116,25]
p	>0,05	>0,05	< 0,01
ДАД стоя, мм рт.ст.			
Лидеры (n=10)	71,50 [68,50; 77,00]	73,00 [69,75; 76,50]	75,00 [72,00; 77,25]
Резерв (n=10)	75,50 [70,00; 78,25]	73,50 [60,00; 76,00]	65,00 [60,00; 75,00]
p	>0,05	>0,05	< 0,01
УОК стоя, мл			
Лидеры (n=10)	91,00 [89,50; 94,00]	93,50 [91,75; 94,00]	93,50 [90,75; 96,25]
Резерв (n=10)	86,00 [84,75; 88,75]	92,50 [89,00; 97,00]	88,00 [87,75; 91,25]
p	>0,05	>0,05	>0,05
МОК стоя, л/мин			
Лидеры (n=10)	7,09 [6,18; 7,37]	6,77 [6,25; 6,96]	6,82 [6,34; 7,03]
Резерв (n=10)	7,87 [7,57; 8,07]	7,77 [6,82; 8,70]	7,70 [6,82; 8,30]
p	< 0,01	< 0,01	< 0,01
ОПСС стоя, Па·мл ⁻¹			
Лидеры (n=10)	109,24 [102,72; 127,86]	116,05 [111,82; 122,94]	117,66 [110,24; 129,03]
Резерв (n=10)	95,60 [90,18; 98,79]	102,89 [77,47; 113,20]	91,79 [80,69; 108,41]
p	< 0,01	< 0,05	< 0,01

При двухминутном вертикальном положении у представителей группы лидеров медианное значение ЧСС снижалось от пиковых показателей на 15%, 33%, 37% по этапам подготовки, отражая темпы восстановления и указывая на повышение уровня тренированности. В группе резерва снижение от пиковых показателей было в диапазоне от 7 до 15%, что в 2-3 раза ниже показателей группы лидеров.

Внутригрупповые различия по САД и ДАД в положении стоя на этапах подготовки имели ту же направленность, что и в положении лежа, колебания показателей не превышали 5-7%. Согласно классификациям ортостатических реакций (Фомич Г.М., 2010) и критериям, предложенным Г.А. Макаровой

(2002), Н.А. Скуратовой (2011), установленный прирост ЧСС у обследованных лыжников-гонщиков не укладывается в нормотонический вариант (учащение ЧСС не более, чем на 30 уд/мин). По данным других авторов (Иорданская Ф.А., Бучина Е.В., 2017) нормальная ортостатическая устойчивость характеризуется увеличением ЧСС от 15 до 25 уд./мин. Причина различий в оценке вегетативной ортостатической устойчивости спортсменов обусловлена, тем, что регистрация параметров ЧСС и АД в нашем исследовании проводилась в конце 2-ой мин. ортостаза, а не 5-ой мин., как в выше указанных работах, когда значительная доля показателей сглаживается восстановительными процессами в системе гемодинамики.

Реакция на ортостаз не выявила межгрупповых различий по динамике показателей УОК (рис. 11). При ортостазе снижение УОК чаще всего находится в пределах 10-20 % и не более, чем на 40% считается адекватным (Convertino V.A., 2002, Иорданская Ф.А., Бучина Е.В., 2017). В нашем случае снижение УОК в группе лидеров было на уровне 12,5 – 14%; в группе резерва на уровне 10 – 14%. При этом медианные значения УОК в группе резерва на II-ом этапе были значимо выше, относительно показателей этой группы на I-ом этапе.

Реактивность системы гемодинамики на ортостаз по показателю МОК была более выражена в группе резерва на всех этапах подготовительного периода. Приросты МОК (относительно положения лежа) в группе лидеров были на уровне 45-50%, ($p < 0,01$), а у представителей группы резерва – 55-57% ($p < 0,01$). Внутригрупповое снижение значений ОПСС в ответ на ортостаз было значительным в обеих группах, что характерно для адекватной сосудистой реакции при переходе в вертикальное положение. В группе лидеров медианное снижение ОПСС составило -30,7% (I этап, $p < 0,01$), -29,5% (II этап, $p < 0,01$) и -29,3% (III этап, $p < 0,01$). В группе резерва снижение ОПСС было более выраженным: -33,9%, -31,9% и -36,7% соответственно на I-ом, II-ом и III-ем этапах ($p < 0,01$). Согласно литературным данным, снижение ОПСС является адаптивно-компенсаторным ответом либо на повышение жесткости аорты, направленной на поддержание адекватного уровня МОК (Дегтярев В.А.,

2015); либо является следствием снижения вязкости крови, что обуславливает увеличенный венозный возврат к сердцу (Амбросимова Н.В., с соавт., 2022).

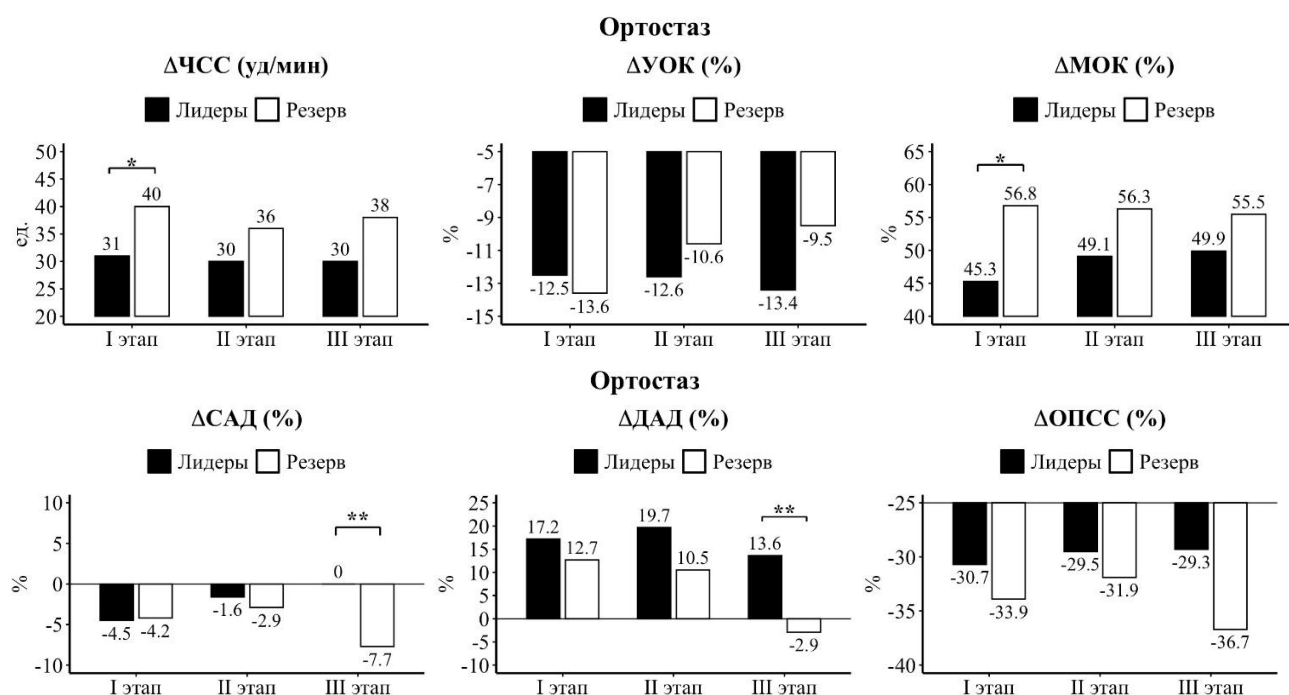


Рисунок 11 – Внутригрупповые приросты показателей гемодинамики на активную ортостатическую пробу у лыжников-гонщиков, %

Примечание: уровень значимости различий: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$.

Достоверные межгрупповые различия приростов были установлены на I-ом этапе по показателю ЧСС и МОК, а на III-ем – между значениями САД и ДАД.

Таким образом, адаптационные процессы у лыжников-гонщиков группы лидеров направлены на формирование эффективной, экономичной и стабильной системы кровообращения с доминированием инотропного и сосудистого компонентов регуляции. У спортсменов группы резерва адаптация системы кровообращения в большей степени обеспечивается за счет функциональной мобилизации и сочетанных механизмов (хронотропного и инотропного механизмов), что характеризует менее совершенный и более энергозатратный тип адаптации к тренировочным нагрузкам.

Результаты данного раздела представлены в статье: Бахарева, А.С. Гемодинамический ответ на ортостатическое воздействие на этапах

подготовительного периода у лыжников-гонщиков с разным уровнем работоспособности / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, В.В. Эрлих // Человек. Спорт. Медицина. – 2025. – Vol. 25, No. 1. – P. 59-67. – DOI: 10.14529/hsm250108.

4.5.2. Вариабельность сердечного ритма по показателю RMSSD у лыжников-гонщиков при проведении ортостатической пробы на этапах подготовительного периода

Для оценки функционального состояния спортсменов используют метод вариабельности сердечного ритма (BCP), отражающего активность автономного контура вегетативной регуляции, в частности показатель RMSSD (квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар нормальных интервалов RR), характеризующий активность парасимпатического звена (Катаев Д.А. с соавт., 2024). Чем активнее звено парасимпатической регуляции, тем выше значение RMSSD, этот показатель более предпочтителен, по сравнению с pNN50 и NN50, т.к. обладает лучшими статистическими свойствами (Hinde K. Et al., 2021). При этом, данные параметры имеют высокую степень корреляции между собой (Malik M. et al., 1996).

Единых установленных нормативных значений RMSSD у спортсменов по видам специализации нет, по целому ряду причин, которые обусловлены необходимостью учета дополнительных факторов (нагрузка, период тренировки, спортивный стаж, исходный вегетативный тонус, возраст и т.д.). Обобщенно, для спортсменов диапазон значений RMSSD составляет от 30-35 до 100-110 мс (Мальцев А.Ю. с соавт., 2010; Кудря О.Н., 2014; Левушкин С.П. с соавт., 2016; Марков А.Л. с соавт., 2018).

С целью выявления особенностей BCP в покое и при ортостатической пробе, мы проанализировали показатель RMSSD у лыжников-гонщиков, дифференцированных на группы лидеров и резерва на этапах подготовительного периода.

Исходные межгрупповые значения RMSSD в положении лежа статистически значимо не различались. Однако абсолютные показатели в конце базового и специально-подготовительного периода были выше на 26-30 % у спортсменов группы резерва, но на правых тенденции ($p > 0,05$) (табл. 39), отражая повышение тонуса парасимпатического звена вегетативной регуляции при возрастании физической нагрузки на этапах подготовки. Увеличение RMSSD, указывает на снижение управления со стороны центрального контура регуляции (Левушкин С.П. с соавт., 2016).

Таблица 39 – Показатель RMSSD у лыжников-гонщиков в положении лежа и стоя при ортостатическом воздействии на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

группа	I этап	II этап	III этап
RMSSD лежа, мс			
Лидеры (n=10)	133,00 [84,25; 154,75]	117,00 [80,00; 161,25]	108,00 [82,50; 136,25]
Резерв (n=10)	131,50 [90,25; 174,81] [#]	147,50 [119,00; 182,15]	140,50 [108,00; 185,00]
p	> 0,05	> 0,05	> 0,05
RMSSD стоя, мс			
Лидеры (n=10)	28,50 [23,75; 48,25] †	32,00 [22,25; 39,25] †	34,50 [22,00; 50,50] †
Резерв (n=10)	16,50 [10,00; 21,50] †	19,50 [13,50; 26,25] †	19,50 [12,75; 21,00] †
p	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений. В группе резерва: # – между I и II этапом ($p \leq 0,05$). † – статистически значимые внутригрупповые различия при переходе в ортостаз ($p \leq 0,001$).

В ортостазе (в положении стоя) между группами на всех этапах подготовки были зафиксированы статистически значимые различия медианных значений RMSSD. Спортсмены группы лидеров демонстрировали достоверно значимо более высокие значения RMSSD, по сравнению со спортсменами группы резерва: на I-ом этапе различия составили 42,10%; на II-ом – 39,06%; на III-ем – 43,47%. Данный факт указал на более высокую парасимпатическую активность в условиях ортостаза у спортсменов группы лидеров на всех этапах подготовки.

Анализ внутригрупповой динамики показателя RMSSD у лыжников-гонщиков в положении лежа на этапах подготовительного периода выявил, что у группы лидеров наблюдалась тенденция к снижению значений RMSSD от

начала к концу подготовительного периода на 18,8%; в группе резерва тенденция к увеличению показателя на 12,16% ко 2-ому этапу сменялась на слабо выраженную тенденцию к снижению. Противоположная направленность динамики RMSSD обусловила межгрупповую разницу в приростах показателя, которая наблюдалась за период от I-го этапа к III-му, что демонстрирует межквартильный размах значений у лидеров в сторону повышения в ортостазе, а у спортсменов группы резерва в покое. Переход в вертикальное положение сопровождался закономерным подавлением активности парасимпатической регуляции в обеих группах, с более выраженной статистически значимой реакцией в группе резерва на всех трех этапах подготовительного периода. В условиях функциональной нагрузки спортсмены группы лидеров продемонстрировали поступательное увеличение RMSSD на всех этапах, что свидетельствует о повышении парасимпатического тонуса в результате проведенного тренировочного процесса. В группе резерва наблюдался значимый прирост RMSSD на переходе от I-го ко II-му этапу на 18,18%, далее показатель не изменялся.

Выраженность подавления вагуса в большей степени проявилась у группы резерва, что указывает на повышенную симпатическую активацию в ответ на ортостатический стресс. На наш взгляд, это отражает компенсаторную реакцию системы кровообращения спортсменов резерва на недостаточный венозный возврат (Фомич А.Н., 2010).

Таким образом, анализ реактивности ВНС у лыжников группы лидеров на ортостаз показал, что поддержание вегетативного баланса оптимизировалось от этапа к этапу подготовки, что и проявилось в нормальном уровне ортостатической устойчивости. Реактивность организма лыжников группы резерва на ортостаз характеризуется более выраженным угнетением парасимпатического тонуса и смещением вегетативного баланса в сторону симпатикотонии, что на всех этапах подготовки подтверждается их более высокой ЧСС относительно лидеров. Данный вариант реактивности

оценивается как проявление пониженной ортостатической устойчивости при формировании спортивной формы.

Установленные межгрупповые различия и разнонаправленная динамика показателей вегетативной регуляции у лыжников-гонщиков с различным уровнем работоспособности обусловили необходимость изучения характера взаимосвязи между ее ключевыми параметрами RMSSD и ЧСС (табл. 40).

Таблица 40 – Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между показателями RMSSD и ЧСС у лыжников-гонщиков в покое и при ортостазе на этапах подготовительного периода

Группа	I этап	II этап	III этап
RMSSD лежа & ЧСС лежа			
Лидеры (n = 10)	-0,422	-0,426	-0,525
Резерв (n = 10)	-0,915*	-0,388	-0,923*
RMSSD стоя & ЧСС стоя			
Лидеры (n = 10)	-0,547	-0,912**	-0,554
Резерв (n = 10)	-0,590	-0,673*	-0,722*

Примечания: статистически значимые взаимосвязи * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

Корреляционный анализ показателей RMSSD и ЧСС у лыжников обеих групп как в положении лежа, так и стоя, выявил закономерное наличие обратных (отрицательных) взаимосвязей на всех этапах подготовки. При этом, сила взаимосвязи в группе лидеров на всех этапах подготовки, в положении лежа характеризовалась, как умеренная; в группе резерва сила взаимосвязи между показателями в положении лежа на I-ом и III-ем этапах была очень высокой, а на II-ом – слабой. В положении стоя, у лидеров корреляционная взаимосвязь на I-ом и III-ем этапах была на уровне средней силы, на II-ом этапе – на уровне очень высокой; в группе резерва отмечено нарастание от этапа к этапу силы корреляционной взаимосвязи между показателями RMSSD и ЧСС, от средней до высокой.

Обращают на себя внимание показатели коэффициентов корреляции на II-ом этапе подготовительного периода, где у резерва в состоянии покоя – наименьшие значения, что, вероятно, обусловлено снижением толерантности к возросшему объему физической нагрузки и, следовательно, сдвигу параметров. Этот факт можно связать с тем, что на II-ом этапе у спортсменов группы

резерва в покое наблюдался прирост RMSSD (12,17%, табл. 39). Полученные результаты могут быть интерпретированы как рассогласование в работе регуляторных контуров на пике нагрузки.

У лидеров максимальные значения коэффициента корреляции выявлены в положении стоя, что указывает на адекватную реактивность на возросшие объем и интенсивность нагрузки на II -ом этапе.

Таким образом, корреляционный анализ выявил, что у лидеров сформирована стабильная с умеренным контролем взаимосвязь между параметрами RMSSD и ЧСС в покое; при ортостатической нагрузке на пике подготовки (II этап) взаимосвязь отражает оптимальную и экономичную реактивность с максимальной синхронизацией функций. У спортсменов группы резерва выявленная крайне высокая корреляция взаимосвязь между параметрами RMSSD и ЧСС в состоянии покоя на I-ом и III-ем этапах подготовки ($r \approx -0,92$), на пике подготовки (II этап) была слабой по силе и статистически незначимой. Это свидетельствует о напряжении адаптационных механизмов и временном срыве слаженной работы регуляторных контуров в ответ на возросшую нагрузку, что подтверждает более низкую функциональную устойчивость спортсменов группы резерва.

Обсуждение результатов. В условиях покоя вариации ЧСС главным образом определяются вагусной модуляцией. Парасимпатическое влияние превышает симпатическое, что может являться следствием действия двух независимых механизмов: холинэргически вызванного снижения выброса норадреналина при повышении симпатической активности и холинэргического ослабления реакции в ответ на адренергические стимулы (Malik M. et al., 1996).

Метод анализа ВСР имеет большое практическое значение в профессиональном спорте и очень необходим для коррекции тренировочного процесса в соответствии с общим функциональным состоянием организма спортсмена, вегетативной реактивностью на пробы, степенью восстановления и типом регуляции (Калабин О.В. с соавт., 2025). Результаты математического анализа ВСР интерпретируются как медико-физиологические критерии

функционального состояния организма. В настоящее время однозначно положение о том, что, чем выше значение RMSSD, тем активнее звено парасимпатической регуляции. Индивидуальный оптимум механизмов регуляции не всегда совпадает со среднестатистической нормой, т.к. однотипные адаптационные реакции протекают по-разному в зависимости от индивидуальных функциональных резервов. При этом гомеостаз основных систем организма обеспечивается при минимальном напряжении регуляторных механизмов (Баевский Р.М., Черникова А., 2017). При высокой депрессии вегетативной регуляции значимая нагрузка выводит системы регуляции в зону неустойчивости, за пределы адаптационных возможностей. Чем выше вариабельность, тем устойчивей системы регуляции к воздействию внешних нагрузок. При резком снижении вариабельности, ухудшается качество регуляторных механизмов и, как следствие, возрастает риск (Бокерия Л.А. с соавт., 2009).

Для конкретной спортивной специализации существуют предпочтительные варианты состояния вегетативных функций, обеспечивающих высокий уровень физической работоспособности и успешность соревновательной деятельности. Для циклических видов спорта с развитием выносливости таким вариантом является совокупность исходной ваготонии и высокой ортостатической устойчивости (ортостатическая разность ЧСС менее 25 уд./мин). У спортсменов с таким исходным вариантом достоверно выше, по отношению к среднегрупповым значениям показатели работоспособности (Иорданская Ф.А., 2022).

Процессы, определяющие эффективность подготовки спортсмена, в полной мере отражаются в вариабельности ритма сердца. На подготовительном этапе наилучшее функциональное состояние и эффективность спортивной подготовки отмечаются у спортсменов с высокой вариабельностью функционирования, снижением централизации управления ритмом сердца, перестройкой звеньев регуляции организма спортсмена под влиянием тренировочного процесса. Реактивность организма спортсмена (резерв), в ответ

на ортостатическую нагрузку выявляет наиболее перегруженные системы регуляции (Гаврилова Е.А., 2016).

Вариабельность сердечного ритма является конечным звеном не только нервной, но и гуморальной регуляции и имеет предикторную ценность. До настоящего времени не решен вопрос: до каких пределов следует увеличивать вагусную активность (или ее маркеры) в целях достижения оптимальной защиты сердечно-сосудистой системы?

Результаты данного раздела отражены в статье: Вариабельность сердечного ритма в ортостатической пробе у лыжников-гонщиков с выраженной исходной ваготонией / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, П.А. Байгузин, В.В. Эрлих // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8, № 4. – DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_3.

4.5.3. Анализ динамики показателей функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Специфические изменения в структуре функционально-метаболического статуса в процессе долговременной адаптации спортсменов к тренировочным и соревновательным нагрузкам взаимосвязаны с выраженными изменениями структуры дыхания и газообмена, как ведущими факторами поддержания газового гомеостаза и обеспечения метаболических потребностей организма (Фудин Н.А., Чернышев С.В., 2017). Следует отметить, что у спортсменов данных по спирометрическим параметрам системы дыхания немногочисленны как за рубежом, так и в отечественных источниках (Черняк А.В. с соавт., 2019; Mazic S. et al., 2015).

Несмотря на стандартные методики проведения респираторных исследований, оценка и интерпретация полученных данных вызывает определенные затруднения. В нашем исследовании мы опирались на рекомендации по основам функциональной диагностики внешнего дыхания, представленным в практическом руководстве для врачей (Ярцев С.С., 2015).

Высокая вариабельность параметров функции внешнего дыхания на

первом этапе подготовительного периода в диапазоне 37-39% для ЧД, ДО, МОД, а также РО выдоха выявлена преимущественно у спортсменов группы резерва. К окончанию базового этапа подготовки CV увеличился у спортсменов группы лидеров по показателям ДО и МОД до 47 и 58%, соответственно; в группе резерва повысилась вариативность РО выдоха. В конце подготовительного периода, сохранилась высокая вариативность ДО у спортсменов в обеих группах. Спирографические показатели функции внешнего дыхания у обследованных лыжников-гонщиков представлены в таблице 41.

Общая вентиляция легких. Обращает на себя внимание, что показатели ЧД у спортсменов лидеров были значимо выше, чем у лыжников группы резерва на I-ом на 26,00% и на правах тенденции на II-ом на 16,15%, этапах подготовки.

К концу подготовительного периода в группе спортсменов лидеров наблюдалась статистически значимое снижению ЧД на 23,26%, относительно II-го этапа, что отражает более экономичный процесс вентиляции легких в ответ на увеличение нагрузки. В группе резерва была отмечена тенденция к увеличению ЧД на 24,15% за период от I-го к III-му этапу.

Межгрупповые различия по ДО не достигали статистической значимости, показатели колебались в пределах 8-9%. Значения ДО в обеих группах спортсменов снижались на II-ом этапе, соответственно у лидеров на 16,66 и у резерва на 29,12%, относительно I-го этапа. К концу специально-подготовительного этапа ДО повышался у спортсменов обеих групп: у лидеров на 25,00%, а в группе резерва на 26,78%. Внутригрупповые вариации медианных значений ДО спортсменов обеих групп не имели статистической значимости на всех этапах подготовки.

Показатели МОД максимально и значимо различались между группами на первом этапе, с преобладанием показателя у лидеров на 24,67%, снижались на втором этапе, аналогично с динамикой ДО, на третьем этапе подготовительного периода большее значение МОД было в группе резерва на

правах тенденции на 16,19%, отражая рост вентиляционной потребности у спортсменов данной группы.

Таблица 41 – Показатели функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода Ме, [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
ЧД циклов/мин			
Лидеры (n=10)	17,12 [13,74; 18,04]	17,03 [12,60; 17,54]	13,07 [9,74; 14,40]###
Резерв (n=10)	12,67 [9,57; 14,52]	14,28 [13,71; 16,36]	15,73 [12,53; 17,45]
p	<0,05	>0,05	>0,05
ДО, л			
Лидеры (n=10)	0,72 [0,63; 0,84]	0,60 [0,45; 0,96]	0,75 [0,53; 0,90]
Резерв (n=10)	0,79 [0,49; 0,84]	0,56 [0,41; 0,67]	0,71 [0,69; 1,05]
p	>0,05	>0,05	>0,05
МОД, л			
Лидеры (n=10)	11,03 [10,11; 14,14]	8,83 [6,71; 16,68]	10,25 [6,07; 10,91]
Резерв (n=10)	8,31 [6,18; 10,74]	8,77 [5,91; 9,72]	11,91 [11,19; 13,17]
p	<0,05	>0,05	>0,05
ЖЕЛ вд., л			
Лидеры (n=10)	5,65 [5,23; 6,33]	5,45 [4,95; 5,64]	6,02 [5,34; 6,67]
Резерв (n=10)	4,77 [3,38; 5,58]	5,69 [5,05; 6,41]	5,16 [4,98; 5,45]
p	>0,05	>0,05	>0,05
ЖЕЛ выд., л.			
Лидеры (n=10)	5,64 [5,15; 6,30]	5,27 [5,14; 5,64]	6,01 [5,40; 6,68]
Резерв (n=10)	4,90 [4,36; 5,78]	5,55 [4,89; 6,39]	5,06 [5,00; 5,31]
p	>0,05	>0,05	<0,05
РО вд., л			
Лидеры (n=10)	3,02 [2,60; 3,59]	2,78 [2,22; 3,15]	3,07 [2,40; 3,64]
Резерв (n=10)	2,96 [2,63; 3,20]	3,06 [2,86; 3,74]	2,54 [1,98; 3,09]
p	>0,05	>0,05	>0,05
РО выд., л			
Лидеры (n=10)	1,98 [1,47; 2,27]	2,03 [1,43; 2,40]	2,07 [1,76; 2,86]
Резерв (n=10)	2,01 [1,25; 2,21]	1,55 [1,31; 2,62]	1,76 [1,50; 2,04]
p	>0,05	<0,05	>0,05
МВЛ, л/мин			
Лидеры (n=10)	156,01[148,24;166,64]	161,38 [157,45; 177,99]	179,30 [174,38; 195,53]
Резерв (n=10)	144,95[137,30;162,30]	158,86 [142,17; 176,03]	147,72 [143,29; 157,71]
p	>0,05	>0,05	<0,05

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений. В группе лидеров: ### – между I и III этапом ($p \leq 0,05$).

Внутригрупповые значения ЖЕЛ вдоха у лидеров колебались в диапазоне 5-10%, а выдоха на уровне 7-14%; в группе резерва различия ЖЕЛ вдоха по этапам подготовки были выше и достигали 10-19%, а значений ЖЕЛ_{выд.} были на уровне показателей лидеров 10-13%. Межгрупповые статистически значимые различия были выявлены только в конце специально-

подготовительного этапа по показателю ЖЕЛ_{выд}, который в группе резерва был на 15,81% ниже, чем у спортсменов группы лидеров, что свидетельствует о более высоком резервном объеме выдоха у представителей группы лидеров. Действительно, РО_{выд} у лидеров на втором этапе подготовительного периода был значимо выше на 23,65%, а к концу специально-подготовительного этапа эти различия на правах тенденции с группой резерва составили 14,98%.

Значения максимальной вентиляции легких, как известно, зависят от уровня растяжимости легочной ткани, сопротивления дыхательных путей и мышечной силы. Данные характеристики, вероятно, и обуславливают более высокие значения МВЛ у лыжников группы лидеров. Данный параметр от этапа к этапу в группе лидеров имел тенденцию к увеличению (прирост от I-го к III-му этапу составил 14,92%, в группе резерва отмечены незначительные колебания значений МВЛ на 9,59% в сторону повышения на II-ом этапе, а затем понижения на 7,02%. В итоге, в конце подготовительного периода у лидеров показатель МВЛ статистически значимо превышал показатель группы резерва на 17,62%.

В таблице 42 представлены значения параметров форсированной жизненной емкости у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода. В норме у здоровых лиц показатели ФЖЕЛ вдоха и выдоха несколько ниже или примерно равны показателям ЖЕЛ.

В начале и в конце базового этапа подготовки (I-II этапы) значения ФЖЕЛ_{вд} и ФЖЕЛ_{выд} у спортсменов обеих групп практически не отличались. К концу специально-подготовительного этапа в группе лидеров показатель ФЖЕЛ_{вд} увеличивался на 12,59%, а в группе резерва снизился на 7,87% и различия между группами составили достигали статистической значимости.

Показатели ФЖЕЛ_{выд} у спортсменов в группе лидеров от этапа к этапу незначительно колебались, а в группе резерва имели тенденцию к снижению, что также выразилось статистически значимым межгрупповым различием данного параметра.

Наиболее вариативным показателем форсированной жизненной емкости легких на всех трех этапах подготовки оказался ОФВ₁ вдоха в обеих группах спортсменов-лыжников.

Таблица 42 – Показатели форсированной жизненной емкости на вдохе и выдохе у лыжников-гонщиков на этапах подготовки, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
ФЖЕЛ вд., л			
Лидеры (n=10)	5,37 [5,06; 5,90]	5,40 [5,12; 5,48] ^{##}	6,08 [5,51; 6,37]
Резерв (n=10)	5,64 [4,54; 6,02]	5,34 [4,97; 6,27]	4,92 [4,69; 5,18]
p	>0,05	>0,05	<0,05
ФЖЕЛ выд., л			
Лидеры (n=10)	5,43 [4,94; 5,68]	5,93 [5,45; 6,41]	5,54 [4,57; 5,84]
Резерв (n=10)	5,54 [4,57; 5,84]	5,34 [4,77; 6,16]	4,83 [4,76; 5,30]
p	>0,05	>0,05	<0,05
ОФВ ₁ вд., л			
Лидеры (n=10)	4,83 [3,10; 5,45]	3,29 [1,83; 4,81]	5,36 [4,67; 5,88]
Резерв (n=10)	2,92 [1,51; 2,94]	3,96 [3,31; 5,26]	2,99 [1,22; 4,70]
p	>0,05	>0,05	<0,05
ОФВ ₁ выд., л			
лидеры (n=10)	4,75 [4,31; 4,98]	4,66 [4,14; 5,11]	5,24 [4,59; 5,60]
резерв (n=10)	5,54 [4,57; 5,84]	5,34 [4,77; 6,16]	4,39 [4,02; 4,71]
p	>0,05	>0,05	>0,05

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений. В группе лидеров: ## – между II и III этапом (p≤0,05).

На I-ом этапе межгрупповые различия были существенными и на 39,55% выше у спортсменов группы лидеров. Однако, на II-ом этапе межгрупповые различия нивелировались, но на III-ем этапе различия вновь достигли 44,22%. Межгрупповых различий по показателю ОФВ₁ выдоха на этапах подготовки выявлено не было, но направленность изменений в сторону повышения значений данного параметра у спортсменов группы лидеров и, наоборот, в сторону снижения в группе резерва, была более выражена в конце специально-подготовительного этапа.

Известно, что глубокий вдох, совершенный форсированно, значительно увеличивает объемную скорость потока воздуха в воздухоносных путях, но не всегда является рациональным, ввиду роста функционального мертвого дыхательного пространства и снижения эффективности вентиляции (Вилмор Дж.Х., Костил Д.Л., 2003).

Показатели, отражающие объемно-скоростные характеристики биомеханики дыхания на вдохе и выдохе у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода представлены в таблице 43. В целом, на этапах подготовки внутригрупповые значимые различия были выявлены только у лидеров между показателями мгновенной объемной скорости $\text{МОС}_{50\%}$ вдоха в конце подготовительного этапа (прирост от II-го к III-му этапу составил около 46,93%, $p < 0,05$).

Таблица 43 – Показатели, отражающие объемно-скоростные характеристики биомеханики дыхания на вдохе и выдохе у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Me [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
$\text{МОС}_{50\% \text{вд}}$, л/с			
Лидеры (n=10)	7,11 (4,07-8,99)	5,39 (2,90-7,09) ^{##}	7,92 (6,10-8,89)
Резерв (n=10)	5,09 (4,20-7,94)	5,77 (4,46-6,80)	4,73 (2,80-9,09)
p	>0,05	>0,05	<0,05
$\text{МОС}_{25\% \text{выд}}$, л/с			
Лидеры (n=10)	7,11 (6,91-8,16)	7,93 (6,83-9,25)	9,53 (7,96-9,60)
Резерв (n=10)	8,28 (7,02-9,49)	8,43 (6,54-8,91)	7,13 (6,75-8,31)
p	>0,05	>0,05	>0,05
$\text{МОС}_{50\% \text{выд}}$, л/с			
Лидеры (n=10)	5,76 (5,22-5,99)	5,33 (4,89-6,25)	6,78 (6,41-7,65)
Резерв (n=10)	5,64 (5,00-6,76)	6,04 (4,58-7,25)	5,50 (5,49-5,73)
p	>0,05	>0,05	<0,05
$\text{МОС}_{75\% \text{выд}}$, л/с			
Лидеры (n=10)	2,99 (2,62-3,63)	3,02 (2,43-4,24)	3,35 (2,73-4,06)
Резерв (n=10)	2,33 (1,84-3,33)	2,70 (1,81-4,02)	3,30 (2,00-3,50)
p	>0,05	>0,05	>0,05

Примечание: статистически значимые различия внутригрупповых медианных значений. В группе лидеров: ## – между II и III этапом ($p \leq 0,05$).

Межгрупповые значимые различия, с более высоким показателем у лидеров, были выявлены по показателю $\text{МОС}_{50\%}$ выдоха на III-ем этапе (18,88%), что указывает на преимущество бронхиальной проходимости на уровне средних воздухоносных путей.

Отсутствие статистически значимых различий по силе экспираторных мышц между спортсменами лидерами и спортсменами группы резерва подтверждается равнозначными показателями $\text{МОС}_{75\%}$ в конце подготовительного периода (разница всего 1,5%, $p > 0,05$), которые отражают состояние мелких бронхов и зависят от работы дыхательных мышц.

Показатели пиковой и средней объемной скорости у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода представлены в таблице 44.

Таблица 44 – Показатели пиковой и средней объемной скорости у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
ПОС _{выд} , л/с			
Лидеры (n=10)	8,99 [8,59; 9,61]	9,14 [8,41; 10,48]	10,34 [9,12; 10,66]
Резерв (n=10)	9,01 [7,92; 10,17]	9,14 [7,70; 9,58]	8,21 [8,01; 9,19]
p	>0,05	>0,05	<0,05
СОС _{25-75%выд} , л/с			
Лидеры (n=10)	8,99 [8,59; 9,61]	9,14 [8,41; 10,48]	10,34 [9,12; 10,66]
Резерв (n=10)	9,01 [7,92; 10,17]	9,14 [7,70; 9,58]	8,21 [8,01; 9,19]
p	>0,05	>0,05	>0,05
СОС _{75-85%выд} , л/с			
Лидеры (n=10)	2,33 [1,87; 3,72]	2,42 [2,00; 3,37]	2,48 [2,04; 3,07]
Резерв (n=10)	1,88 [1,51; 2,80]	1,86 [1,31; 3,07]	2,68 [1,24; 3,22]
p	>0,05	>0,05	>0,05

Показатели скорости воздушного потока – пиковый экспираторный поток (ПОС_{выд}) на первых двух этапах подготовительного периода были равнозначными в обеих группах исследования. В конце специально-подготовительного этапа выявили межгрупповые значимые различия с преимуществом в 20,60% у спортсменов группы лидеров. ПОС_{выд}, также, как и показатель МОС_{25%}, характеризует в основном сопротивление крупных бронхов и слабо зависит от усилия экспираторных мышц.

Внутригрупповых и межгрупповых значимых различий по средней объемной скорости СОС₂₅₋₇₅ и СОС₇₅₋₈₅ на этапах обследования не выявлено, что, вероятно, обусловлено высокой индивидуальной вариативностью данного параметра.

В таблице 45 представлены показатели индекса Тиффно (ИТ) у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Таблица 45 – Значения индекса Тиффно у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
Индекс Тиффно			
Лидеры (n=10)	84,96 [83,99; 87,38]	85,64 [83,60; 90,25]	87,37 [83,32; 88,85]
Резерв (n=10)	80,79 [76,03; 92,59]	81,01 [77,94; 91,82]	89,29 [82,07; 93,20]
p	>0,05	>0,05	>0,05

Медианные показатели индекса Тиффно, характеризующие состояние бронхиальной проходимости, отражают однонаправленную тенденцию роста показателя от начального базового этапа к концу специально подготовительного этапа в обеих группах обследования. Значения индекса Тиффно у спортсменов обеих групп соответствовали верхнему диапазону нормы 80-90% и от первого к третьему этапу подготовки имели положительную динамику, более выраженную в группе резерва (10,5%), в том числе и по межквартильному размаху в сторону повышения. Сдвиг в сторону увеличения индекса Тиффно, значения Q_3 выше 90% у отдельных представителей может быть связано с рестриктивными нарушениями (расширения легких), вызванными снижением эластичности легочной ткани, что обуславливает более низкие показатели ЖЕЛ. Отклонений функции бронхиальной проходимости у спортсменов обеих групп не выявлено.

Резерв дыхания рассчитывается как разница между максимальной вентиляцией лёгких (МВЛ) и минутным объемом дыхания (МОД). У здорового человека МВЛ в 10-20 раз превышает величину МОД, поэтому у тренированных людей резерв дыхания может достигать 150-180 л/мин. Анализ показателей резерва дыхания (возможность увеличить легочную вентиляцию) выявил его поэтапное повышение в группе лидеров, соответственно на 5,22% и 10,81%, относительно значений первого этапа подготовки. В группе резерва наблюдалось увеличение показателя ко второму этапу на 9,86% и его снижение на 9,52% к концу специально-подготовительного этапа. Межгрупповые различия резерва дыхания к концу подготовительного периода составили, практически 20%.

Маркером специфической адаптации к интенсивным тренировкам может быть соотношение $PO_{вд}/PO_{выд}$, которое для здорового человека в норме имеет значение в диапазоне 2-3 ед. (Sheel A.W. et al., 2001).

В таблице 46 представлены индексы $PO_{вд}/PO_{выд}$ и $ФЖЕЛ_{вд}/ФЖЕЛ_{выд}$ у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода.

Таблица 46 – Показатели индексов соотношения резервного и форсированного объема вдоха и выдоха у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
$PO_{вд}/PO_{выд}$			
Лидеры (n=10)	1,60 [1,25; 2,24]	1,38 [0,98; 2,17]	1,53 [0,84; 2,02]
Резерв (n=10)	1,58 [1,30; 2,31]	1,29 [0,74; 2,08]	1,47 [0,97; 2,05]
p	>0,05	>0,05	>0,05
$ФЖЕЛ_{вд.}/ФЖЕЛ_{выд.}$			
Лидеры (n=10)	1,01[0,98; 1,01]	1,00 [0,96; 1,03]	1,01 [0,99-1,02]
Резерв (n=10)	1,02 [0,99; 1,03]	1,03 [0,98; 1,04]	0,99 [0,97-1,01]
p	>0,05	>0,05	>0,05

Межгрупповых различий по анализируемым индексам не выявлено. Установленные значения параметра $PO_{вд}/PO_{выд}$, согласно литературным источникам, могут указывать на ряд специфических адаптивных механизмов дыхательной функции, а именно, относительную гипертрофию экспираторных мышц и более быстрое утомление инспираторных мышц (Sheel A.W. et al., 2001; Romer L.M. et al., 2002).

Таким образом, адаптация дыхательной системы у лыжников-лидеров протекает по пути структурно-функциональной оптимизации. У спортсменов группы резерва адаптация носит преимущественно функционально-компенсаторный характер (увеличение вентиляционной работы без адекватного роста резервных мощностей), что может лимитировать спортивный результат и указывает на незавершенность процессов долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам высокой интенсивности.

Обсуждение результатов. Показано, что у лыжников-гонщиков показатели ФВД выше значений в общей популяции, но нормативные значения для спортсменов не разработаны, а применение стандартного подхода для интерпретации результатов, основанного на сравнении полученных данных с должными значениями, может привести к ошибочным заключениям о наличии или отсутствии нарушений ФВД (Черняк А.В. с соавт., 2019). Отдельные исследователи считают, что в норме у спортсменов дыхательная система не является ограничивающим фактором для выполнения высокоинтенсивной физической нагрузки (Amann M., 2012). По мнению (Веселик А.К. с соавт.,

2024) причины различий в достижении предела легочной функции у разных спортсменов пока не ясны. В частности, роль дыхательного резерва в оценке функции легких у спортсменов и его влияния на физическую работоспособность требует дальнейшего изучения. На группе лыжников-гонщиков (КМС) показано, что достижение дыхательного резерва менее 20% при нагрузочном тестировании не опосредовано показателями ФВД. Вероятно, дыхательный резерв в этом случае в большей степени связан не с вентиляционной емкостью (ФЖЕЛ, ОФВ1), а с вентиляционной потребностью (МОД). Снижение дыхательного резерва ниже нормы не влияло на уровень физической работоспособности (МПК), однако требовало более активной вентиляции, определенной по показателям минутного объема дыхания и частоты дыхания.

Формирование структуры дыхания и газообмена при спортивной тренировке зависит от объема и вида локомоторной деятельности, участия в процессе вентиляции взаимодействующих гипоксических и гиперкапнических хеморецепторных влияний. С учетом вовлечения в данный физиологический процесс многих функциональных систем (ФС) организма, уровень воздействия каждого из них в отдельности на разных этапах и при разных объемах мышечной работы может существенно различаться. К максимально лабильным показателям респираторной системы относят минутный объем дыхания, а к умеренно лабильным – дыхательный объем, частоту дыхания, дыхательный коэффициент (Варламова Н.Г. с соавт., 2015). Как правило, увеличение легочной вентиляции в начале выполнения физической работы, связано с увеличением частоты дыхания, что сопряжено с нарастающей гипоксией. При этом состоянию гиперкапнии сопутствует углубление дыхания, а значит и увеличение его объемных показателей (Фудин Н.А., Чернышев С.В., 2017). Показано, что медленное и глубокое дыхание активирует парасимпатический отдел вегетативной нервной системы, в то время как быстрое, неглубокое дыхание активирует симпатический, участвующий в высвобождении кортизола и других гормонов стресса (Калабин О.В. с соавт., 2025). Под влиянием

аэробных нагрузок изменения параметров ФВД связаны с усиленным образованием CO_2 и направлены на его удаление из организма (Колупаев В.А. с соавт., 2008).

В нашем исследовании эффективный адаптивный ответ дыхательной системы на увеличение нагрузки по этапам подготовительного периода продемонстрировали спортсмены группы лидеров, изменения были отмечены по умеренно лабильным показателям респираторной функции. На первых этапах нагрузочные воздействия сопровождались большей частотой дыхания, а на третьем, заключительном этапе подготовки, по мере нарастания гиперкапнии – увеличением глубины дыхания и снижением частоты. В группе резерва динамика была обратной: частота дыхания была ниже, чем у лидеров и нарастала с увеличением физической нагрузки на этапах подготовки; при этом динамика показателей ДО, была такой же, что и в группе лидеров.

Особенности структуры внешнего дыхания и газообмена у высокотренированных спортсменов обусловлены формированием собственных, специфических компенсаторно-приспособительных механизмов в регуляции функциональной системы дыхания и газообмена (Фудин Н.А. с соавт., 2024).

Высказанное предположение в работе (Веселик А.К. с соавт., 2024) о том, что у лыжников дыхательный резерв в большей степени связан не с вентиляционной емкостью (ФЖЕЛ, ОФВ1), а с вентиляционной потребностью (МОД), подтверждается нашими результатами.

Таким образом, на основе комплексного анализа 62 параметров у квалифицированных лыжников-гонщиков выявлены два типа функционально-метаболической адаптации: **«Эффективная системная интеграция»** у спортсменов группы лидеров и **«Напряженная функциональная мобилизация»** у спортсменов группы резерва.

Ключевым фактором, дифференцирующим спортсменов на группы, является не абсолютная мощность систем кислородтранспорта и внешнего дыхания (показатели которых у групп на максимуме работоспособности могут быть близки), а интеграция нейро-иммунной и гормонально-метаболической

регуляции периферических звеньев, обеспечивающих эффективность работы спортсменов.

Межгрупповой анализ функционально-метаболического обеспечения адаптации выявил статистически значимые различия по следующим показателям: ОЖМТ, общая вода, НСТ, MCV, MCHC, LYMF, Ва, Ео, ЧСС, ОПСС, RMSSD, МВЛ, ЖЕЛ_{выд.}, РО_{выд.}, ОФВ_{1выд.}, МОС_{50вд/выд.}, ПОС_{выд.}, которые преимущественно являются стандартными параметрами, отражающими системные уровни ответа на воздействия тренировочных нагрузок на организм спортсмена.

При равном общем объеме тренировок лидеры выполняли достоверно больший объем высокоинтенсивной работы (IV и V зоны интенсивности), что указывает на то, что их организм был способен переносить и эффективно адаптироваться к таким нагрузкам, что, в свою очередь, и формировало описанные выше метаболические и функциональные преимущества.

Результаты, представленные в данном разделе опубликованы в статье: Бахарева, А.С. Анализ спирометрических параметров функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков на разных этапах подготовительного периода / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9, № 3 (33), порядковый номер:1 – DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_1.

ГЛАВА 5. КОМПЛЕКСНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ АДАПТАЦИИ

Для объективной верификации системных физиологических процессов, лежащих в основе различных типов адаптации, и построения формализованной интегральной модели был применен многоуровневый статистический подход.

На первом этапе факторный анализ позволил выявить латентные структуры данных и проверить гипотезу о группировке множества физиологических переменных в обобщенные факторы, соответствующие предполагаемым типам физиологической перестройки, а также определить наиболее информативные показатели для каждого фактора.

На втором этапе с целью количественной оценки вклада ключевых физиологических предикторов в интегральные показатели функционального состояния был проведен регрессионный анализ, позволяющий идентифицировать наиболее значимые детерминанты, определяющие характер адаптационных процессов.

На третьем этапе для объективной классификации был использован кластерный анализ, обеспечивающий дифференциацию выделенных типов адаптации у лыжников-гонщиков.

5.1. Факторная структура функционально-метаболического обеспечения адаптации у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Факторный анализ используется для выявления структуры данных, первичного выявления латентных факторов с последующей валидацией (Costello A.B. et al., 2005). Достоверность измерительной модели включает в себя изучение факторных нагрузок при стандартном пороговом значении для адекватных нагрузок – 0,7 и выше, а показателем качества модели, который оценивают при валидации является **процент объясненной дисперсии**. Доля общей дисперсии переменных, объясняемая выделенными факторами >60%—

70% считается удовлетворительным показателем качества модели; доля дисперсии $>80\%$ является хорошим показателем 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 (Колупаев В.А. с соавт., 2007; Сашенков С.Л. С соавт., 2018; Mukaka M.M., 2012).

Кроме того, факторный анализ можно использовать не только как метод сжатия информации, но и как основу классификации, заменяя исходные признаки факторами; в данном случае классификация объектов заключается в получении факторных оценок для каждого из них и последующей визуальной или аналитической группировки этих объектов в факторном пространстве, что позволяет перейти от типологизации по большому числу исходных признаков к построению классификации на основе значительно меньшего числа факторов, с более ясным аналитическим описанием и графическим представлением данных (Машин В.А., 2010).

В нашем исследовании в факторную модель анализа были включены 65 параметров, характеризующих функционально-метаболическое обеспечение адаптации лыжников-гонщиков к нагрузкам на разных этапах подготовительного периода в состоянии покоя и при активном ортостазе. Результаты распределения доли дисперсии по факторам у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода представлены на рисунке 12.

Результаты, представленные на рисунке 12, демонстрируют, что в группе лидеров факторы с 1-го по 3-ий вносят значительный вклад на всех этапах подготовительного периода, а 4-ый фактор – на I-ом и III-ем этапах. Так, совокупный процент дисперсии для главных компонент (компоненты, которые учитывают менее 5% суммарной дисперсии переменных, исключены из анализа) в группе лидеров составил 74,8%, 85,4% и 72,7%, соответственно

этапам подготовительного периода. Следовательно, показатель качества модели факторного анализа в группе лидеров классифицируется как хороший на всех этапах подготовительного периода.

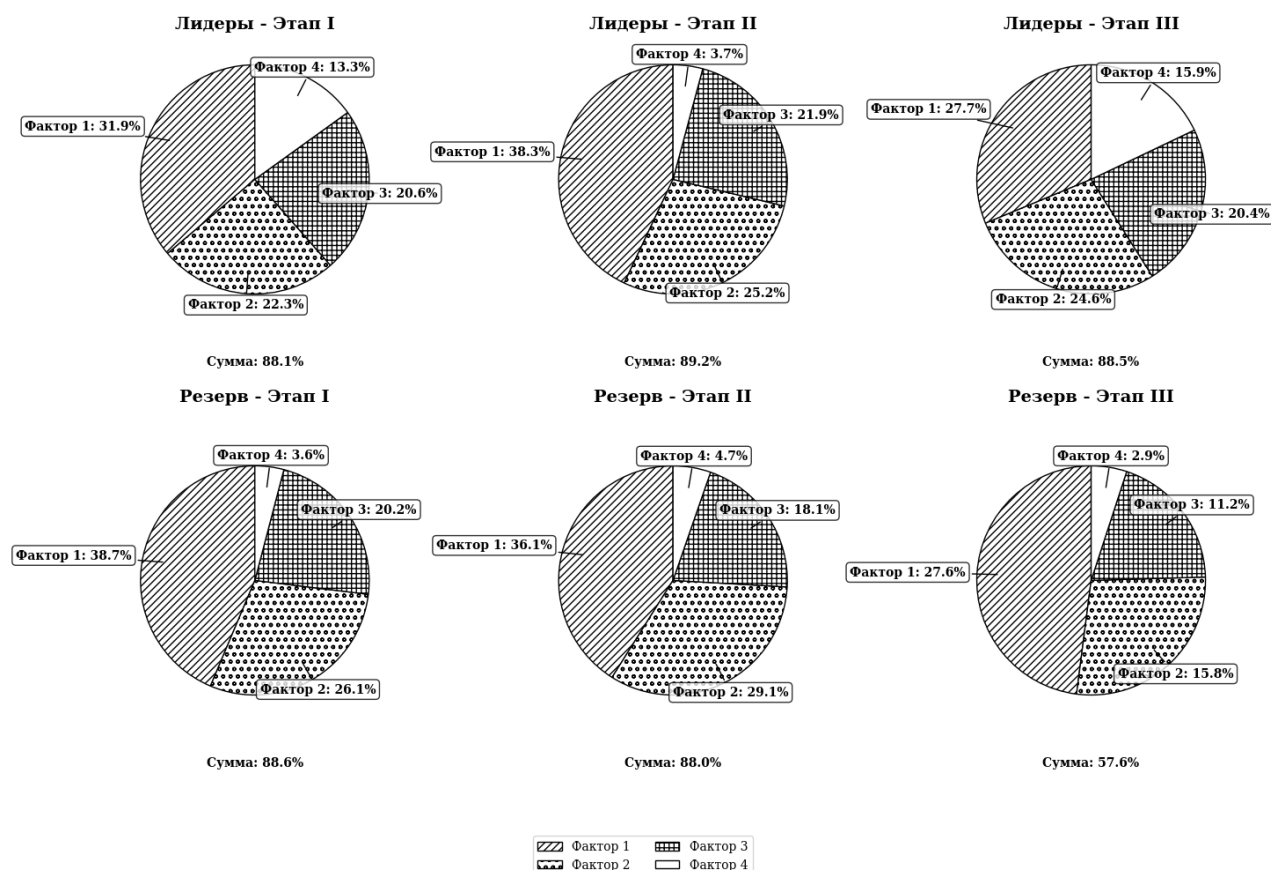


Рисунок 12 – Распределение доли объясненной дисперсии (%) по факторам у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

В группе резерва процент дисперсии по трем факторам составил 85,0% – 83,3%, соответственно на I-ом и II этапах при равном числе переменных, что соответствует хорошей модели факторного анализа. На III этапе наблюдалось снижение доли общей объясненной дисперсии до 54,7% при увеличении числа переменных в его составе до 52 (табл. 47), что указывает на необходимость уточнения факторной модели, которое будет представлено при описании коэффициентов корреляции переменных каждого отдельного фактора.

Количественное отражение взаимосвязей между переменными, характеризующими функционально-метаболическое состояние организма

спортсменов на разных этапах подготовительного периода, представлено в таблице 47.

Таблица 47 – Количество корреляционных взаимосвязей функционально-метаболических показателей лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода ($r \geq 0,7$)

Этап подготовки	Всего	« + »	« – »
Лидеры			
I	45	31	14
II	46	28	18
III	46	33	13
Резерв			
I	42	24	18
II	42	27	15
III	52	30	22

Результаты, представленные в таблице 47, отражают, что в группе лидеров наблюдается стабильное количество с существенным преобладанием прямых взаимосвязей на всех этапах подготовки, что свидетельствует о мобилизации функционально-метаболических процессов и согласованности работы систем организма. В группе резерва на III-ем этапе отмечается увеличение общего числа связей, с повышением доли обратных связей, что вызвано перестройкой факторной структуры и включением механизмов стабилизации функций.

Далее в таблицах 48-53 представлены факторы, включающие переменные с коэффициентом корреляции $r \geq 0,7$.

Результаты, представленные в таблице 48, указывают, что в группе лидеров **фактор I** (31,88% дисперсии) объединил 15 переменных с преобладанием прямых взаимосвязей 10 (+). Состав переменных на начальном базовом этапе подготовки указал, что преимущественная роль функции внешнего дыхания отражается 6-ю (+) и 2-мя (–) переменными; адаптивный механизм сердечно-сосудистой системы, как и системы крови отражен 3-мя переменными. По силе связи доминирует переменная PLT (–). На основании содержания переменных **фактор I** «условно» можно обозначить как **«Мобилизация доминирующей респираторной функции»**.

Фактор II составил 22,30% от совокупной дисперсии, объединил 12 переменных, из которых 8 (+) и 4 (-). По значению силы связи доминирует показатель RBC (-) во взаимосвязи с MCV (+). Количественный состав переменных фактора II отражает включение адаптивных механизмов, обеспечивающих усиление работы дистальных дыхательных путей, экономизацию дыхательного паттерна; активацию катаболических процессов; положительный инотропный эффект. **Фактор II** на начальном базовом этапе можно рассматривать, как «**Мобилизация функциональных и метаболических процессов адаптации**» с активацией процессов энергетической мобилизации.

Таблица 48 – Факторная структура переменных у лыжников-гонщиков группы лидеров при ортостатической пробе в начале базового этапа подготовительного периода

I фактор		II фактор		III фактор		IV фактор	
Перемен.	r	Перемен.	r	Перемен.	r	Перемен.	r
ЖЕЛ _{вд}	0,96	ДО	-0,92	RMSSD _{лежа}	-0,72	РОВД	-0,79
ЖЕЛ _{выд}	0,95	МОС _{75выд}	0,84	RMSSD _{стоя}	0,71	MON _{абс.}	-0,87
ФЖЕЛ _{вд}	0,94	МОД	-0,82	ОФВ _{1вд}	0,89	НСТ	0,84
ФЖЕЛ _{выд}	0,93	СОС _{75-85выд}	0,81	ОПСС _{стоя}	0,99	RDW-CV	0,72
МОС _{50выд}	-0,84	УОК _{лежа}	0,83	ЧСС _{стоя}	-0,97	АЛТ	-0,86
РОВД	0,80	RBC	-0,95	УОК _{стоя}	0,96	АСТ	-0,71
СОС _{25-75выд}	-0,72	MCV	0,86	МОК _{стоя}	-0,95	ЖМТ	-0,88
ОФВ _{1выд}	0,70	Ne _{абс.}	0,84	САД _{лежа}	0,89		
ОПСС _{лежа}	-0,92	Мочевина	0,94	САД _{стоя}	0,87		
МОК _{лежа}	0,91	Тестестерон	-0,89	СОЭ	0,91		
ЧСС _{лежа}	0,76	ЛДГ	0,76	МСНС	0,71		
PLT	-0,97	МТ	0,73				
PWD	0,86						
WBC _{абс.}	0,75						
Триглицериды	-0,71						

Фактор III (20,64% дисперсии) объединил 11 переменных с преобладанием 8 (+), преимущественно характеризующих реакцию ССС в условиях ортостатической нагрузки. По значению силы связи (0,99) доминирует переменная ОПСС_{стоя}. Корреляция между ОФВ_{1вдох} (+) и RMSSD (-) отражает зависимость проходимости верхних дыхательных путей от

активации парасимпатической регуляции при физических нагрузках. Выявленная гемоконцентрация направлена на оптимизацию кислородтранспортной функции в условиях возрастающих аэробных нагрузок, характерных для начального этапа подготовки. Таким образом, данный фактор можно интерпретировать как **«Мобилизация кардиоваскулярных резервов и их координации»**.

Фактор IV (13,28% дисперсии) объединил 7 переменных с преобладанием 5 (–), характеризующих комплексную метаболическую и гематологическую стабилизирующую перестройку функций у спортсменов группы лидеров на начальном базовом этапе. Фактор можно обозначить как **«Компенсаторное поддержание кислородтранспортной функции и энергообмена»**.

Далее в таблице 49 представлены результаты факторного анализа в группе лидеров в конце базового этапа подготовительного периода.

Таблица 49 – Факторная структура переменных у лыжников-гонщиков группы лидеров ($r \geq 0,7$) при ортостатической пробе в конце базового этапа подготовительного периода

I фактор		II фактор		III фактор	
<i>Перемен.</i>	<i>r</i>	<i>Перемен.</i>	<i>r</i>	<i>Перемен.</i>	<i>r</i>
RMSSD_{стоя}	0,94	МОС _{25выд}	0,95	РО _{выд}	0,88
RMSSD_{лежа}	-0,87	СОС _{25-75выд}	0,88	УОК _{стоя}	-0,90
ЖЕЛ _{вд}	0,95	МВЛ	0,85	ЧСС _{лежа}	0,82
ЖЕЛ _{выд}	0,94	МОС _{50вд}	-0,82	МОК _{лежа}	0,72
ФЖЕЛ _{выд}	0,91	СОС _{75-85выд}	0,79	МСН	0,79
ПОС _{вд}	-0,84	ПОС _{выд}	0,76	СОЭ	0,78
САД _{стоя}	0,97	МОС _{75выд}	0,75	Не _{абс.}	0,75
САД _{лежа}	0,93	РОВд	0,74	Кортизол	0,96
ЧСС _{стоя}	-0,92	RBC	0,94	Триглицериды	-0,93
ДАД _{стоя}	0,84	RDW-SD	-0,93	Глюкоза	0,73
НСТ	-0,82	RDW-CV	-0,89	ЖМТ	-0,84
РСТ	-0,81	Ва _{абс.}	-0,89	Вода	0,70
Ео _{абс.}	0,77	MCV	-0,83		
PWD	-0,76	PLT	-0,73		
MPV	-0,74	MT	-0,88		
МСНС	0,72				
АЛТ	0,93				
Мочевина	-0,71				

Результаты, представленные в таблице 49, демонстрируют, что фактор I (38,33% дисперсии) в группе лидеров, на втором этапе подготовки объединил 18 переменных с преобладанием положительных взаимосвязей 10 (+). Состав переменных показывает, что адаптация организма лыжников к нагрузкам формируется оптимизацией респираторной функции, повышением реологических свойств крови. Корреляция RMSSD (+) в ортостазе с переменными, характеризующими вклад CCC отражают адекватный ответ на ортостатическую пробу. Переменные АЛТ (+) и мочевины (–) указывают на стабильность белкового обмена. Наличие Эо (+) в адаптивных процессах, вероятно, обусловлено секрецией белка VEGF стимулирующего ангиогенез, что является частью интегративного ответа организма. Таким образом, фактор I можно условно обозначить как **«Фактор интеграции кислородтранспортного обеспечения организма в ответ на повышение физической нагрузки»**.

Фактор II, на втором этапе подготовительного периода, объединил 25,22% совокупной дисперсии, из 16 переменных 9 (+) и 7 (–). В данном факторе доминировали переменные, характеризующие скоростные процессы дыхательной системы, отражающие эффективность выдоха и газообмена. Противоположные по знаку взаимосвязи RBC (+), RDW-CV (–) и MCV (–) PLT (–) указывают на оптимизацию кислородтранспортной функции крови. Наличие Ва (–) в структуре фактора II, на наш взгляд, следует рассматривать во взаимосвязи с Ео (+) в составе I-го фактора, в связи с тем, что механизм противовоспалительного действия и восстановления тканей в ответ на физическую нагрузку с участием Ео и Ва реализуется через медиаторы и секрецию противовоспалительных цитокинов (Rankin L.C., Artis D., 2018; Brescia G. et al., 2021). Таким образом, данный фактор можно обозначить, как **«Фактор респираторно-гемато-иммунологической синхронизации»**.

Фактор III (21,88% дисперсии) объединил 12 переменных, из них 9 (+), отражающих гормонально-метаболическую и респираторную перестройку функций для мобилизации энергетического обмена. Улучшение функции транспорта кислорода связано с напряжением адаптивных механизмов в CCC.

Данный фактор можно обозначить, как **«Фактор энергетической мобилизации и кислородного обеспечения»**.

Далее в таблице 50 представлены результаты факторного анализа в группе лидеров в конце специально-подготовительного этапа подготовительного периода.

Таблица 50 – Факторная структура переменных у лыжников-гонщиков группы лидеров ($r \geq 0,7$) при ортостатической пробе в конце специально-подготовительного этапа

I фактор		II фактор		III фактор		IV фактор	
<i>Перемен.</i>	<i>r</i>	<i>Перемен.</i>	<i>r</i>	<i>Перемен.</i>	<i>r</i>	<i>Перемен.</i>	<i>r</i>
ФЖЕЛ _{вд}	0,96	RMSSD_{лежа}	-0,70	ЖЕЛ _{вд}	0,80	ПОС _{вд}	0,84
ФЖЕЛ _{вд}	0,95	RMSSD_{стоя}	0,51	ЖЕЛ _{вд}	0,79	ДАД _{стоя}	-0,73
СОС _{75-85вд}	0,93	МОД	-0,86	ОФВ _{1вд}	0,73	МОН _{абс.}	0,85
СОС _{25-75вд}	0,85	ДО	-0,83	РО _{вд}	0,72	Ео _{абс.}	0,82
МОС _{50вд}	0,82	МОК _{стоя}	-0,95	УОК _{лежа}	0,77	РСТ	0,76
МОС _{75вд}	0,92	ЧСС _{стоя}	-0,90	MCV	0,94	PLT	0,72
ЧД	-0,81	ОПСС _{стоя}	0,86	НСТ	0,75	Глюкоза	0,81
МОС _{25вд}	0,78	УОК _{стоя}	0,74	Кортизол	0,71	БМТ	0,93
РО _{вд}	0,77	LYMF _{абс.}	0,88	МТ	0,89	Вода	0,79
ОФВ _{1вд}	0,72	RDW-CV	-0,81				
МВЛ	0,71	PWD	-0,79				
ЧСС _{лежа}	-0,93	MPV	-0,73				
Ne _{абс.}	0,86	Тестостерон	0,86				
ЖМТ	-0,74	АЛТ	0,89				
		ЛДГ	-0,76				

Результаты, представленные в таблице 50, демонстрируют, что в конце специально-подготовительного этапа фактора I (27,66% дисперсии) в группе лидеров объединил 14 переменных, из них (11+). Содержание данного фактора преимущественно представлено переменными дыхательной системы (11 из 14), которая достигает максимальной адаптации к специфическим нагрузкам заключительного этапа при минимизации энергозатрат на дыхание ЧД (–). Положительная взаимосвязь Ne_{абс.} указывает на активацию репаративных процессов в дыхательной системе (Nieman D.C., 1997; Kippelen P., Anderson S.D., 2012). Таким образом, данный фактор можно обозначить, как **«Доминанта дыхательной эффективности и энергетической экономии»**.

Фактор II (24,56% дисперсии) объединил 14 переменных с преобладанием отрицательных взаимосвязей 9 (–). Набор переменных указал, что в конце специально-подготовительного этапа адаптация организма лыжников-гонщиков к нагрузкам формируется за счет гемореологических изменений. Отрицательная корреляция переменных системы крови указывает на улучшение реологических свойств, стабилизацию метаболических процессов и уменьшение риска микротромбообразования; параметры гемодинамики отражают адаптацию к ортостатическим нагрузкам; LYMFабс. (+) отражают устойчивость организма спортсменов к инфекциям. Таким образом, данный фактор можно обозначить, как **«Фактор гемореологической оптимизации и функциональной устойчивости»**.

Фактор III (20,44% дисперсии) объединил 9 переменных с положительной связью. Состав переменных фактора отражает интеграцию трех ключевых адаптационных процессов: повышение дыхательной эффективности (наращивание легочных объемов); оптимизация транспорта кислорода (переменные эритроцитарного звена); энергетическая мобилизация (гормональная регуляция метаболизма). Данный фактор можно обозначить, как **«Мобилизация респираторной, энергетической и кислородтранспортной функции»**.

Фактор IV (15,86% дисперсии) объединил 9 переменных, из них 8 (+), указывающих на мобилизацию процессов: рост метаболически активной массы тела (БМТ); активация механизмов энергообеспечения (глюкоза (+); иммунной и эндотелиальной защиты. Данный фактор можно обозначить, как **«Мобилизации энергообеспечения и защитных функций организма»**.

Далее в таблице 51 представлена факторная структура функционально-метаболического обеспечения физической работоспособности лыжников-гонщиков группы резерва на каждом этапе подготовительного периода.

Фактор I (38,68% дисперсии) объединил 18 переменных, из них 10 (+). Адаптация дыхательной системы у спортсменов группы резерва обеспечивается за счет объемных характеристик при увеличении ЧД. Максимальная сила

связи (0,97) тестостерона с уровнем кортизола (+) и ЛДГ (–), отражает адаптационный механизм, направленный на оптимизацию энергетических процессов. Существенный вклад в формирование фактора вносит лейкоцитарное звено, отражающее состояние гипоксического стресса и перестройку иммунных функций; $Va_{абс.}(+)$ участвуют в противовоспалительных процессах и оптимизации кровотока за счет секреции цитокинов и гепарина. Положительная связь параметров $RMSSD (+)$ и $УОК (+)$ указывает на повышение инотропной регуляции функции сердца. Данный фактор можно обозначить, как «**Мобилизация респираторной и иммунной функции**».

Таблица 51 – Факторная структура переменных у лыжников-гонщиков группы резерва ($r \geq 0,7$) при ортостатической пробе в начале базового этапа подготовительного периода

I фактор		II фактор		III фактор	
<i>Перемен.</i>	<i>r</i>	<i>Перемен.</i>	<i>r</i>	<i>Перемен.</i>	<i>r</i>
RMSSD_{стоя}	-0,79	МОС _{25выд}	0,93	ЧСС _{стоя}	0,95
RMSSD_{лежа}	0,77	МОС _{50выд}	0,93	ОПСС _{стоя}	-0,94
МОД	0,96	СОС _{25-75выд}	0,93	МОК _{стоя}	0,93
ДО	0,96	ФЖЕЛ _{вд}	0,84	САД _{лежа}	0,91
ЧД	0,96	ПОС _{выд}	0,78	RDW-CV	-0,92
СОС _{75-85выд}	0,94	МОС _{50вд}	0,70	PWD	0,85
РОВД	0,75	ФЖЕЛ _{выд}	0,72	PLT	-0,85
РОВЫД	-0,71	НСТ	-0,91	MPV	0,73
МОК _{лежа}	-0,84	АЛТ	-0,87	Триглицериды	-0,88
УОК _{лежа}	0,78	HGB	-0,87	ЖМТ	-0,77
$Va_{абс.}$	0,96	RBC	-0,77		
PCT	-0,90	$Eo_{абс.}$	-0,73		
MON _{абс.}	-0,77	Глюкоза	0,71		
LYMF _{абс.}	-0,73				
WBC _{абс.}	-0,71				
Тестостерон	0,97				
Кортизол	0,70				
ЛДГ	-0,75				

Фактор II (26,06% дисперсии) объединил 13 переменных, из них 8 (+). На начальном базовом этапе подготовки адаптация лыжников-гонщиков группы резерва к нагрузкам осуществляется преимущественно реактивностью скоростных параметров респираторной функции. Переменные эритроцитарного

звена указывают на улучшение микроциркуляции и стабилизации параметров центральной гемодинамики, а метаболические показатели свидетельствуют об активации глюконеогенеза. Отрицательная связь эозинофилов вероятно обусловлена их миграцией в дыхательные пути при интенсивной гипервентиляции, характерной для циклических нагрузок. Данный фактор можно обозначить, как **«Оптимизация бронхиальной проходимости и напряжения кислородтранспортного обеспечения»**.

Фактор III (20,25% дисперсии) объединил 11 переменных, из них 6 (+). Состав переменных указал на кардиогемодинамическую реактивность организма спортсменов в условиях ортостатической нагрузки. Переменные тромбоцитарного звена показывают направленность на оптимизацию реологических свойств крови. Обратная связь триглицеридов и жировой массы тела указала на активацию процессов липолиза. Данный фактор можно обозначить, как **«Сопряжение гемостатической функции и активации липолиза»**.

Далее в таблице 52 представлена структура функционально-метаболического обеспечения физической работоспособности лыжников-гонщиков группы резерва в конце базового этапа подготовительного периода.

В конце базового этапа подготовки фактор **I** (36,13% дисперсии) в группе резерва объединил 19 переменных, из них 15 (+), из которых 14 представляют компоненты дыхательной системы, что указывает на системную перестройку дыхательной функции (рост объемных резервов, скоростных показателей, улучшение бронхиальной проходимости). Параметры лейкоцитарного звена крови демонстрируют напряжение иммунной системы. Взаимосвязь УОК (+) и СОЭ (–) у лыжников группы резерва указывает на сопряжение инотропного механизма и реологических свойств крови. Данный фактор можно обозначить как **«Мобилизация кардио-респираторной функции»**.

Фактор II (29,08% дисперсии) объединил 12 переменных, из них 8 (+). Содержание переменных II фактора свидетельствует о механизмах, обуславливающих перестройку компонентного состава тела, направленную на

повышение выносливости; снижение реологических свойств крови и активацию метаболической функции. Данный фактор можно обозначить, как «**Активация метаболических процессов и оптимизации реологических свойств крови**».

Таблица 52 – Факторная структура переменных у лыжников-гонщиков группы резерва ($r \geq 0,7$) при ортостатической пробе в конце базового этапа подготовительного периода

I фактор		II фактор		III фактор	
<i>Перемен.</i>	<i>r</i>	<i>Перемен.</i>	<i>r</i>	<i>Перемен.</i>	<i>r</i>
RMSSD_{лежа}	-0,56	RMSSD_{стоя}	-0,67	САД _{стоя}	0,81
СОС _{75-85выд}	0,97	ОФВ _{1выд}	0,70	МОК _{стоя}	0,72
ФЖЕЛ _{вд}	0,94	ДАД _{стоя}	0,90	САД _{лежа}	0,72
ЖЕЛ _{выд}	0,93	ЧСС _{стоя}	0,81	МОК _{лежа}	-0,71
ЖЕЛ _{вд}	0,93	HGB	-0,82	МСНС	0,90
РО _{вд}	0,92	РСТ	-0,78	MCV	-0,89
МВЛ	0,91	НСТ	-0,75	МСН	-0,89
РО _{выд}	0,90	Кортизол	0,87	LYMF _{абс.}	0,80
МОС _{75выд}	0,88	Глюкоза	0,77	RDW-SD	-0,74
ЧД	0,87	МТ	0,97	АЛТ	-0,95
ФЖЕЛ _{выд}	0,86	БМТ	0,96	АСТ	-0,92
ОФВ _{1выд}	0,81	Вода	0,93	Мочевина	-0,79
ПОС _{выд}	0,78	ЖМТ	-0,88		
МОД	0,76				
ПОС _{вд}	0,73				
УОК _{лежа}	0,93				
WBC _{абс.}	-0,85				
MON _{абс.}	-0,79				
СОЭ	-0,75				

Фактор III (18,11% дисперсии) объединил 12 переменных с преобладанием отрицательных взаимосвязей 7 (–). Состав переменных данного фактора отражает снижение катаболизма белков; компенсаторный механизм кислородного обеспечения. Положительная связь LYMF в данном факторе демонстрирует поддержание иммунного гомеостаза. Данный фактор можно обозначить «**Гемо-метаболической стабилизации**».

Далее в таблице 53 представлена структура функционально-метаболического обеспечения физической работоспособности лыжников-

гонщиков группы резерва в конце специально-подготовительного этапа подготовительного периода.

Таблица 53 – Факторная структура переменных у лыжников-гонщиков группы резерва ($r \geq 0,7$) при ортостатической пробе в конце специально-подготовительного этапа

I фактор		II фактор		III фактор	
<i>Перемен.</i>	<i>r</i>	<i>Перемен.</i>	<i>r</i>	<i>Перемен.</i>	<i>r</i>
RMSSD_{лежа}	-0,78	МОС _{25выд}	0,93	ЖЕЛ _{выд}	0,91
RMSSD_{стоя}	0,74	МОС _{50вд}	-0,83	МВЛ	0,75
МОС _{75выд}	0,97	РО _{выд}	-0,78	УОК _{лежа}	0,79
СОС _{75-85выд}	0,95	ПОС _{вд}	-0,78	САД _{стоя}	0,73
ЖЕЛ _{вд}	-0,94	ПОС _{выд}	0,74	LYMF _{абс.}	-0,92
ДО	0,86	ОПСС _{стоя}	-0,89	Ne _{абс.}	-0,90
ЧД	-0,85	ЧСС _{стоя}	0,85	WBC _{абс.}	-0,88
СОС _{25-75выд}	0,84	МОК _{стоя}	0,76	MON _{абс.}	-0,81
РОВД	0,76	ДАД _{стоя}	-0,73	Тестостерон	0,91
ОФВ1 _{выд}	0,73	MCV	0,95	АЛТ	-0,74
ОПСС _{лежа}	-0,93	PLT	0,89		
МОК _{лежа}	0,89	MCHC	-0,88		
САД _{лежа}	-0,89	PCT	0,87		
ЧСС лежа	0,73	RDW-SD	0,83		
ДАД лежа	-0,72	RDW-CV	0,83		
HGB	-0,91	MCH	0,82		
Ва _{абс.}	0,87	ЛДГ	0,90		
RBC	0,84	Триглицериды	0,88		
АСТ	-0,70	Глюкоза	0,70		
Мочевина	0,70				
МТ	-0,86				
БМТ	-0,77				
Вода	-0,71				

В конце специально-подготовительного этапа, **фактор I** (27,63% дисперсии) в группе резерва объединил максимальное количество переменных (22) с преобладанием отрицательных взаимосвязей 12 (–). Набор переменных отражает, что адаптация лыжников к нагрузкам формируется как интегративный ответ организма. Дыхательная система перестраивается для максимально эффективного газообмена и увеличения дыхательных резервов; ССС – через хронотропный механизм регуляции сердца и снижение периферического сопротивления сосудов; кислородтранспортное звено

усиливается за счет роста числа эритроцитов; со стороны вегетативной нервной системы наблюдается снижение парасимпатического тонуса в покое. Данный фактор можно обозначить, как **«Интеграция функциональных систем организма на обеспечение кислородтранспортной и энергетической функции»**.

Фактор II (15,85% дисперсии) объединил 18 переменных с преобладанием положительных взаимосвязей 12 (+). Состав переменных данного фактора указал на большой вклад в адаптацию организма со стороны системы крови, связанный с мобилизацией кислородтранспортной функции и защитой сосудов от микроповреждений. Положительная корреляция переменных ЛДГ и глюкозы отражает активацию анаэробного гликолиза, а переменные респираторной функции отражают усиление экспирации на фоне снижения инспирации. Данный фактор можно обозначить, как фактор **«Мобилизация функций кислородного и энергетического обеспечения организма»**.

Фактор III (11,23% дисперсии) объединил 10 переменных с равным количеством взаимосвязей 5(+) и 5(–). Состав переменных отражает напряжение, вызванное физическими нагрузками; регуляторную роль тестостерона в поддержании анаболизма; улучшение дыхательных и гемодинамических показателей. Данный фактор можно обозначить как **«Иммунно-метаболическая и гемодинамическая адаптация»**.

Таким образом, факторный анализ выявил различия в структурной организации функционально-метаболических взаимосвязей у лыжников-гонщиков с разным уровнем работоспособности, детерминирующих эффективность адаптации к нагрузкам подготовительного периода.

Ключевым диагностическим признаком, отражающим эти различия, стала направленность корреляционных взаимосвязей (+/–) переменной RMSSD в факторной структуре и смена их направленности в реакции на ортостаз (RMSSD_{лежа} и RMSSD_{стоя}), реактивность ВНС. Визуализация этой

закономерности у спортсменов группы лидеров и резерва представлено на рисунке 13.

У спортсменов группы лидеров наблюдается устойчивость реакции организма на ортостаз на всех этапах подготовки; в покое параметр $RMSSD(-)$ свидетельствует об экономичном и согласованном управлении системами функционально-метаболического обеспечения организма, в ортостазе $RMSSD_{стоя}(+)$ указывает на высокую вегетативную устойчивость и способность к восстановлению, что предотвращает чрезмерное напряжение функционального состояния организма. Это подтверждается и включением переменной $RMSSD$ в состав соответствующего фактора, согласно интенсивности нагрузки на этом этапе.

	Лидеры			Резерв		
Положение	Этап I	Этап II	Этап III	Этап I	Этап II	Этап III
	 Фактор III	 Фактор I	 Фактор II	 Фактор I	 Фактор I	 Фактор I
	 Фактор III	 Фактор I	 Фактор II	 Фактор I	 Фактор II	 Фактор I

Рисунок 13 – Направленность взаимосвязей (+/–) $RMSSD$ в положении лежа и при активном ортостазе у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

У лыжников-гонщиков группы резерва переменная $RMSSD$ на всех этапах входит в состав I фактора, за исключением II-го этапа (в ортостазе). Направленность корреляционных взаимосвязей (+/–) переменной $RMSSD$ в покое и в реакции на ортостаз указывает на напряжение функционирования системы регуляции. Прямая связь показателя $RMSSD_{лежа}(+)$ и обратная в ортостазе $RMSSD_{стоя}(-)$ в группе резерва на I-ом этапе указывает на избыточный тонус парасимпатического отдела. Данный характер взаимосвязи,

как правило, объясняется отрицательными корреляциями с функционально-метаболическими показателями при адаптации к нагрузке, что отражает реакцию контроля и сдерживания. Наличие обратных корреляций RMSSD (–) в положении лежа и стоя на II-ом этапе указывает на переход к более экономичному, но напряженному режиму функционирования. На III-ем этапе характер взаимосвязей RMSSD аналогичен группе лидеров и отражает адекватную реакцию организма на ортостаз в конце специально-подготовительного этапа.

Подтверждением выше представленных закономерностей/положений являются статистически значимые коэффициенты корреляций между параметром RMSSD и параметрами функционально-метаболического обеспечения адаптации у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода при ортостатической пробе (лежа / стоя).

Результаты, представленные на рисунке 14, свидетельствуют, что в группах сравнения на этапах подготовительного периода были выявлены разные составы переменных, коррелирующих с параметром RMSSD. Общей для спортсменов обеих групп на I-ом этапе оказалась значимая обратная взаимосвязь между $RMSSD_{\text{лежа}}$ и параметром PWD. На III-ем этапе общей значимой для обеих групп оказалась прямая взаимосвязь между RMSSD и ОПСС в покое.

В начале базового этапа в группе лидеров корреляционные взаимосвязи отражали системную реакцию организма, включающую мобилизацию функции дыхательной функции в ортостазе, активацию инотропной функции миокарда, иммуннокомпетентных клеток и энергообеспечения; у спортсменов группы резерва все корреляции отражали обратную связь и напряжение дыхательной функции. Адаптация системы крови была направлена на повышение ее реологических свойств в обеих группах спортсменов.

В конце базового этапа подготовки различия корреляционных взаимосвязей параметра RMSSD с параметрами функционально-метаболического обеспечения были выявлены только в покое и

характеризовались обратной зависимостью с переменными кислородтранспортной и кардиореспираторной функции у лидеров; доминированием обратных взаимосвязей с параметрами дыхательной системы в группе резерва.

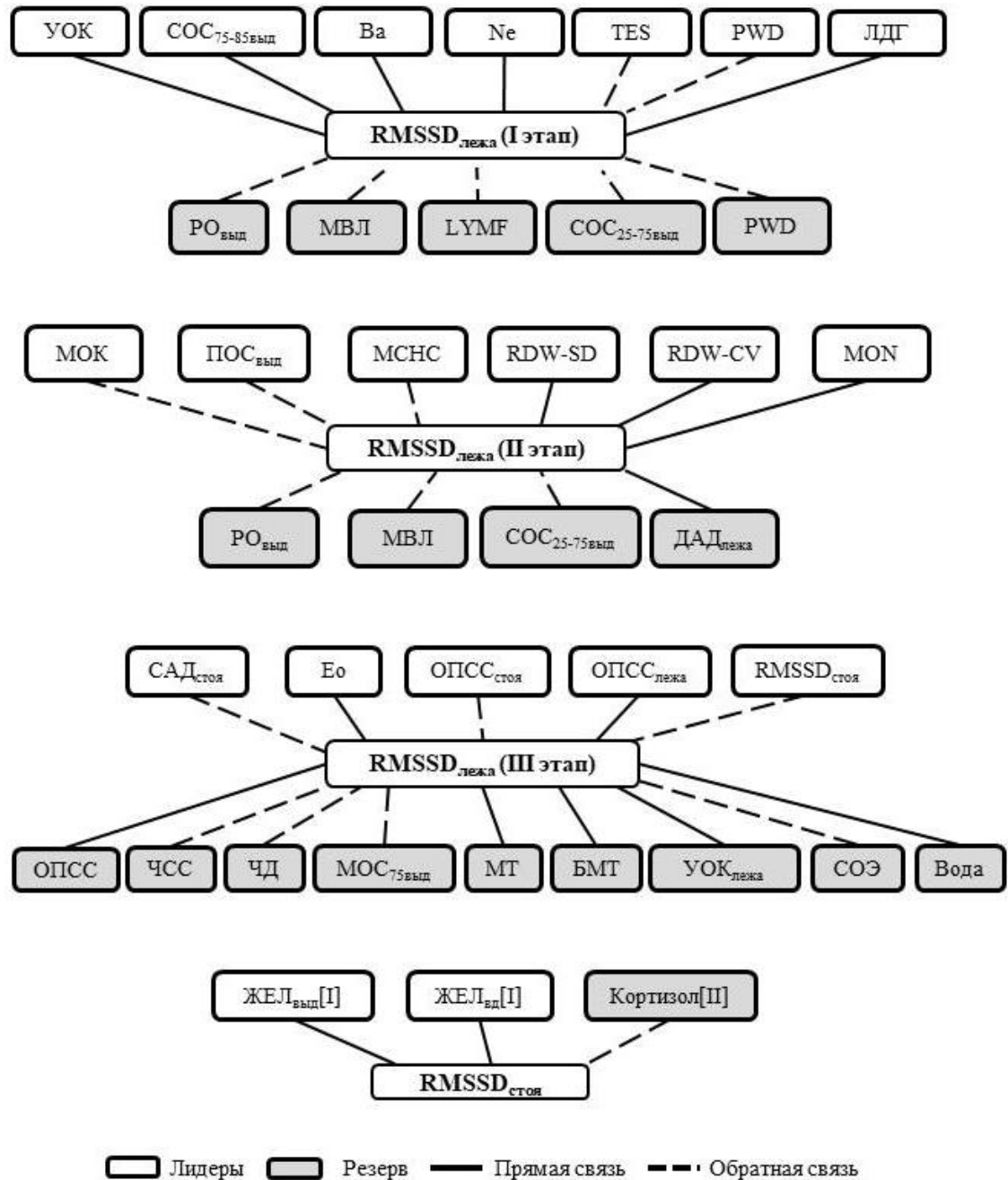


Рисунок 14 – Статистически значимые корреляционные взаимосвязи между RMSSD и параметрами функционально-метаболического обеспечения в покое и при ортостатической пробе у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода (по Спирмену, $\rho \geq 0,7$)

В конце специально-подготовительного этапа в группе лидеров корреляционные взаимосвязи подтверждают адекватную реакцию периферического и центрального звена гемодинамики на ортостатическую пробу. Обращает на себя особое внимание прямая корреляция $RMSSD_{\text{лежа}} / E_o$, **отражающая механизм нейро-иммунного взаимодействия при адаптации к нагрузкам.** У представителей группы резерва количество корреляционных взаимосвязей стало вдвое больше, чем у лидеров, что указывает на интеграцию нейро- метаболических механизмов регуляции с компенсаторной активацией кардиореспираторной и метаболической систем организма, направленной на поддержание энергетического гомеостаза.

Таким образом, у лыжников-лидеров выявлена согласованность парасимпатической регуляции и энергетического (ЛДГ) обмена; механизм энергетической экономизации подтверждается корреляцией тестостерона с $RMSSD$ ($r=-0,83$). В конце специально-подготовительного этапа отмечено компенсаторное повышение ОПСС в ответ на усиление насосной функции сердца (увеличение ударного объема). Положительная корреляция $RMSSD$ и E_o (0,79) указывает на механизм модуляции иммунного ответа через "холинергический противовоспалительный путь".

У лыжников группы резерва отмечается регуляция с большей долей парасимпатического вклада в покое, что является проявлением защитного торможения, обусловленного компенсаторной экономизацией энерготрат при высоком уровне кортизола и изменении компонентного состава тела.

Обсуждение результатов. Проведенный количественно-качественный анализ структуры взаимосвязей показал, что по общему количеству взаимосвязей функционально-метаболических параметров у лыжников-гонщиков существенных различий нет, но по соотношению прямых и обратных связей на этапах подготовительного периода различия очевидны. В группе лидеров преобладают положительные связи, указывающие на механизмы управления уровнем функционирования и взаимодействия систем организма; в группе резерва на I-ом и III-ем этапах подготовки соотношение процессов

управления уровнем (+) и контроля за уровнем функционирования (–) направлено на равновесие режима расходования функциональных резервов.

В процессе адаптации к физическим нагрузкам на этапах подготовительного периода биологическая значимость физиологических систем, обеспечивающих оптимальное функционирование целостного организма, различна. У спортсменов при интенсивной физической работе, в первую очередь, сохраняются резервные возможности усиления функций дыхания и кровообращения, непосредственно обеспечивающих организм кислородом. Гомеостаз целостного организма поддерживается одновременным действием сложно организованных регуляторных механизмов, но одним из центральных механизмов является вегетативная регуляция, обеспечивающая постоянство уровней вещества и энергии в организме спортсмена (Капилевич Л.В. с соавт., 2011).

Динамика показателя RMSSD и характер его корреляционных взаимосвязей с функционально-метаболическими параметрами указывают на принципиально разное качество адаптации в группах лыжников-гонщиков. Лыжники-гонщики группы лидеров демонстрируют эффективную факторную модель вегетативного обеспечения, основанную на прогнозировании и управлении. Спортсмены группы резерва демонстрируют напряженную, компенсаторную модель, основанную на контроле за истощением ресурсов.

У спортсменов группы резерва на протяжении подготовительного периода выявляли высокий тонус блуждающего нерва (высокие значения RMSSD), что интерпретируется как метаболически затратный процесс и энергетически нецелесообразное дублирование локальных клеточных механизмов, что противоречит фундаментальному принципу экономизации функций (Hawley J.A. et al., 2014).

У спортсменов группы лидеров на протяжении подготовительного периода выявляли оптимальные значения RMSSD, отражающие переход регуляторных механизмов в режим экономии на системном уровне с делегированием части восстановительных функций на локальный уровень

(автономизация клеточных процессов регуляции) и сохранением способности к быстрой мобилизации (Egan B., Sharples A.P., 2023).

Таким образом, параметр BCP (RMSSD) – это не только критерий оценки тонуса блуждающего нерва, но и предиктор, определяющий функционально-метаболический статус организма, эффективность восстановления, риск дезадаптации в единстве нейро-иммунно-метаболических регуляторных процессов.

5.2. Регрессионный анализ детерминант variability сердечного ритма (RMSSD) у лыжников-гонщиков

Для установления ключевых детерминант, влияющих на параметр BCP (RMSSD), нами использован множественный линейный регрессионный анализ, позволяющий количественно оценить вклад различных физиологических систем в регуляцию кардиоритма. В регрессионные модели показателей последовательно были включены параметры, представляющих основные физиологические системы организма. Анализ проводился на объединенной выборке, включающей всех испытуемых на 3-х этапах исследования ($n=60$), в состоянии покоя. Такой подход позволил выявить устойчивые детерминанты парасимпатической регуляции, оценить системные закономерности и молекулярно-клеточные механизмы влияния физиологических параметров на variability сердечного ритма.

Первоначально анализ был направлен на оценку влияния на BCP (RMSSD) показателей отдельных физиологических систем и метаболического обеспечения. Построенная регрессионная модель по компонентному составу, включающая МТ, ОЖМТ, БМТ и ОВ в организме, продемонстрировала пограничный уровень статистической значимости ($F(4,55) = 2,486$; $p = 0,054$). Внутримодельный анализ выявил единственный параметр, оказывающий значимое независимое влияние на уровень RMSSD, показатель общей воды в организме.

Регрессионная модель, включающая девять параметров, отражающих количественно-качественные характеристики эритроцитарного звена (RBC, HGB, HCT, COЭ, MCV, MCH, MCHC, RDW-SD, RDW-CV), не достигла статистической значимости ($F(9,50) = 1,399$). Наибольшую тенденцию к значимости продемонстрировал показатель COЭ ($p = 0,052$).

Анализ тромбоцитарного звена системы крови не выявил статистически значимой связи его параметров с вариабельностью сердечного ритма. Регрессионная модель, включающая количество тромбоцитов (PLT), средний объем тромбоцитов (MPV), тромбокрит (PCT) и ширину распределения тромбоцитов (PWD), оказалась статистически незначимой ($F(4,55) = 0,525$; $p = 0,718$).

Регрессионный анализ показателей лейкоцитарного звена продемонстрировал высокую статистическую значимость модели ($F(6,53) = 11,201$; $p < 0,001$). Скорректированный коэффициент детерминации (0,509) подтверждает ее высокую прогностическую способность и адекватность. Статистически значимыми предикторами парасимпатической активности являются MON (+), Ba (+), LYMF (–), Eo (–). Разнонаправленные влияния различных субпопуляций лейкоцитов подтверждают сложный характер иммуно-вегетативного взаимодействия. Данная модель обладает наибольшей объяснительной силой, по сравнению с ранее проанализированными системами.

Регрессионный анализ биохимических показателей, характеризующих метаболические процессы, выявил значимую модель ($F(6,53) = 4,981$; $p < 0,001$). Скорректированный коэффициент детерминации (0,288) подтверждает адекватную предсказательную способность модели. Значимая связь с RMSSD выявлена для параметров АСТ, АЛТ, ЛДГ. Направленность влияния трансаминаз АЛТ (–) и АСТ (+) отражает различные метаболические пути их участия в процессах вегетативной регуляции. Влияние ЛДГ (+) согласуется с его ролью маркера анаэробного метаболизма, который может активировать парасимпатические механизмы восстановления.

Регрессионный анализ показателей гормональной регуляции (кортизол и тестостерон) показал, что данная модель не является статистически значимой ($F(2,57) = 0,452$; $p = 0,638$). Скорректированный R-квадрат имеет отрицательное значение ($-0,019$), что свидетельствует об отсутствии предсказательной способности модели.

Регрессионный анализ гемодинамических параметров показал, что модель является значимой ($F(6,53) = 3,678$; $p = 0,004$). Скорректированный коэффициент детерминации ($0,214$) подтверждает умеренную прогностическую способность модели. Параметр САД_{лежа} – демонстрирует значимое влияние на парасимпатический тонус ($\beta = -0,546$; $p = 0,021$),

Регрессионный анализ параметров функции внешнего дыхания выявил значимую модель ($F(20,39) = 2,190$; $p = 0,018$), объясняющую 52,9% дисперсии показателя RMSSD ($R^2 = 0,529$). Однако скорректированный коэффициент детерминации ($0,287$) указывает на существенное уменьшение объясняющей способности модели за счет большого количества предикторов. Регрессионный анализ не выявил отдельных параметров дыхательной системы, оказывающих независимое значимое влияние на парасимпатический тонус. Полученные результаты свидетельствуют о комплексном, а не изолированном, влиянии респираторной функции на вегетативную регуляцию сердечного ритма. Применение метода сокращения количества переменных выявил единственный значимый предиктор – МОС_{75выд}.

Для оценки вклада и статистической значимости каждой детерминанты из регрессионных моделей проводился анализ стандартизованных коэффициентов (Бета) и t-статистики, результаты которого представлены в таблице (табл. 54). Статистически значимое влияние на зависимую переменную RMSSD признавалось при $p < 0,05$. В таблице 54 представлены обобщенные результаты регрессионных анализов параметров функциональных систем организма и статистически значимые предикторы вариабельности сердечного ритма (RMSSD).

Анализ коэффициентов (Бета, β) и показателя t-статистики позволил ранжировать параметры по силе и достоверности их влияния на парасимпатическую регуляцию. Наиболее сильное обратное влияние на RMSSD оказывают параметры САД_{лежа} и ОБ в организме; наибольшее прямое влияние оказывает МОС_{75выд}, MON, АСТ и Ва. Высокие значения t-статистики у параметров Ва и MON.

Таблица 54 – Ранжирование статистически значимых предикторов показателя RMSSD по силе их влияния (стандартизованные коэффициенты β)

Параметр	Стандартизованные коэффициенты	Т	Значимость
	Бета		
МОС _{75выд}	0,55	2,30	0,03
САД _{лежа}	-0,55	-2,37	0,02
Общая вода	-0,54	-2,26	0,03
MON	0,50	4,15	0,000
АСТ	0,49	2,39	0,02
Ва	0,47	4,70	0,000
АЛТ	-0,38	-2,04	0,05
ЛДГ	0,32	2,25	0,03
LYMF	-0,31	-2,45	0,02
Ео	-0,27	-2,25	0,03

Для проверки общей адекватности регрессионной модели, включающей все выявленные значимые предикторы, был проведен дисперсионный анализ (ANOVA). Его результаты, подтверждающие высокую статистическую значимость интегральной модели в целом, представлены в таблице 55.

Таблица 55 – Результаты дисперсионного анализа (ANOVA) итоговой интегральной регрессионной модели для прогнозирования RMSSD

ANOVA						
Модель		Сумма квадратов	ст.св.	Средний квадрат	F	Значимость
1	Регрессия	33018,54	10	3301,85	7,46	0,000
	Остаток	21683,70	49	442,53		
	Всего	54702,24	59			

Интегральная регрессионная модель (табл. 55), включающая статистически значимые предикторы из предыдущих этапов анализа, демонстрирует высокое значение F-статистики (8,452) и высокий уровень значимости ($p < 0,001$), что позволяют отвергнуть нулевую гипотезу о равенстве

всех коэффициентов регрессии нулю. Модель демонстрирует 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 рисунке 15, позволил ранжировать параметры по силе и достоверности их влияния на парасимпатическую регуляцию.

$$RMSSD = 61.026 + 856.115 \cdot Ba + 161.575 \cdot MON - 28.723 \cdot LYMF$$

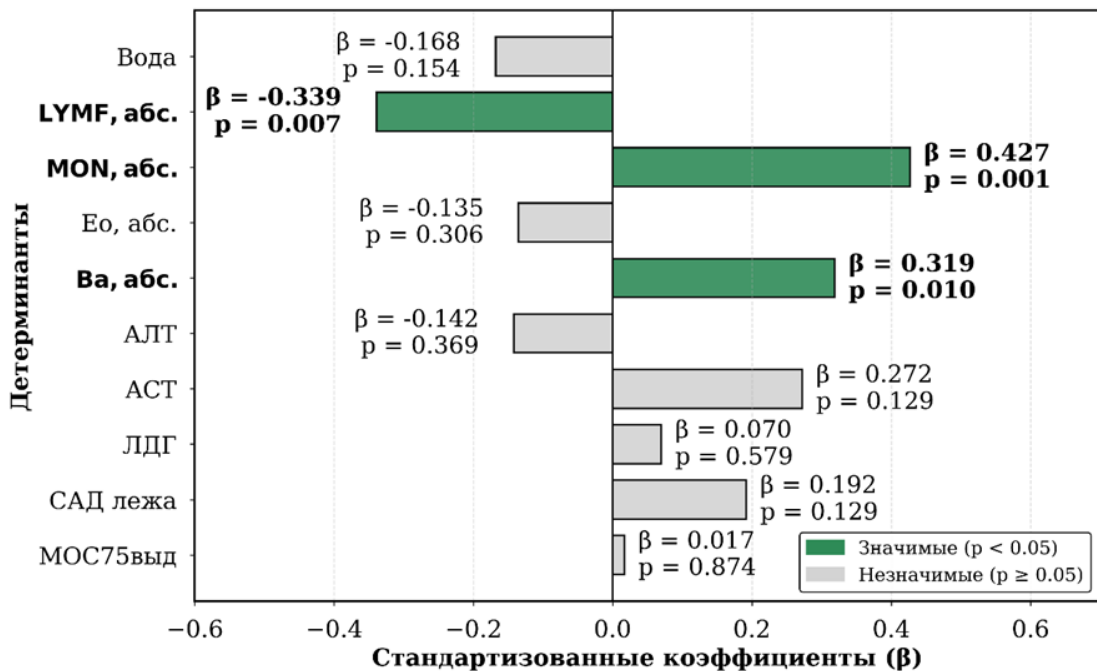


Рисунок 15 – Коэффициенты интегральной регрессионной модели для прогнозирования RMSSD

Наиболее сильное прямое влияние на RMSSD оказывают параметры MON (+) и Ва (+); наибольшее обратное влияние оказывает LYMF. У данных параметров выявлены высокие значения t-статистики.

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. 56).

Таблица 56 – Фактические и прогностические значения RMSSD (мс) у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап	II этап	III этап
Лидеры – RMSSD лежа, мс			
Факт	133,00 [84,25; 154,75]	117,00 [80,00; 161,25]	108,00 [82,50; 136,25]
Прогноз	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
Резерв – RMSSD лежа, мс			
Факт	131,50 [90,25; 174,81]	147,50 [119,00; 182,15]	140,50 [108,00; 185,00]
Прогноз	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

В результате верификации разработанного уравнения регрессии на эмпирических данных лыжников-гонщиков были получены прогностические значения RMSSD для каждой группы лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, которые сопоставлены с фактическими результатами инструментальных замеров. Проведенный анализ позволяет констатировать, что в группе лидеров на I-ом этапе подготовительного периода прогностическое значение RMSSD на 21,1% ниже фактически зарегистрированного уровня ($p < 0,05$). На II-ом этапе прогностическое значение практически идентично фактическому показателю с незначительным превышением на 5,4% ($p > 0,05$). На III-ем этапе прогностическое значение ниже фактического уровня на 10,2% ($p > 0,05$).

Для лыжников-гонщиков группы резерва наблюдается занижение прогностических значений относительно фактических данных на всех этапах подготовительного периода. На I-ом этапе прогностические значения ниже фактических на 21,7% ($p < 0,05$); на II-ом – на 17,1% ($p < 0,05$); на III-ем этапе отмечается максимальное расхождение в 23,7% ($p < 0,05$).

Состояние системы иммунитета у спортсменов в значительной степени обуславливает уровень адекватности физических нагрузок в зависимости от степени активности защитных механизмов при обеспечении иммунного гомеостаза. Отклонения показателей иммунограммы от нормы отражают дисбаланс метаболизма и служат подтверждением преходящего снижения физической работоспособности (Колупаев В.А. с соавт., 2025).

Интегральная регрессионная модель, включающая гемо-иммунологические предикторы функционального состояния организма лыжников-гонщиков, является статистически обоснованной и может быть использована для прогнозирования уровня RMSSD на основе оценки интегрального физиологического статуса организма. Выявленная структура детерминант подтверждает моделирующую роль иммунной системы в механизмах регуляции парасимпатического звена ВСР. Данная зависимость позволяет рассматривать иммунный статус в качестве универсального физиологического индикатора, прогнозирующего уровень восстановительных процессов, адекватный для условного спортсмена со средними адаптационными резервами при данном профиле лейкоцитарного звена системы крови.

Моноциты (MON) и базофилы (Ba), обладающие положительными регрессионными коэффициентами, ассоциированы с усилением парасимпатической активности. Это может быть обусловлено их ролью в инициации противовоспалительных и репаративных процессов. Активация M2-фенотипа макрофагов, и секреция базофилами интерлейкинов ИЛ-4 и ИЛ-13 создают цитокиновый фон, благоприятствующий Th2-ответу и тканевому восстановлению (Karasuyama, H. et al., 2018).

Показано, что на макрофагах находятся $\alpha 7$ -никотиновые рецепторы, которые являются мишенью ацетилхолина в холинергическом противовоспалительном пути (Egawa M. et al., 2013; Wang H., et al., 2003; Циркин В.И. с соавт., 2020). Данное состояние опосредуется повышенным тонусом блуждающего нерва, что и отражается в росте RMSSD. Активация

этого пути напрямую подавляет выработку провоспалительных цитокинов макрофагами. Таким образом, моноциты/макрофаги – это ключевые эффекторы парасимпатической системы в реализации холинергического противовоспалительного пути.

LYMF имеют отрицательный коэффициент, что согласно модели, увеличение количества лимфоцитов связано со снижением парасимпатического тонуса. Показано, что симпатическая нервная система напрямую иннервирует лимфоидные органы и модулирует пролиферацию и циркуляцию лимфоцитов (Elenkov I.J. et al., 2000; Kenney M.J., Ganta C.K., 2014). Рост общего пула лимфоцитов может служить индикатором текущей иммунной активации, напряжения клеточного звена адаптивного иммунитета и, возможно, системного низкоуровневого воспаления (Smith L.L., 2000; Gleeson M., 2007). Показано, что лимфоциты и другие не-нейрональные клетки синтезируют ацетилхолин (Kawashima K., Fujii T., 2003; Шулепко М.А. с соавт., 2019). Повышение лимфоцитов у спортсменов с низким парасимпатическим тонусом может интерпретироваться как следствие базальной симпатической модуляции (рециркуляции), направленной на поддержание эффективного иммунного надзора и готовности к быстрому реагированию при одновременной автономизации клеточных репаративных процессов (Nieman D.C. et al., 2020; Poller W.C. et al., 2022).

Отсутствие в интегрированной регрессионной модели параметров кардиоваскулярной, дыхательной системы и маркеров метаболического статуса лыжника-гонщика объясняется тем, что у квалифицированных лыжников-гонщиков кардио-респираторная система и энергообеспечение организма в состоянии покоя отражают системный уровень адаптивных механизмов, направленных на экономизацию функционально-метаболических ресурсов. Это является признаком высокой адаптации и экономизации функций. Дыхательная и гемодинамическая функция поддержания устойчивого гомеостаза в покое в основном управляется автоматизированными механизмами продолговатого мозга. Снижение роли кардиореспираторных показателей соответствует

концепции сдвига доминирующих лимитирующих факторов у тренированных спортсменов в сторону молекулярно-клеточной адаптации и эффективного восстановления (Egan B. et al., 2023).

Значимыми становятся наиболее тонкие молекулярно-клеточные механизмы контроля за балансом процессов повреждения и восстановления в мышечной, эпителиальной и альвеолярной тканях. Вариации иммунологических маркеров (MON, Ва, LYMF), связанные с процессами метаболического, воспалительного и восстановительного фона непосредственно в рабочих тканях, модулируют ВНС через спектр целого ряда цитокинов и других гуморальных регуляторов гомеостаза. Сигналы от компонентов иммунной системы в состоянии покоя являются более весомыми детерминантами и перекрывают более слабые сигналы от кардио-респираторной системы.

Полученные нами результаты доказывают, что высокие значения RMSSD не могут однозначно трактоваться как критерий оптимальной адаптации и высокой работоспособности (Plews D.J. et al., 2013). Более низкий базальный RMSSD может отражать переход к клеточно-опосредованному типу регуляции гомеостаза, переключение с системной (вагусной) холинергической регуляции на локальную (не-нейрональную), что обеспечивает более эффективную и энергетически выгодную автономную репарацию скелетных мышц без избыточной активации системных механизмов (Wessler I. et al., 2003; Wessler, I., Kirkpatrick C.J., 2008).

Следовательно, выявленная при регрессионном анализе интегральная модель указывает на изменение иерархии физиологических детерминант вегетативного тонуса в зависимости от функционально-метаболического состояния организма: в покое доминируют иммуно-метаболические детерминанты, в условиях физической нагрузки актуализируются системные механизмы регуляции. Однако дифференциальная диагностика между эффективной мобилизацией и скрытым напряжением возможна только при оценке вегетативной реактивности в ходе ортостатической пробы. Показано,

что более глубокую и объективную оценку функционального состояния организма целесообразно проводить по персонифицированным данным variability сердечного ритма (Брук Т.М., Литвин Ф.Б. 2025).

5.3. Кластерный анализ значений индекса функционального резерва парасимпатической вегетативной нервной системы у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Для подтверждения предикторной роли RMSSD в оценке адаптационных возможностей организма и его функционального состояния был рассчитан индекс функционального резерва парасимпатической вегетативной нервной системы (IPVNS):

$$PVNS = \frac{RMSSD_{стоя} - RMSSD_{лежа}}{RMSSD_{лежа}}$$

Данный нелинейный показатель характеризует реактивность ВНС – ее способность к функциональной перестройке в ответ на активную ортостатическую пробу. Для определения оптимального диапазона PVNS, соответствующего наиболее эффективной адаптации организма, был проведен кластерный анализ значений индекса PVNS лыжников-гонщиков на каждом этапе подготовительного периода с помощью алгоритма К-средних (K-means). Гистограмма индекса PVNS по кластерам представлена на (рис. 16).

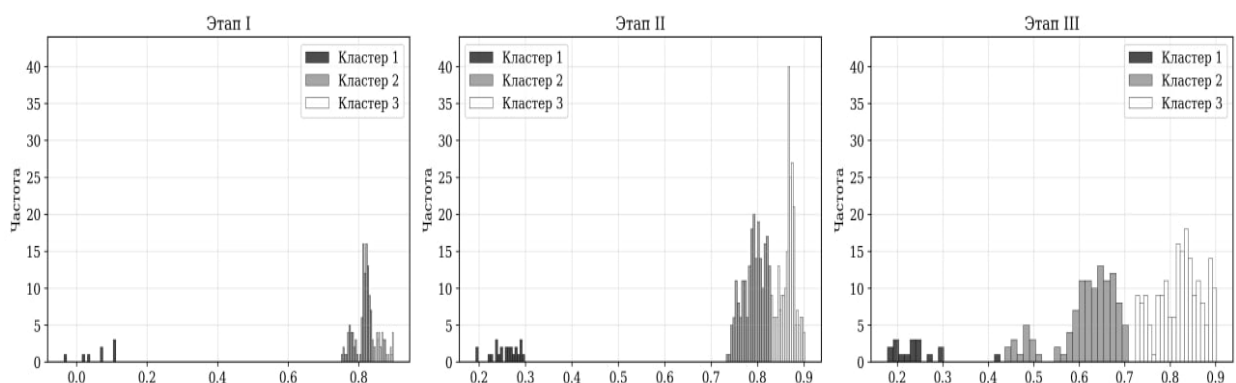


Рисунок 16 – Гистограмма распределения индекса PVNS по кластерам на этапах подготовительного периода, усл.ед.

Кластерный анализ, примененный с целью минимизации внутригрупповой дисперсии и максимизации межгрупповых различий, с дифференциацией выборки на подгруппы для выявления закономерностей, что позволило стратифицировать три качественно различных типа адаптационного состояния вегетативной регуляции, характеризующихся разным уровнем парасимпатического тонуса (табл. 57).

Таблица 57 – Распределение медианных значений показателя PVNS у лыжников-гонщиков по кластерам на этапах подготовки, Me [Q1; Q3], усл.ед.

Этап	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3
I	0,44 [0,32; 0,48]	0,82 [0,80; 0,83]	0,87 [0,85; 0,88]
II	0,26 [0,24; 0,28]	0,79 [0,77; 0,81]	0,87 [0,86; 0,88]
III	0,24 [0,20; 0,25]	0,63 [0,60; 0,67]	0,83 [0,79; 0,86]

Результаты, показывают, что медианные значения индекса PVNS в 1-ом кластере находятся в диапазоне значений PVNS менее 0,5 на всех этапах подготовительного периода. Наибольший межквартильный размах отмечен на I-ом этапе подготовки спортсменов. Значения индексов на II-ом и III-ем этапах свидетельствуют о повышении реактивности парасимпатического отдела на ортостатическую пробу. Значения индекса PVNS 2-го кластера снижаются от I-го этапа к III-ему на 22,65% и находятся в диапазоне от 0,6 до 0,8 усл.ед. Показатели индекса PVNS 3-его кластера сравнительно однородны и соответствуют диапазону 0,8–0,9 усл.ед. Полученные результаты демонстрируют, что уровень работоспособности связан с разными индивидуальными профилями вегетативной регуляции, оцениваемой по показателю функционального резерва парасимпатической вегетативной нервной системы (PVNS) (табл. 58).

Лидер 1 на всех этапах демонстрирует максимальную реактивность ($IPVNS \leq 0,50$). Спортсмены-лидеры №№ 2–10 находятся в оптимальном диапазоне 0,6–0,8 усл.ед. (кластер 2), однако, у лидера 6 к III-ему этапу зафиксировано минимальное значение (0,66), указывающее на тенденцию к переходу в кластер 1. У спортсменов группы резерва на I-ом и II-ом этапах

IPVNS > 0,81; к III этапу у 9-ти спортсменов из 10-ти сохраняется минимальная реактивность, а у резерва 10 регистрируется дезадаптивное значение > 0,91.

Таблица 58 – Количественные критерии IPVNS (усл.ед.) и распределение спортсменов

Кластер	Значение IPVNS	Спортсмен/этап	Характеристика вегетативной регуляции
I	$\leq 0,5$	Лидер 1 (I, II, III этапы)	Высокая реактивность отделов ВНС. Доминирование локальных механизмов регуляции. Эффективная адаптация.
II	0,6 – 0,8	Лидер №№ 2-10 (I, II, III этапы) Лидер 6 имел минимальные значения IPVNS на III этапе (0,66)	Оптимальный диапазон реактивности. Оптимальное соотношение между системными и локальными механизмами. Оптимальная адаптация.
III	> 0,81-0,9	Резерв 1-10 (I, II этапы); Резерв 1-9 (III)	Минимальная реактивность. Риск «парасимпатической перегрузки». Доминирование системных механизмов. Признак замедленного восстановления. Напряженная адаптация.
IV	> 0,91	Резерв 10 (III этап)	Крайне низкая реактивность. Напряжение системных механизмов. Риск дезадаптации.

Приведенные диапазоны IPVNS, отражающие различные уровни адаптационных возможностей организма и механизмы регуляции, не раскрывают индивидуальную динамику адаптационных процессов. Для установления направленности адаптивных процессов на этапах подготовительного периода были выделены четыре спортсмена, наиболее полно отражающих спектр типов вегетативной регуляции – от максимальной адаптивности (лидер 1) и пограничного состояния (лидер 6) до типичного системного типа (резерв 1) и дезадаптации (резерв 10).

Лидеры статистически значимо демонстрируют оптимальный профиль регуляции (более низкие значения), в то время как лыжники-гонщики из группы резерва значимо имеют признаки вегетативного напряжения, гиперреактивности (высокие значения).

Поддержание гомеостаза организма у спортсменов обеспечивается не только за счет функциональных резервов, но и экономичностью реагирования на предъявляемые нагрузки на разных этапах подготовительного периода.

Обсуждение результатов. Проведенный комплексный статистический анализ (факторный, регрессионный и кластерный) послужил основой к пониманию системной организации адаптационных процессов у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода. Статистические закономерности позволили выявить различия в структуре функционально-метаболических взаимосвязей между группами спортсменов; идентифицировать ключевые детерминанты, которые вносят наибольший вклад в формирование парасимпатического тонуса (RMSSD) у лыжников-гонщиков; верифицировать проявление двух типов адаптации – эффективного (экономичного) и напряженного (компенсаторного/гиперреактивного); установить количественные критерии (диапазоны индекса PVNS) для дифференциации этих типов.

Однако любой статистический метод, оперируя усредненными величинами и групповыми тенденциями, приводит к сглаживанию индивидуальных особенностей адаптационных процессов. Один и тот же тип вегетативной регуляции, установленный статистически, может обеспечиваться у спортсменов различными функционально-метаболическими механизмами адаптации. Для установления какие физиологические механизмы адаптации реализуются в условиях тренировочного процесса у конкретного спортсмена, был применен персонифицированный анализ.

С целью персонифицированного анализа на этапах подготовительного периода нами были отобраны четыре спортсмена, индивидуальные значения индекса PVNS у которых наиболее репрезентативно отражают выделенные кластеры и диапазоны (табл. 58). Выбор спортсменов №1 и №6 из группы лидеров и №1 и №10 из группы резерва основан на результатах кластеризации, представленных в таблице 57.

Лидер №1 демонстрирует эффективный (экономичный) тип регуляции, который характеризуется сформировавшимся механизмом экономизации функций в состоянии покоя при сохранении адекватной реактивности в ответ на ортостатическую пробу.

Лидер №6 представляет напряженный (адаптивно-компенсаторный) тип регуляции, для которого характерна активная мобилизация функциональных резервов, направленная на поддержание гомеостатического равновесия.

Спортсмен группы резерва №1 демонстрирует значения индекса PVNS выше 0,80 усл.ед., что соответствует гиперреактивному типу регуляции и, как правило, ассоциирован с более низкими показателями работоспособности и повышенным риском дезадаптации. Спортсмен из группы резерва №10 с индексом PVNS выше 0,9 усл.ед. находится в зоне риска с признаками срыва адаптации).

Таким образом, отобранные для персонифицированного анализа лыжники-гонщики представляют спортсменов с разными уровнями реактивности парасимпатического звена при ортостазе. Это создает методологическую основу для последующего персонифицированного изучения функционально-метаболических механизмов, лежащих в основе различных адаптационных процессов, обеспечивающих уровень работоспособности.

ГЛАВА 6. ПЕРСОНИФИЦИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА У ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ К НАГРУЗКАМ НА ЭТАПАХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА

С целью верификации установленных закономерностей и раскрытия физиологических механизмов, лежащих в основе экономичного, компенсаторного, гиперреактивного и лабильно-гиперреактивного типов регуляции, далее был проведен анализ функциональных систем: вегетативной регуляции сердечного ритма, центральной и периферической гемодинамики, структурно-функционального состояния миокарда, функции внешнего дыхания, а также показателей лейкоцитарного звена крови, биохимических маркеров и параметров метаболизма.

6.1. Реактивность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы у лыжников-гонщиков при проведении ортостатической пробы на этапах подготовительного периода (по показателю RMSSD)

Персонифицированные медианные значения RMSSD у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода в исходном положении лежа и при двухминутной активной ортостатической пробе представлены в таблице 59.

Результаты, представленные в таблице 59, показывают, что в положении лежа у лидера № 1 значения RMSSD были наименьшими, а различия по сравнению с другими спортсменами статистически значимы. В ортостазе значимое снижение значений RMSSD наблюдалось на всех этапах, но с большей долей на I-ом этапе подготовки.

У лидера №6 значения RMSSD в положении лежа имели вариативный характер: на II-ом этапе отмечена тенденция прироста значения RMSSD, по сравнению с I-ым, а к III-ему этапу показатель значимо снижался на 36,7%. Реактивность организма на ортостаз указывает на более выраженное подавление активности блуждающего нерва, по сравнению с лидером №1, и

смещение вегетативного баланса в сторону симпатикотонии на всех этапах подготовки.

Таблица 59 – Персонифицированные значения RMSSD у лыжников-гонщиков при проведении ортостатической пробы на этапах подготовительного периода, Me [Q1; Q3]

Группа	I этап (N=8)	II этап (N=24)	III этап (N=16)
RMSSD лежа, мс			
Лидер №1	58,00 [41,00; 65,50]	49,50 [40,25; 60,50]	46,50 [40,00; 52,25]
Лидер №6	125,00 [122,50; 129,50]	139,00 [102,25; 152,50]	88,00** [77,50; 106,50]
Резерв №1	138,50 [91,50; 157,50]	152,50 [128,25; 182,25]	136,00 ** [132,00; 174,50]
Резерв №10	108,50 [88,50; 118,75]	120,00 ** [109,00; 128,75]	86,50 [63,75; 113,75]
RMSSD стоя, мс			
Лидер №1	38,00 [30,00; 40,75]	37,00 [31,00; 49,50]	35,00 [30,25; 60,75]
Лидер №6	28,50 [24,25; 38,50]	27,00 [16,00; 47,25]	27,50 [17,75; 37,00]
Резерв №1	16,00 [11,00; 27,75]	18,00 [14,25; 23,50]	16,00 [13,00; 25,50]
Резерв №10	20,50 [14,25; 28,75]	22,00 [20,00; 30,00]	20,50 [16,00; 23,50]
Различия лежа-стоя, %			
Лидер №1	-52,63**	-25,25**	-24,73**
Лидер №6	-77,20***	-80,57***	-68,75***
Резерв №1	-88,44***	-88,19***	-88,23***
Резерв №10	-81,10***	-81,66***	-76,30***

Примечания: N – количество измерений на этапе; уровень статистической значимости различий: *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001 – для различий между положениями «лежа» и «стоя».

У спортсмена № 1 из группы резерва в положении лежа значения RMSSD также имели вариативный характер с большим парасимпатическим вкладом в ВСР на II-ом этапе. В ортостазе было установлено наибольшее процентное снижение показателя RMSSD, по сравнению, со всеми спортсменами, указывающее на максимальное увеличение активности адренергических механизмов и высших надсегментарных структур в регуляцию кардиоритма.

У резерва № 10 в исходном положении показатель RMSSD, аналогично, как и у всех спортсменов увеличился на 10,59% (p<0,05) на II-ом этапе подготовки, относительно I-го, и снизился на III-ем на 27,91% (p<0,01). В ортостазе было выраженное значимое снижение RMSSD, сходное с показателями лидера №6.



Рисунок 17 – Индивидуальные показатели ВСП и хронотропной реакции у лыжников-гонщиков при активной ортостатической пробе

На рисунке 17 представлены персонифицированные графики (на примере одного измерения) динамики ЧСС, уд./мин в ходе двухминутной активной ортостатической пробы. Для каждого спортсмена указаны: исходная ЧСС в положении лежа, пиковая ЧСС в ортостазе и значение ВСП в положении стоя (RMSSD, мс).

Выявлены достаточно высокие значения параметра RMSSD у спортсменов в положении лежа, за исключением лидера №1, у которого показатель находился на уровне средне популяционных значений. Избыточное повышение тонуса парасимпатического отдела ВНС у остальных спортсменов является адаптивной реакцией. Известно, что активация блуждающего нерва косвенно участвует в повышении УОК и снижении артериального давления через удлинение периода диастолы. В ранее проведенном исследовании (Мальцев А.Ю. с соавт., 2010) у группы спортсменов, в том числе у лыжников-гонщиков, для оценки ВСП так же использовался показатель RMSSD. Средняя арифметическая (M) $\pm$ (σ) данного показателя у спортсменов в состоянии покоя составила 85.0 ± 49.6 мс., что вполне согласуется с диапазоном значений, полученных в нашем исследовании. Длительность диастолы оказалась связана с RMSSD ($r = 0.589$, $p < 0.001$). Следовательно, повышение тонуса вагуса (значения RMSSD) у этих спортсменов участвует в повышении УОК и снижении артериального давления через удлинение периода диастолы.

В другом исследовании, в положении лежа у мужчин лыжников с базовой ЧСС от 40 до 55 уд./мин на регуляцию ритма сердца, как и в нашем исследовании, большее влияние оказывала парасимпатическая нервная система, на фоне снижения более высоких уровней регуляции. Статистически значимо были выше и значения временных показателей, в том числе RMSSD, по сравнению с лыжниками с исходной ЧСС от 56 до 70 уд./мин (Солонин Ю. Г. с соавт., 2022).

В группе спортсменов с ваготоническим типом регуляции срочная адаптация CCC происходит за счет процессов саморегуляции, без подключения центральных структур в формировании ответной реакции организма на ортостатическую пробу (Kudrya O.N., 2014). Вместе с тем, на втором этапе подготовительного периода медианные значения RMSSD у всех обследованных нами спортсменов в состоянии покоя значимо повышались (с максимальным межквартильным размахом у лидера №6) на фоне тенденции к понижению ЧСС, что указывает на адекватность нагрузки на этом этапе и восстановительных процессов. К концу специально-подготовительного этапа значения RMSSD, за исключением лидера, снижались, наиболее выражено у резерва №10, что сопровождалось и ростом ЧСС, что указывает на проблему восстановления, вероятно, связанную с неадекватной нагрузкой для данного спортсмена.

6.2. Персонализированный анализ кардиогемодинамических функций у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Анализ индивидуальных показателей центральной и периферической гемодинамики у лыжников-гонщиков выявил ряд адаптивных особенностей в системе кровообращения на разных этапах подготовительного периода. На первом этапе (начало базового этапа) были проанализированы медианные значения, полученные на основе 8 измерений, на втором этапе (конец базового этапа) – 24, на третьем – 16 в состоянии покоя и при ортостатической функциональной пробе (в 1-ый и 5-ый дни) в каждом микроцикле.

Индивидуальные результаты значений гемодинамики представлены в таблице 60.

Таблица 60 – Персонализированные значения ЧСС у лыжников-гонщиков при ортостатической пробе, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап (N=8)	II этап (N=24)	III этап (N=16)
ЧСС лежа, уд/мин			
Лидер №1	46,00 [45,00; 48,50]	47,00 [46,00; 49,75]	47,00 [45,00; 49,75]
Лидер №6	43,00 [38,00; 44,00]	41,00 [38,25; 43,75]	38,00 [36,25; 39,75]
Резерв №1	48,00 [47,25; 51,25]	46,50 [45,00; 49,75]	46,00 [44,25; 49,00]
Резерв №10	51,50 [49,50; 53,00]	48,50 [46,25; 51,00]	54,00 [52,25; 57,75]
ЧСС стоя, уд/мин			
Лидер №1	55,50 [54,25; 59,25]	57,00 [56,00; 60,75]	57,50 [56,00; 60,00]
Лидер №6	75,00 [73,25; 76,00]	71,00 [68,25; 74,75]	69,50 [65,00; 79,00]
Резерв №1	90,50 [83,00; 94,00]	85,50 [82,00; 91,00]	87,00 [84,50; 93,00]
Резерв №10	81,00 [80,00; 82,75]	76,00 [70,00; 82,75]	85,00 [82,25; 93,75]
Различия лежа-стоя, уд./мин			
Лидер №1	9,50**	10,00 **	10,50**
Лидер №6	32,00***	30,00***	31,50***
Резерв №1	42,50***	39,00***	41,00***
Резерв №10	29,50***	27,50***	31,00***

Примечание: N – количество измерений на этапе; уровень статистической значимости различий: ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

В положении лежа значения ЧСС были стабильными, характеризуя устойчивую брадикардию на уровне нижней границы нормы у спортсмена лидера №1 и резерва №1, на каждом этапе подготовительного периода. У лидера №6 брадикардия от этапа к этапу подготовки была более выраженной (ниже 45 уд/мин), а у резерва №10 выраженность брадикардии была оптимальной. При выполнении 2-х минутной ортостатической пробы у лидера №1 прирост ЧСС не превышал 20-22% ($p < 0,001$) на всех этапах подготовки; у лидера №6 прирост находился в диапазоне 30–32 уд./мин ($p < 0,001$). У спортсмена №1 из группы резерва был самый высокий прирост (42-39-41 уд/мин) ($p < 0,001$), при этом абсолютные показатели ЧСС у него в покое, практически не отличались от таковых от спортсмена лидера №1. У лыжника группы резерва №10 прирост ЧСС составлял от 27,5 до 31 уд./мин ($p < 0,001$).

Медианные значения УОК на этапах подготовительного периода в положении лежа у каждого спортсмена колебались в пределах физиологической нормы для квалифицированных спортсменов в диапазоне от 3

до 7 %. У лидера №10 межквартильный размах показателей УОК сдвигался в сторону более высоких значений. При ортостазе на I-ом этапе подготовки снижение показателя УОК было практически равным у лидера №1 и резерва №10 на уровне 7-8%; вдвое выше было снижение УОК у лидера №6 (14%) и резерва №1 (15%). На II-ом этапе реакция на ортостаз у лидера №1 и резерва №10 по УОК приближалась к показателям лидеров №6 и резервом №1. На III-ом этапе – реакция на ортостаз, по показателю УОК, была менее выражена (снижение составляло 9-10%) у лидера №1 и резерва №10, что косвенно отражает более высокий венозный возврат крови у данных спортсменов (табл. 61).

Таблица 61 – Персонафицированные значения УОК у лыжников-гонщиков при ортостатической пробе, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап (N=8)	II этап (N=24)	III этап (N=16)
УОК лежа, мл (Норма=??)			
Лидер №1	104,55 [102,12; 106,47]	106,12 [103,54; 108,61]	107,81 [105,03; 110,02]
Лидер №6	105,11 [102,87; 107,36]	109,18 [107,80; 110,16]	113,31 [109,88; 115,64]
Резерв №1	105,52 [100,25; 108,17]	105,13 [102,88; 107,76]	110,30 [108,02; 112,83]
Резерв №10	97,68 [94,88; 100,01]	104,52 [102,51; 106,81]	99,14 [97,45; 102,34]
УОК стоя, мл			
Лидер №1	97,23 [94,97; 99,02]	93,63 [90,12; 95,78]	97,69 [96,14; 102,31]
Лидер №6	89,34 [87,43; 91,25]	92,48 [90,87; 93,56]	96,79 [94,49; 99,03]
Резерв №1	88,63 [84,20; 90,86]	88,30 [86,42; 90,27]	90,44 [88,57; 92,52]
Резерв №10	89,86 [87,38; 92,77]	90,30 [88,59; 93,00]	88,93 [87,12; 91,13]
Различия лежа-стоя, %			
Лидер №1	-7,00*	-11,76**	-9,38**
Лидер №6	-15,00**	-15,30**	-14,57**
Резерв №1	-16,00**	-16,01**	-18,00***
Резерв №10	-8,00*	-13,61**	-10,30**

Примечание: N – количество измерений на этапе; уровень статистической значимости различий: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Персонафицированные значения МОК представлены в таблице 62. В состоянии покоя у каждого лыжника от этапа к этапу МОК сохранялся практически на одном уровне. На II-ом и III-ем этапах различия показателя МОК между лидерами №1 и №6 составили 13,5% и 14,6%, соответственно. У резерва №10 отмечена тенденция к увеличению МОК в покое к концу подготовительного периода, что взаимосвязано с повышением ЧСС на этом этапе.

Таблица 62 – Персонифицированные значения МОК у лыжников-гонщиков при ортостатической пробе, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап (N=8)	II этап (N=24)	III этап (N=16)
МОК лежа, л/мин			
Лидер №1	4,80 [4,73; 5,13]	5,06 [4,83; 5,39]	5,00 [4,90; 5,37]
Лидер №6	4,50 [4,04; 4,62]	4,40 [4,33; 4,68]	4,27 [4,16; 4,37]
Резерв №1	5,03 [4,86; 5,51]	4,90 [4,58; 5,16]	5,01 [4,64; 5,24]
Резерв №10	4,98 [5,13; 5,82]	4,99 [4,87; 5,37]	5,43 [5,10; 5,80]
МОК стоя, л/мин			
Лидер №1	5,48 [5,22; 5,72]	5,38 [5,14; 5,71]	5,61 [5,38; 5,99]
Лидер №6	6,72 [6,46; 6,94]	6,51 [6,37; 6,92]	6,68 [6,32; 7,83]
Резерв №1	8,03 [6,91; 8,30]	7,68 [7,12; 8,12]	8,03 [7,57; 8,28]
Резерв №10	7,24 [7,06; 7,73]	6,93 [6,34; 7,56]	7,57 [7,20; 8,63]
Различия лежа-стоя, %			
Лидер №1	14,16**	6,32*	12,20**
Лидер №6	49,33***	47,95***	56,44***
Резерв №1	59,64***	56,73***	60,27***
Резерв №10	45,38***	38,77***	39,41***

Примечание: N – количество измерений на этапе; уровень статистической значимости различий: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.

В ортостазе максимальное увеличение МОК на I-ом этапе было у резерва №1 и лидера №6, прирост показателя был в пределах 50-60%, что в 4 раза превышало прирост, по сравнению с лидером №1 на I-ом и III-ем этапах. Факт снижения прироста МОК у лидера №1 на втором этапе, практически в 2 раза, относительно начала и конца подготовительного периода, обусловлено относительным снижением у данного спортсмена УОК на этом этапе и стабильными показателями ЧСС на всех этапах подготовки.

Далее в таблицах 63-65 представлены персонифицированные значения САД, ДАД и ОПСС лыжников-гонщиков при ортостатической пробе.

Результаты, представленные в таблице 63, показывают, что у спортсмена-лидера №1 значение САД в положении лежа на II-ом этапе значимо превышало показатель I-го этапа. При ортостазе приросты САД на этапах подготовки были также статистически значимы. Абсолютное значение САД в положении ортостаза, также было выше на II-ом этапе подготовки спортсмена. У лидера №6 значения САД в положении лежа и при реакции на ортостаз были практически на одном уровне на всех этапах.

Таблица 63 – Персонифицированные значения САД у лыжников-гонщиков при ортостатической пробе, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап (N=8)	II этап (N=24)	III этап (N=16)
САД лежа, мм рт.ст.			
Лидер №1	124,50 [123,00; 126,00]	127,50 [125,00; 128,00] #	125,50 [123,25; 127,00]
Лидер №6	121,50 [120,00; 123,75]	123,00 [122,00; 124,75]	123,00 [122,00; 124,00]
Резерв №1	118,50 [116,25; 120,00]	122,50 [121,25; 123,75] #	122,00 [119,00; 123,00]
Резерв №10	108,50 [106,25; 111,50]	112,00 [109,25; 114,00]	111,00 [109,00; 115,75]
САД стоя, мм рт.ст.			
Лидер №1	128,50 [127,00; 130,00]	129,50 [127,00; 130,00]	127,50 [125,25; 129,00]
Лидер №6	122,50 [117,25; 123,75]	125,00 [121,50; 126,00]	124,00 [118,50; 126,00]
Резерв №1	115,50 [110,50; 120,25]	116,00 [114,00; 119,00]	117,50 [114,25; 122,50]
Резерв №10	112,00 [110,25; 114,75]	108,00 [107,00; 110,00]	108,50 [105,50; 110,00]
Различия лежа-стоя, %			
Лидер №1	3,21*	1,57*	1,59*
Лидер №6	0,82	1,62	0,81
Резерв №1	-2,53	-5,30**	-3,69
Резерв №10	3,22*	-3,57*	-2,25*

Примечание: N – количество измерений на этапе; уровень статистической значимости различий: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; # – значимые внутригрупповые различия между I-ым и II-ым этапами ($p < 0,05$).

У спортсмена №1 из группы резерва в состоянии покоя прирост значения САД на II-ом этапе, по отношению к первому, составил 3,37% ($p < 0,05$), а затем показатель сохранялся на этом уровне до конца подготовительного периода. В отличие от спортсменов из группы лидеров, у резерва №1, реакция на ортостатическую пробу выражалась снижением значения САД с максимумом на II-ом этапе на 5,3% ($p < 0,01$). У резерва № 10 в положении лежа, показатели САД, по сравнению с другими спортсменами, были самыми низкими, с той же тенденцией к повышению на II-ом этапе. В ортостазе на I-ом этапе был отмечен прирост САД ($p < 0,05$), на II-ом и III-ем этапах статистически значимое снижение показателя, как и у лидера №6.

Значения уровня ДАД у лыжников-гонщиков в положении лежа и при активном ортостазе представлены в таблице 64. Анализ, полученных результатов, показал, что у всех спортсменов значения ДАД в положении лежа на этапах подготовки были в пределах 60-70 мм рт.ст., однако у лидера №1 этот показатель был на 5-8 мм рт.ст выше, чем у других спортсменов на всех этапах подготовки.

Таблица 64 – Персонифицированные значения ДАД у лыжников-гонщиков при ортостатической пробе, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап (N=8)	II этап (N=24)	III этап (N=16)
ДАД лежа, мм рт.ст.			
Лидер №1	68,50 [67,00; 70,75]	70,00 [69,00; 72,00]	68,50 [67,00; 70,75]
Лидер №6	64,50 [63,25; 67,00]	64,00 [63,00; 66,00]	61,00 [60,00; 63,00]
Резерв №1	62,50 [62,00; 64,00]	67,00 [66,00; 69,00]	62,00 [60,25; 63,75]
Резерв №10	63,50 [62,00; 64,75]	61,50 [60,25; 62,00]	63,50 [62,00; 64,75]
ДАД стоя, мм рт.ст.			
Лидер №1	76,00 [74,00; 78,50]	82,00 [80,00; 83,00]	73,50 [72,00; 75,75]
Лидер №6	73,50 [72,00; 75,00]	74,50 [73,00; 77,00]	71,00 [69,00; 73,75]
Резерв №1	71,50 [71,00; 73,75]	74,00 [73,00; 76,00]	73,00 [71,00; 74,00]
Резерв №10	69,00 [67,25; 70,00]	68,00 [67,00; 68,75]	69,00 [68,00; 71,50]
Различия лежа-стоя, %			
Лидер №1	10,94**	17,14**	7,29*
Лидер №6	13,95**	16,40**	16,39**
Резерв №1	14,40**	10,44**	17,74***
Резерв №10	8,66*	10,56**	8,66*

Примечание: N – количество измерений на этапе; уровень статистической значимости различий: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

При выполнении ортостатической пробы у всех спортсменов было установлено повышение значений ДАД, что является результатом компенсаторной реакции периферических сосудов. Максимальный прирост на уровне 17% был зафиксирован у лидера №1 на II-ом этапе; у лидера №6 на II-ом и III-ем этапах (16%); у спортсмена №1 из группы резерва на III-ем этапе подготовительного периода более, чем на 17%. У лыжника №10 из группы резерва прирост ДАД при ортостатической пробе на всех этапах подготовки был наименьшим из группы сравнения, на уровне 9-10%.

Ключевым фактором в поддержании АД в вертикальном положении является вазоконстрикция (барорефлекторный механизм), как фактор наиболее значимый, чем увеличение ЧСС. Быстрая краткосрочная адаптация к ортостатическому стрессу осуществляется исключительно по волокнам симпатического отдела автономной нервной системы (Головина Г.А., Дупляков Д.В., 2014).

Важным параметром в адаптации сердечнососудистой системы является ОПСС, которое характеризует эффективность распределения крови к работающим мышцам и поддержание гомеостаза во время нагрузки и после

нее. Медианные значения ОПСС у лыжников-гонщиков в состоянии покоя и при реакции на ортостаз, на этапах подготовительного периода представлены в таблице 65.

Таблица 65 – Персонифицированные значения ОПСС у лыжников-гонщиков при ортостатической пробе, Ме [Q1; Q3]

Группа	I этап (N=8)	II этап (N=24)	III этап (N=16)
ОПСС лежа, Па·мл ⁻¹			
Лидер №1	161,52 [154,06; 163,63]	162,40 [150,85; 169,49]	158,90 [151,97; 162,75]
Лидер №6	163,60 [154,69; 178,32]	164,82 [157,38; 173,28]	170,05 [158,89; 175,76] [#]
Резерв №1	151,61 [141,76; 157,13]	157,48 [145,73; 163,30]	144,63 [141,15; 148,86] [#]
Резерв №10	137,07 [131,17; 138,41]	138,48 [132,29; 143,31]	127,56 [121,73; 133,85] [#]
ОПСС стоя, Па·мл ⁻¹			
Лидер №1	151,54 [143,13; 158,20]	157,88 [149,07; 165,52]	142,86 [137,66; 147,51] [#]
Лидер №6	112,82 [109,75; 116,37]	119,56 [115,16; 127,29]	114,64 [104,88; 122,08]
Резерв №1	98,81 [94,62; 102,30]	99,15 [93,29; 107,31]	95,86 [90,50; 99,74]
Резерв №10	98,09 [94,16; 100,91]	103,14 [95,49; 110,78]	93,58 [85,90; 95,98]
Различия лежа-стоя, %			
Лидер №1	-6,17	-2,78	-10,09**
Лидер №6	-31,03***	-27,46***	-32,58***
Резерв №1	-34,82***	-37,03***	-33,72***
Резерв №10	-28,43***	-25,51***	-26,63***

Примечание: N – количество измерений на этапе; уровень статистической значимости различий: **p <0,01; ***p <0,001; # – значимые внутригрупповые различия между показателями II-ым и III-ем этапами подготовки (p <0,05).

Результаты, представленные в таблице 65, показывают, что у лидера №1 значения ОПСС в состоянии покоя на этапах подготовки были относительно стабильными. В ортостазе значимое снижение ОПСС было выявлено только на III-ем этапе, а медианные значения ОПСС на II-ом этапе превышали таковые III-го этапа – на 9,51% (p<0,05). У лидера №6 значения ОПСС в положении лежа от этапа к этапу имели тенденцию к повышению, достигая статистической значимости к концу подготовительного периода (6,55%). В ортостазе снижение уровня ОПСС у лидера №6 на всех этапах подготовки было практически одинаковым, в диапазоне 30% и в разы превышало процентные показатели его снижения у лидера №1.

У спортсмена №1 из группы резерва значения ОПСС как в состоянии покоя, так и в ортостазе характеризовались увеличением вариативности значений выборки и межквартильного размаха на II-ом, и их снижением на III-

ем этапе подготовительного периода. Медианные значения ОПСС на III-ем этапе, по сравнению со II-ым, были значимо ниже на 8,16%. Снижение ОПСС в реакции на ортостаз на всех этапах исследования у данного спортсмена было самым высоким из группы сравнения и составляло 34,0-37,0%.

У резерва №10 значения ОПСС в покое были наименьшими, по сравнению с другими спортсменами, а медианные значения при ортостатической пробе были аналогичны показателям резерва №1. При этом на III-ем этапе уровень ОПСС, по сравнению со II-ым был также ниже на 7,88% ($p < 0,05$). Соответственно, различия между положением лежа и стоя по этапам подготовительного периода, составили 25-28%.

Таким образом, результаты активной двухминутной ортостатической пробы, вызвавшие изменения параметров центральной и периферической гемодинамики, а также их направленности в сторону повышения или снижения, соответствуют классификации: нормальная ортостатическая устойчивость – у спортсмена лидера №1, удовлетворительная ортостатическая устойчивость выявлена у лидера №6 и резерва №10; пониженная ортостатическая устойчивость у лыжника №1 из группы резерва.

6.3. Анализ эхо-кардиографических параметров у лыжников-гонщиков, дифференцированных по скорости двигательных действий, в конце подготовительного периода

Известно, что у спортсменов при адекватной тренировочной нагрузке нейровегетативная регуляция системы кровообращения обеспечивает процессы экономизации деятельности сердца, признаками которой являются выраженная брадикардия и доминирование парасимпатической регуляции сердечного ритма в состоянии покоя, что сопровождается снижением потребления кислорода миокардом и увеличением диастолической фазы кардиоцикла.

Цель данного раздела исследования заключалась в анализе персонифицированных показателей параметров эхокардиографии, из числа обследованных спортсменов были выявлены особенности структуры и функции

сердца у представителей группы лидеров (спортсмены №1 и №6) и резерва (спортсмены №1 и №10).

Показатели параметров эхокардиографического исследования лыжников-гонщиков представлены в таблице 66, в абсолютных значениях.

Таблица 66 – Индивидуальные показатели параметров эхокардиограммы лыжников-гонщиков в конце подготовительного периода

Параметр	Лидер №1	Лидер №6	Резерв №1	Резерв №10	Нормативы*
Размер ЛП, см	3,80	3,20	3,40	3,83	3,00 - 4,00
Объем ЛП, мм	44,00	34,00	47,44	–	18,00-58,00
КДР ЛЖ, см	5,60	5,90	5,37	5,90	4,20-5,90
КСР ЛЖ, см	3,50	3,20	2,80	4,05	2,50-3,98
Δ КДР-КСР, см	2,10	2,70	2,57	1,85	>1,86
ФВ, %	68,00	74,00	78,80	62,90	52,00-72,00
Диам. аорты, см	3,20	3,40	3,20	3,10	2,20-4,40
Диаметр ЛА, см	2,30	2,50	2,50	2,40	< 2,80
ММЛЖ, г	290,00	225,00	213,02	271,10	88,00-224,00
ИММЛЖ, г/м ²	145,20	123,00	119,25	147,20	50,00-102,00
УО ЛЖ, мл	105,00	127,00	109,96	105,70	40,00-123,00
ТЗСЛЖ, см	0,90	1,00	1,03	1,23	0,60-1,00
ТМЖП, см	0,90	0,90	1,03	1,23	0,60-1,00
ТМЖП / ТЗСЛЖ	1,00	0,90	1,00	1,00	< 1
КДО, мл	154,00	174,00	139,51	167,70	67 -155
КСО, мл	49,00	47,00	29,55	62,00	22,00-58,00
КДО/ММЛЖ, у.е.	0,53	0,77	0,65	0,61	0,7-1,0

* Международные рекомендации нормативных значений для популяции здоровых людей (Lang R.M., Badano L.P., 2015).

Анализ эхокардиографических показателей проведен с участием врача-кардиолога высшей категории, кан. биол. наук Ярышевой В.Б.

Анализ результатов выявил, что у обследуемых спортсменов значения линейных и объемных параметров левого предсердия, диаметр аорты и легочной артерии соответствовали нормативным показателям для популяции здоровых людей (Lang R.M., Badano L.P., 2015). Другие анализируемые параметры Эхо-КГ у обследованных лыжников-гонщиков имели особенности, отражающие индивидуальные механизмы адаптивных структурно-функциональных перестроек сердечно-сосудистой системы.

Анализ параметров Эхо-КГ обследования у лидера №1 показал, что структурно-функциональные адаптивные изменения по большинству показателей не выходили за верхние границы нормативных значений.

Исключение составил показатель массы миокарда ЛЖ, превышающий верхнюю границу рекомендуемой нормы на 29,5% и индекс массы миокарда ЛЖ, значение которого превысило нормативы на 29,8%. При этом, значения ТЗСЛЖ и ТМЖП свидетельствуют о гипертрофии миокарда левого желудочка, в пределах физиологической нормы. Доминирующими параметрами, обуславливающими уровень работоспособности лидера №1, явились показатели ММЛЖ и КДО ЛЖ – морфофункциональные показатели, отражающие адаптивные особенности сердца у данного лыжника, характерные для спортсменов, развивающих качество выносливости (Смоленский А.В. с соавт., 2010). Критериями диагностики гипертрофии миокарда являются: снижение отношения КДО/ММЛЖ, которое у лидера №1 было наименьшим, а соотношение ТМЖП/ТЗСЛЖ соответствовало верхней границе нормы. Следовательно, согласно (Дерновой В.Ф., Прошева В.И., 2024) у лидера №1 морфометрические и функциональные параметры сердца свидетельствуют об эксцентрической гипертрофии левого желудочка и о большем вкладе в глобальную сократимость левого желудочка, свободной стенки миокарда.

У лидера №6 ремоделирование структурно-функциональных параметров сердца, влияющих на обеспечение физической работоспособности, выражалось в большей степени значениями КДР ЛЖ, КДО, УО и ФВ. При этом, значение КДР ЛЖ и ФВ находилось в верхних нормативных пределах, а показатель КДО ЛЖ выходил за верхние границы рекомендуемых значений на 13,54%. Расширение полости левого желудочка КДО и превышение нормативных значений УО (и на 17,3% показателя лидера №1) обеспечивают повышенную потребность метаболического обеспечения тканей на возросшие нагрузки специально-подготовительного этапа подготовки. Индексы соотношения КДО/ММЛЖ и ТМЖП / ТЗСЛЖ соответствовали рекомендуемым нормам. Таким образом, к концу подготовительного периода у лидера №10 деятельность сердечно-сосудистой системы, преимущественно обеспечивалась за счет увеличения диастолической функции миокарда.

У спортсмена №1 из группы резерва показатели ТМЖП, ТЗСЛЖ и их соотношение соответствовали верхней границе нормативных значений. Показатель ФВ был выше верхней границы нормы на 8,6%, а показатель КСО был значительно ниже, по сравнению с лидером №1 на 65,8%, и с лидером №6 на 59,1%. Адаптивные изменения на физические нагрузки специально подготовительного этапа у данного спортсмена в большей степени проявлялись в параметрах, характеризующих сократительную функцию сердца, что требует большего потребления кислорода и является менее эффективным адаптационным процессом.

У спортсмена №10 из группы резерва отличительными параметрами эхокардиографии были как линейные показатели КДР и КСР на уровне верхней границы нормы, так и объемные показатели КСО и КДО левого желудочка, которые выходили за верхние пределы рекомендуемых нормативов. При этом, установлено превышение ММЛЖ на 17,40% и показателей ТМЖП и ТЗСЛЖ на 23,0%. Индекс соотношения КДО/ММЛЖ у данного спортсмена был ниже рекомендуемых значений, что указывает на выраженную гипертрофию миокарда и сопровождается снижением фракции выброса и увеличением КСО левого желудочка. Выраженная гипертрофия у данного спортсмена является лимитирующим фактором работоспособности и достижения высоких спортивных результатов.

Главным фактором, ограничивающим аэробную нагрузку у спортсменов, тренирующихся на выносливость, является перенос кислорода, в связи с чем, вероятно, основным механизмом приспособления к аэробным нагрузкам является повышение насосной функции сердца, а именно ударного объема и сердечного выброса (Фудин Н.А. с соавт., 2015).

Оценивая персонализированные результаты ортостатической пробы, можно заключить, что у лидера №1 были установлены эффективные изменения показателей центральной гемодинамики при воздействии физических нагрузок в подготовительном периоде. Наблюдалась экономизация работы сердца и сосудистой системы в состоянии покоя за счет оптимального снижения ЧСС и

увеличения УОК, что является отражением инотропного и менее энергоемкого функционирования сердечно-сосудистой системы (Максимов А.Л., с соавт. 2021). Такие адаптационные изменения подтверждаются нормальной ортостатической устойчивостью. У лидера №6 был установлен адаптивно-компенсаторный вариант изменений показателей центральной гемодинамики в ответ на тренировочные нагрузки, что проявилось удовлетворительным уровнем ортостатической устойчивости.

У спортсмена №1 из группы резерва вариант адаптации по показателям центральной гемодинамики можно охарактеризовать, как напряжение регуляторных механизмов. Увеличение ЧСС в ортостазе более, чем на 40 уд./мин отражает пониженный уровень вегетативной ортостатической устойчивости, что может сопровождаться повышением степени централизации управления сердечным ритмом (Сатаркулова А.М., с соавт. 2018).

У спортсмена №10 группы резерва изменения показателей системы кровообращения указывают на дезадаптивный вариант ответа. Увеличение ЧСС в состоянии покоя к концу подготовительного периода со сдвигом межквартильного размаха в сторону повышения при снижении медианного значения и межквартильного размаха показателей УОК, следует рассматривать, как компенсаторную реакцию организма на возрастающую потребность организма в кислороде (Лесов Е.М. с соавт. 2015).

Установлено, что у спортсменов, занимающихся тренировкой на выносливость, развивается умеренная, преимущественно эксцентрическая гипертрофия левого желудочка, которая отражает адаптивные механизмы к спортивной деятельности. Функциональная адаптация сердца у спортсменов характеризуется более высокой способностью увеличивать ударный объем во время физической нагрузки (Аршинова Н.Г. с соавт., 2010), что взаимосвязано с большей растяжимостью камеры левого желудочка во время диастолы, которая связывает давление наполнения левого желудочка с ударным объемом (Федотова, И.В. с соавт., 2017). По данным автора, у обследованных спортсменов юношеского возраста показатели Эхо-КГ укладываются в

рекомендованные значения для популяции здоровых людей (Lang R.M., Badano L.P., 2015). У квалифицированных лыжников и биатлонистов мужского пола с высоко-динамической направленностью тренировок размеры и объемы ЛЖ имели следующие показатели: КДР 5,1 (4,9; 5,5) см; КСР 3,3 (3,2; 3,6) см; КДО 124,0 (117,0; 147,0) мл; КСО 46,0 (40,0; 54,0) мл; ТЗСЛЖ 0,9 (0,8; 1,0) см, и ТМЖП 0,9 (0,8; 1,0) см (Гаврилова Е.А. с соавт., 2021).

Фракция выброса левого желудочка (ФВЛЖ) характеризует сократительную способность миокарда, и ее уровень, рекомендованный для определения сохранности систолической функции, должен быть больше 50% (Мареев В.Ю. с соавт., 2007). Как показывают, представленные данные, у лидера №1, №6 и резерва №10 значения ФВЛЖ были на уровне нормативных значений, что указывает на сохранение исходной систолической функции миокарда; у резерва №1 значения ФВ превышали нормативы.

Для оценки рациональной адаптации сердца к физическим нагрузкам исследователи используют индекс соотношения КДО/ММЛЖ, который должен быть на уровне 1,0 усл.ед. Снижение этого показателя указывает на преобладание пластических процессов в сердечной мышце (Кудря О.Н., 2012). Низкие значения индекса $\text{КДО/ММЛЖ} = 0,69$ были зарегистрированы у мастеров спорта (Аршинова Н.Г. с соавт., 2010).

В норме, как правило, толщина миокарда задней стенки ЛЖ превышает толщину межжелудочковой перегородки, а соотношение ТМЖП/ТЗСЛЖ должно быть меньше 1,0. Соотношение $\text{ТМЖП/ТЗСЛЖ} > 1,0$ – достоверный признак гипертрофии миокарда ЛЖ (Комар Е.Б., 2017). Однако для высококвалифицированных спортсменов, в качестве допустимых значений толщины миокарда, указывают: 1,3-1,5 см (Maron, B.J., Pelliccia A., 2006). Особенности морфологии сердца у мужчин, тренирующихся с преимущественным развитием выносливости, были представлены в работе (Сиротин А.Б. с соавт., 2010), где значения ТЗСЛЖ, см составляли $1,1 \pm 0,02$; ТМЖП, см. – $1,02 \pm 0,02$; ТМЖП/ТЗСЛЖ – 0,92; КДР, см. – $5,69 \pm 0,07$; КДО, см. – $160,86 \pm 8,73$; ММЛЖ, г. – $167,45 \pm 9,09$; КДО/ММЛЖ $0,96 \pm 0,03$. По данным

других авторов, у спортсменов, занимающихся лыжными гонками, установлены: $\text{ТМЖП} = 1,34 \pm 0,01$; $\text{ТМЗСЛЖ} = 0,89 \pm 0,01$; $\text{ИММЛЖ} = 170,51 \pm 32,54$; фракция выброса – $44,65 \pm 8,3\%$ (Жикина Н.П. с соавт., 2019).

Сравнение собственных результатов и данных, представленных рядом авторов, указывает на менее выраженные различия линейных размеров и более выраженные различия объемных параметров левого желудочка. Соотношения $\text{ТМЖП}/\text{ТМЗСЛЖ}$ у спортсменов не превышали предельные допустимые значения.

Анализ персонифицированных Эхо-КГ параметров лыжников-гонщиков в конце подготовительного периода выявил, что у лидера №1 дальнейшее увеличение ММЛЖ будет выраженным фактором риска, что требует системного кардиологического контроля; у лидера №6 деятельность ССС, преимущественно обеспечивалась за счет увеличения диастолической функции миокарда, однако высокие значения УОК и ФВ не свидетельствуют об оптимальном механизме адаптации и могут привести к сердечной недостаточности, в связи с истощением компенсаторных возможностей сердца по повышению кровоснабжения органов и тканей; у резерва №1 адаптивные изменения в большей степени проявлялись в параметрах, характеризующих сократительную функцию сердца, что требует большего потребления кислорода и является менее эффективным процессом; у резерва №10 установлено превышение ММЛЖ на 17,40% и показателей ТМЖП и ТМЗСЛЖ на 23,0%, индекс соотношения КДО/ММЛЖ у данного спортсмена ниже рекомендуемых значений, что указывает на выраженную гипертрофию миокарда и сопровождается увеличением КСО левого желудочка. Данному спортсмену также рекомендован системный кардиологический контроль.

Определение интенсивности и объемов физической нагрузки у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода должно учитывать индивидуальные особенности адаптивных изменений кардиогемодинамических параметров. Выбор соответствующих показателей и их интерпретация у лыжников-гонщиков остаются открытыми.

6.4. Персонализированный анализ динамики показателей функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Вариабельность параметров внешнего дыхания до 15% считается физиологической нормой. При высокоинтенсивных и длительных мышечных нагрузках у спортсменов, тренирующих выносливость, система дыхания может стать лимитирующим звеном в достижении максимального спортивного результата (Segizbaeva M.O. et al., 2013). В таблице 67 представлены показатели функции внешнего дыхания у лыжника-гонщика-лидера №1 на этапах подготовительного периода.

Таблица 67 – Показатели функции внешнего дыхания у лыжника-лидера №1 на этапах подготовительного периода

Показатель	Норма*	I этап	II этап	III этап
ЧД кол-во/мин	11 – 14	13,07	14,98	10,91
ДО, л	0,5 – 0,6	0,81	0,75	0,70
МОД, л	6 – 8	10,60	11,22	7,64
ЖЕЛ вд., л	2 – 6	5,67	6,02	5,02
ЖЕЛ выд., л.	2 – 6	5,60	6,01	5,21
РО вд., л	1,5 – 2,0	3,07	3,18	2,93
РО выд., л	1,0 – 1,5	1,72	2,07	2,96
МВЛ, л/мин	75 – 170	170,80	179,30	177,96

Нормативные значения для показателей спокойного дыхания (ЧД, ДО, МОД, РОвд, РОвыд) представляют собой референсные интервалы, характерные для здоровых взрослых людей и квалифицированных спортсменов в состоянии покоя, согласно фундаментальным руководствам по физиологии дыхания и функциональной диагностике (Шмидт Р. Ф. с соавт., 2019). Должные величины для ЖЕЛ и для МВЛ рассчитаны индивидуально для данного спортсмена (мужчина, 23 года, рост 181 см, вес 75 кг) на основе общепринятых медицинских нормативов (формулы ECCS-1993; GLI-2012 (Quanjer, P.H. et al., 1993; 2012), рекомендованных Российским респираторным обществом (Каменева, М.Ю. с соавт., 2021).

К концу специально-подготовительного этапа адаптивные процессы в дыхательной системе у лидера №1 выражались в экономичности легочной

вентиляции, в снижении частоты дыхания и дыхательного объема, за счет снижения сопротивления току воздуха в воздухоносных путях.

Анализ показателей форсированной жизненной емкости на вдохе свидетельствует о вариативном характере адаптации респираторной системы у спортсмена-лидера №1 (табл. 68).

Таблица 68 – Показатели форсированной жизненной емкости на вдохе и выдохе у лыжника-лидера №1 на этапах подготовительного периода

Показатель	Норма*	I этап	II этап	III этап
ФЖЕЛ вд., л	3,5 – 5,5	5,53	6,08	5,49
ФЖЕЛ выд., л	3,5 – 5,5	5,50	5,93	5,40
ОФВ1 вд., л	3,0 – 5,0	5,36	4,11	5,45
ОФВ1 выд., л	3,0 – 5,0	4,46	5,24	4,72

Показатели ФЖЕЛ_{вд} и ФЖЕЛ_{выд} на всех этапах подготовки сохранялись в пределах верхней границы нормы (3,5–5,5 л). Наиболее выраженная динамика зафиксирована для ОФВ1_{выд.} и ОФВ1_{вд.}. Отмечено разнонаправленное изменение данных показателей: ОФВ1_{выд.} возрастал на II-ом этапе на 17,49%, после чего к III-му этапу снизился на 9,92%, сохранив итоговый прирост в 5,83% относительно исходного уровня. ОФВ1_{вд.}, напротив, снижался на II-ом этапе на 23,32% с последующим восстановлением к III-му этапу (прирост 32,60% по отношению ко II-му этапу), что позволило вернуться к исходным значениям (1,68%).

Далее были проанализированы объемно-скоростные показатели биомеханики дыхания (МОС, ПОС, СОС), которые позволяют оценить бронхиальную проходимость на уровне крупных, средних и мелких дыхательных путей как на вдохе, так и на выдохе (табл. 69).

Таблица 69 – Показатели, отражающие объемно-скоростные характеристики биомеханики дыхания на вдохе и выдохе у лыжника-лидера №1 на этапах подготовительного периода

Показатель	Должные величины (ECCS-1993)*	I этап	II этап	III этап
МОС _{25%} выд., л/с	8,76	6,99	8,93	9,53
МОС _{50%} выд., л/с	5,98	6,12	6,71	7,33
МОС _{75%} выд., л/с	2,84	2,32	3,54	3,15
МОС _{50%} вд., л/с	-	7,92	5,07	7,13
ПОС _{выд.} , л/с	9,82	8,43	10,47	10,34

ПОС _{вд.} , л/с	-	8,59	5,11	8,37
СОС _{25-75% выд.} , л/с	6,24	4,74	6,18	6,13
СОС _{75-85% выд.} , л/с	-	1,83	2,96	2,25

Примечание: *рассчет должных величин по уравнениям регрессии ECCS-1993 (European Community for Steel and Coal) (Quanjer P.H. et al., 1993).

Результаты, представленные в таблице 69, демонстрирует вариативный характер адаптации респираторной системы лыжника-лидера в течение подготовительного периода. Рост скоростных показателей выдоха к III-му этапу позволяет судить об эффективной адаптации дыхательной системы и улучшение бронхиальной проходимости к нагрузкам. Установленная динамика инспираторных потоков (ПОС_{вд.}, МОС_{50%вд.}) носила нелинейный характер с выраженным снижением значений на II-ом этапе: ПОС_{вд.} уменьшилась на 40,51%, а МОС_{50%вд.} – на 35,98% по сравнению с исходными значениями I-го этапа.

Сравнительная оценка вентиляционных возможностей дыхательной системы по индексу Тиффно (ИТ), представленная в таблице 70, показывает, что отмечается тенденция к росту этих возможностей (80,65%; 86,18%; 85,97%), что свидетельствует о возрастании силы дыхательных мышц и высоком уровне тренированности вентиляционной функции.

Таблица 70 – Значения индекса Тиффно у лыжника-лидера №1 на этапах подготовительного периода (ОФВ_{Iвыд.}/ФЖЕЛ_{вд.})

Группа	I этап	II этап	III этап
индекса Тиффно, %			
Лидер №1	80,65	86,18	85,97
Лидер №6	83,83	84,87	83,01
Резерв №1	90,38	81,93	90,89
Резерв №10	80,22	74,85	79,72

Поэтому показатели функции дыхательной системы лидера №1 были приняты за модельные (100%) и сравнивались с результатами других спортсменов. Индивидуальные профили лыжников-гонщиков, представителей из группы лидеров (№6) и резерва (№1 и №10) представлены на рисунке 18.

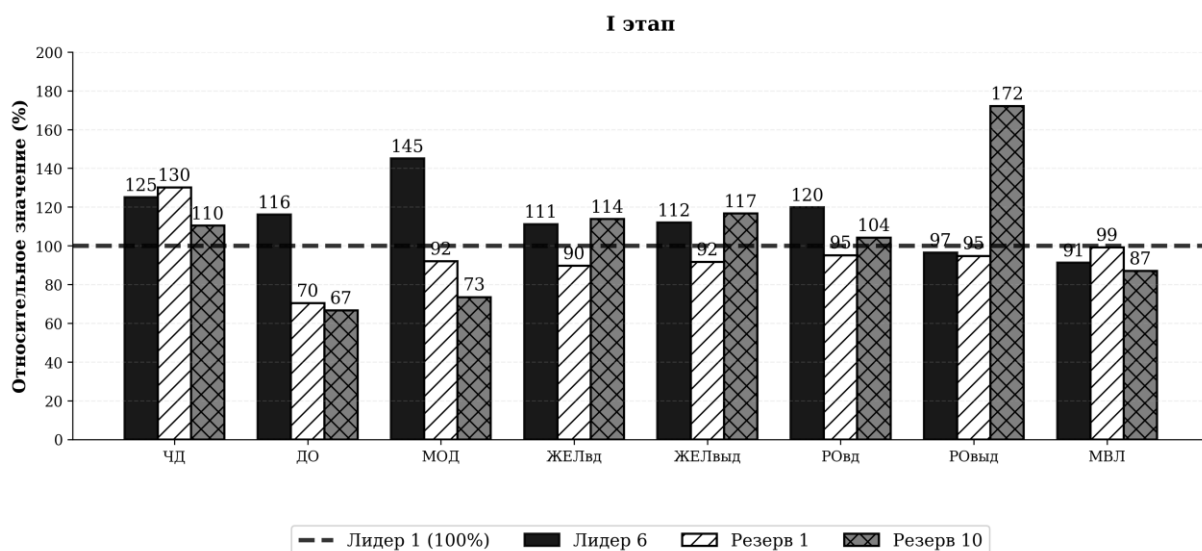


Рисунок 18 – Индивидуальные профили соотношения параметров функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков (в % к показателям лидера №1) в начале базового этапа

Анализ индивидуальных показателей спортсмена № 6 из группы лидеров выявил отличительные особенности дыхательной функции от значений лидера №1 на каждом этапе подготовительного периода. Так, **в начале базового этапа** подготовки, у лидера №6 показатель МОД был выше на 45%, в большей степени за счет частоты дыхания (рис. 18).

Потоковый показатель форсированной жизненной емкости легких **МОС₅₀** вдоха, был ниже значений лидера более, чем на 20% (рис. 19). Однако в конце базового этапа подготовки ситуация изменилась: МОД стал ниже в результате снижения ДО, а показатели ФЖЕЛ, ПОСвд и МОС₅₀вд, характеризующие скорость воздушного потока, превышали значения лидера практически в 2 раза. В конце подготовительного периода вновь наблюдалось повышение значений МОД относительно модельного показателя, за счет роста ЧД и ДО, а значения ПОСвд и МОС₅₀ вд, наоборот, снизились до уровня значений лидера.

Такая динамика показателей у лидера №6 указывает на фазность процессов адаптации дыхательной функции к возрастающим нагрузкам на этапах подготовительного периода. Показатели индекса Тиффно были стабильны и находились в границах верхней популяционной нормы. Отклонений функции бронхиальной проходимости у лидера №6 не выявлено.

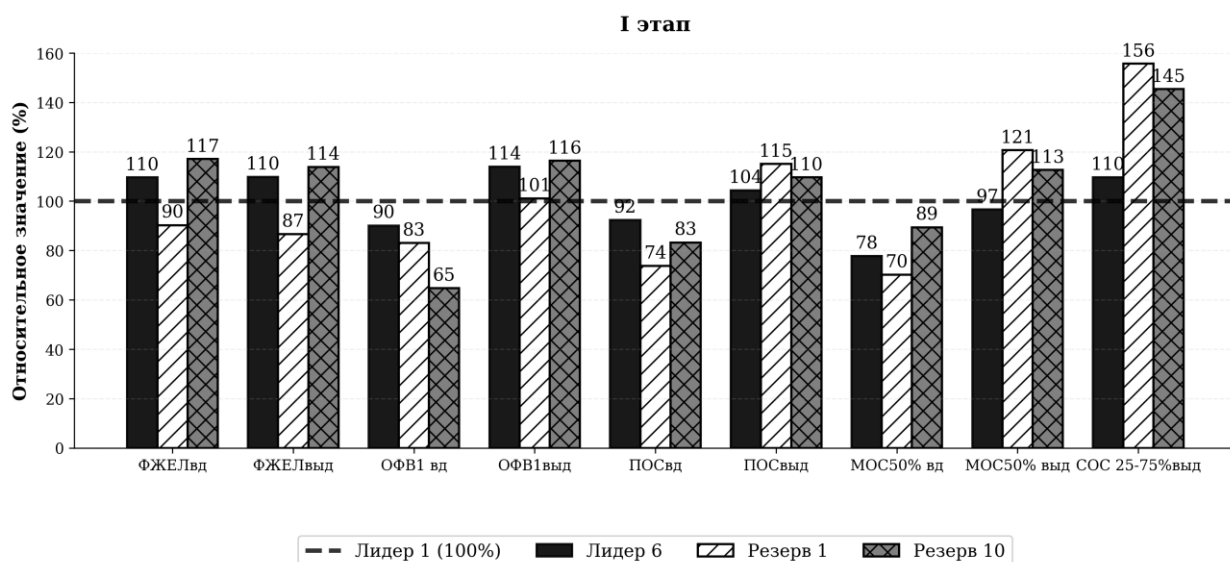


Рисунок 19 – Индивидуальные профили соотношения параметров, отражающие объемно-скоростные характеристики биомеханики дыхания на вдохе и выдохе у лыжников-гонщиков (в % к показателям лидера №1) в начале базового этапа

Анализ индивидуальных показателей спортсмена № 1 из группы резерва выявил отличительные особенности дыхательной функции от модельных значений. **На первом этапе** подготовки ДО у спортсмена был ниже, чем у лидера №1 на 30%, ЧД выше на 30%. В реципрокных отношениях были значения ПОСвд и ПОСвыд; МОС50вд и МОС₅₀выд., показатели вдоха были ниже, а выдоха выше, по сравнению с лидером на 15-20%. Функциональные изменения, проявляющиеся на вдохе снижением инспираторного потока, могут быть обусловлены легкой степенью абструкции верхних дыхательных путей. Наиболее чувствительным показателем ФЖЕЛ является маркер, характеризующий абструкцию легкой степени СОС₂₅₋₇₅, значения которого у данного спортсмена превышали модельный показатель на 56%. **На втором этапе подготовки** у спортсмена №1 (резерв) ЧД незначительно снизилась, а ДО – оставался ниже на 25%, поэтому МОД был ниже показателя лидера на 30%. При этом ЖЕЛ вдоха и выдоха, и МВЛ соответствовали уровню значений лидеров № 1 и №6, но показатели РОвд на 24 % превышали, а выдоха – были на 29,0% ниже модельных значений (рис. 20).

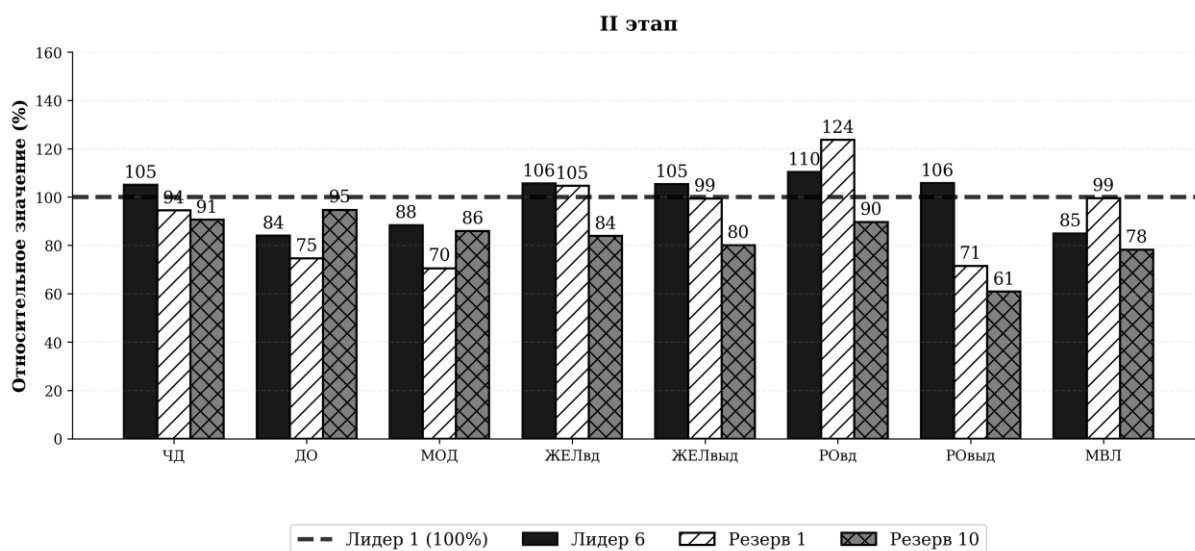


Рисунок 20 – Индивидуальные профили соотношения параметров функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков (в % к показателям лидера №1) в конце базового этапа

Противоположно изменялись значения $ОФВ_1$ вдоха в сторону повышения на 35% и $ОФВ_1$ выдоха – в сторону снижения на 11% (рис. 21).

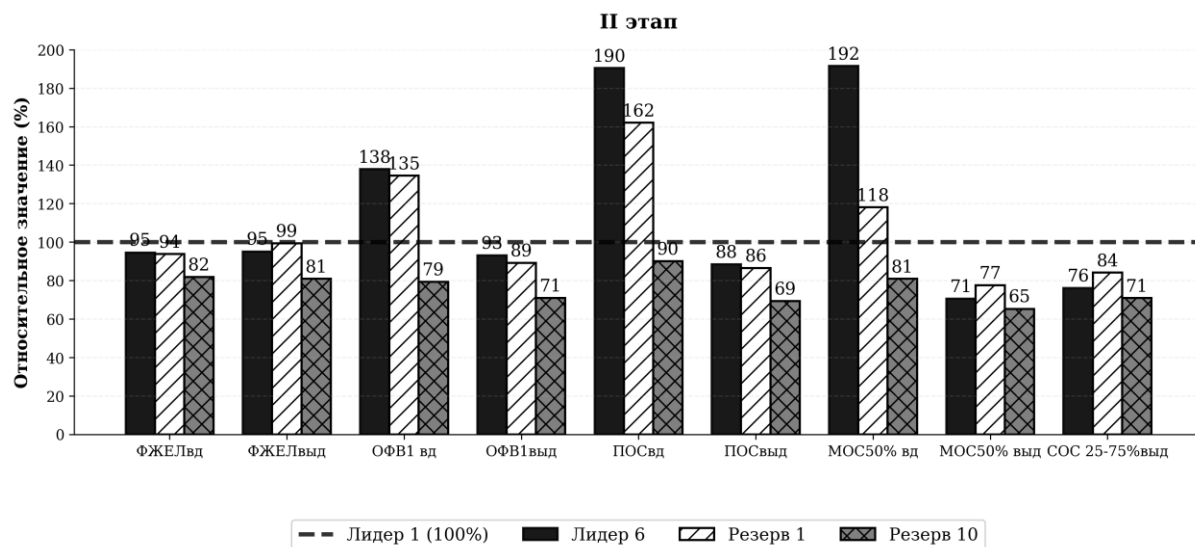


Рисунок 21 – Индивидуальные профили соотношения параметров, отражающие объемно-скоростные характеристики биомеханики дыхания на вдохе и выдохе у лыжников-гонщиков (в % к показателям лидера №1) в конце базового этапа

У резерва №1 выявлены противоположные изменения паттерна дыхания, которые произошли в конце базового этапа подготовки по параметрам, характеризующим скорость воздушного потока ПОСвд превысил модельные значения на 62,0%; МОС₅₀ выд и СОС₂₅₋₇₅ были ниже на 23% и 16%,

соответственно. На заключительном этапе подготовительного периода у спортсмена №1 из группы резерва значения параметров общей вентиляции легких превзошли показатели и лидера №1, и лидера №6 (рис. 22).

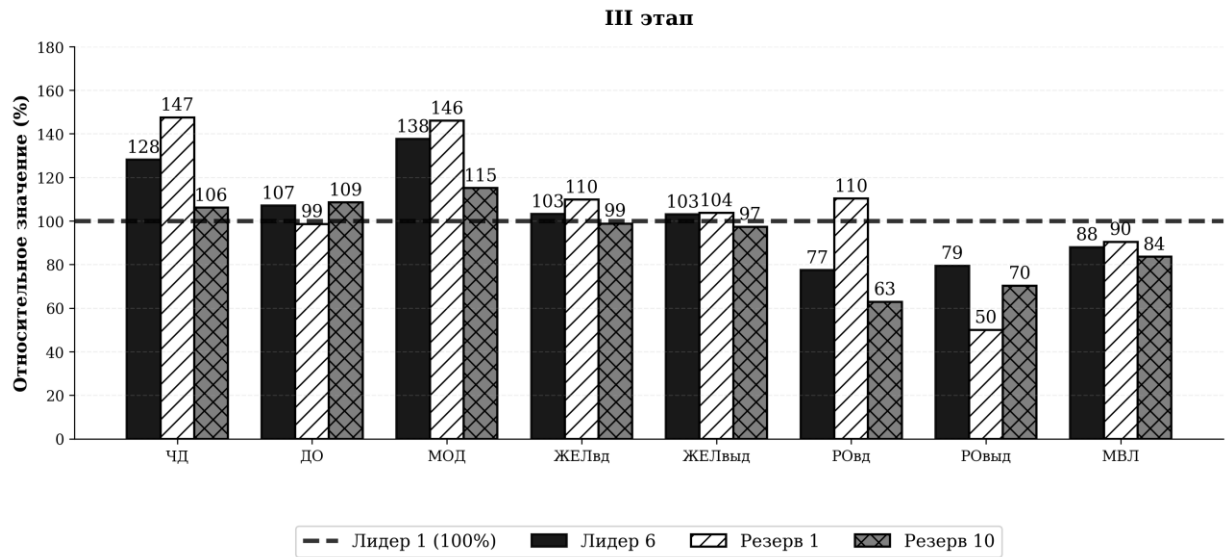


Рисунок 22 – Индивидуальные профили соотношения параметров функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков (в % к показателям лидера №1) в конце специально-подготовительного этапа

В итоге значения МОД были выше, чем у лидера №1 на 46,0%, за счет повышения ЧД; показатель РО выд. был ниже на 50,0% от модельных значений. Резко, более, чем в 2 раза снизились, относительно показателей лидера, параметры: $ОФВ_{1вд}$, $ПОС_{вд}$, $МОС_{50вд}$, характеризующие инспираторный «поток-объем». При этом сравнительная оценка вентиляционных возможностей дыхательной системы по индексу Тиффно показывает, что у резерва №1 на первом и третьем этапах данный параметр находился на уровне верхней границы нормы, а на втором этапе – на уровне 81,93%, как и у лидера №6 (84,87%), что свидетельствует о достаточной тренированности вентиляционной функции. Сниженные параметры, характеризующие инспираторный «поток-объем» дыхательной функции, можно, интерпретировать как транзиторное функциональное отклонение бронхиальной проходимости, так как значения маркера, характеризующего обструкцию $СОС_{25-75}$, у спортсмена №1 группы резерва в конце подготовительного периода не отличались от модельных показателей (рис. 23).

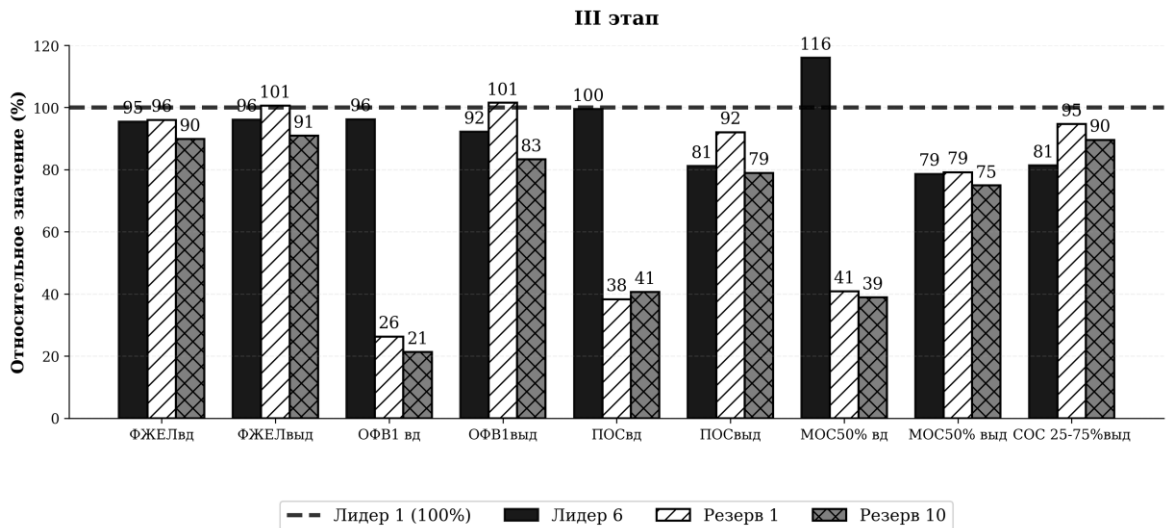


Рисунок 23 – Индивидуальные профили соотношения параметров, отражающие объемно-скоростные характеристики биомеханики дыхания на вдохе и выдохе у лыжников-гонщиков (в % к показателям лидера №1) в конце специально-подготовительного этапа

Анализ индивидуальных показателей спортсмена № 10 из группы резерва также выявил отличительные особенности дыхательной функции от модельных значений лидера №1 на разных этапах подготовительного периода. Показатели МОД у данного спортсмена определялись преимущественно ДО, который от минимального уровня на первом этапе (67%) повышался до уровня, который на третьем этапе подготовительного периода превысил значения лидера №1 на 9,0%. При этом РО_{выд}, который имел максимально высокие значения на первом этапе (172%), резко снижался на II-ом этапе до 61,0% от уровня лидера №1 и сохранялся на этом уровне до конца подготовительного периода. Как и у резерва №1 резко, более, чем в 2 раза, снизились параметры ОФВ₁ вд, ПОС_{вд}, МОС_{50вд}, характеризующие инспираторный «поток-объем», относительно показателей лидера к концу подготовительного периода.

При этом сравнительная оценка вентиляционных возможностей дыхательной системы по индексу Тиффно показывает, что у резерва №10 данный параметр колебался в диапазоне 74,85% – 80,22%, что укладывается в популяционный норматив ИТ, но, практически на 13,15% ниже модельных значений лидера №1 на втором этапе подготовительного периода.

В целом, уровень вентиляционной функции легких у анализируемой группы лыжников-гонщиков демонстрирует разное соотношение механизмов регуляции дыхательной системы, с преобладанием хеморецепторного гуморального и вегетативного механизма у лидера №1 и №6 и механорецепторного центрального механизма у резерва №1 и №10.

Среди проанализированных параметров функции внешнего дыхания $МОС_{75\text{выд}}$ – показатель, характеризующий проходимость мелких дыхательных путей, был ранее определен как детерминанта RMSSD, динамика которого по этапам подготовки у спортсменов представлена на рисунке 24.

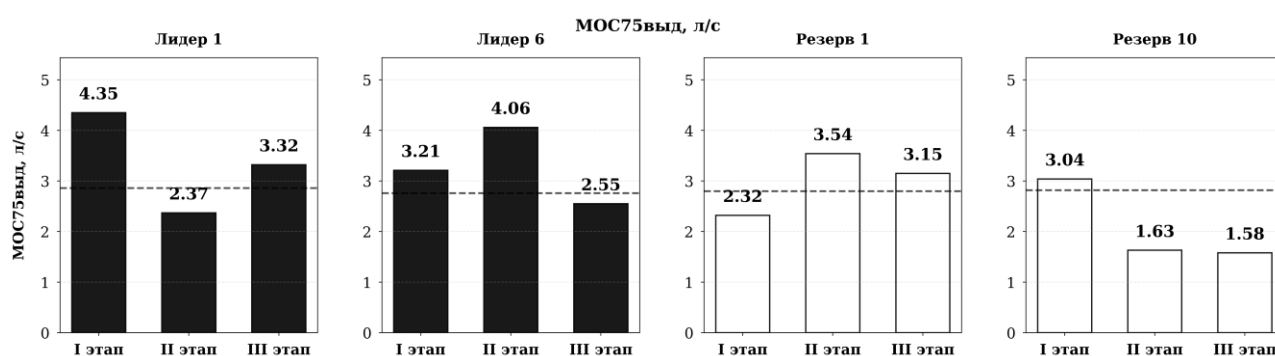


Рисунок 24 – Персонализированный анализ динамики показателя $МОС_{75\text{выд}}$ у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, (л/с)

Анализ динамики показателя $МОС_{75\text{выд}}$ у лыжников-гонщиков (рис. 23) с различными уровнями реактивности парасимпатического звена вегетативной регуляции выявил у лидера №1 поэтапные сдвиги при переходе от I-го ко II-му этапу (снижение) и от II-го к III-му этапу (повышение), в связи с чем к концу специально-подготовительного этапа показатель был в диапазоне оптимальных значений. У лидера №6 динамика показателя $МОС_{75\text{выд}}$ имела противоположную направленность и выражалась его приростом на 26,5% при переходе от I-го к II-му этапу и снижением на 37,2% от II-го к III-му этапу. У резерва №1 при переходе от I-го ко II-му этапу прирост показателя составил 52,6%; снижение показателя на 11,0% при переходе от II-го к III-му этапу существенно не повлияло на итоговый положительной прирости показателя $МОС_{75\text{выд}}$ составившего 35,8%. У резерва №10 выявлено самое высокое снижение показателя $МОС_{75\text{выд}}$ на этапах подготовительного периода, которое

составило 46,4% при переходе от I-го ко II-му этапу, интегральная динамика за весь период подготовки составила – 48,0%.

Выявленная разнонаправленная динамика параметра $MOC_{75\text{выд}}$ у представителей с различными уровнями реактивности парасимпатического звена вегетативной регуляции позволяет рассматривать данный показатель в качестве чувствительного индикатора адаптации дыхательной системы. Физиологическая значимость показателя $MOC_{75\text{выд}}$ в оценке адаптационных процессов у спортсменов определяется его тесной связью с активностью парасимпатического отдела вегетативной нервной системы через преимущественно холинергический (вагусный) контроль тонуса гладкой мускулатуры бронхиол (Belvisi M.G., 2003).

Обсуждение результатов. Особенности функционального состояния дыхательной системы у спортсменов-лыжников по спирометрическим показателям были представлены целым рядом исследователей (Баранова Е.А., Капилевич Л.В., 2013; Фудин Н. А., Чернышев С.В., 2017; Говорухина А. А., Веткалова Н.С., 2018; Ерофеев Г.Г. с соавт., 2018; Варламова Н.Г., Бойко Е.Р., 2021; Солонин Ю.Г. с соавт., 2022 и др.).

Так, по данным А.А. Говорухиной и Н.С. Веткаловой (2018) средние значения ЖЕЛ юношей-лыжников, проживающих в ХМАО-Югре, составляли $5,86 \pm 0,13$ л; средние значения ФЖЕЛ – $5,96 \pm 0,24$ л; ОФВ1 выдоха был равен $5,16 \pm 0,23$ л. У группы высококвалифицированных спортсменов, длительное время занимавшихся лыжными гонками, были получены сопоставимые с нашими, средние показатели ЧД – $11,95 \pm 0,30$ и МОД – $7,37 \pm 0,27$ л/мин (Фудин Н.А., Чернышев С.В., 2017). У высококвалифицированных лыжников-гонщиков в возрасте $20,5 \pm 4,4$ г., членов сборных команд северного региона и России, была изучена функция внешнего дыхания по 9 параметрам. Диапазоны годового дрейфа показателей функции экспираторной системы с июня по март месяц составляли от 11,5 до 56,3% и наиболее выражены были для резервных объемов вдоха и выдоха, дыхательного объема (Варламова Н.Г., Бойко Е.Р., 2021). Предполагается, что у лыжников КМС дыхательный резерв в большей

степени связан не с вентиляционной емкостью (ФЖЕЛ, ОФВ1), а с вентиляционной потребностью (МОД) (Веселик А.К. с соавт., 2024).

6.5. Персонализированный анализ показателей лейкоцитарного звена системы крови у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Активная реакция клеток лейкоцитарного звена обусловлена ответом на воспалительные процессы, связанные с интенсивной мышечной деятельностью. Регрессионным анализом в качестве ключевых детерминант вагусной регуляции (RMSSD) были установлены Va , Eo , MON и $LYMF$. С целью оценки направленности и выраженности адаптационных сдвигов со стороны лейкоцитарного звена системы крови в ответ на тренировочные нагрузки подготовительного периода был проведен персонализированный анализ динамики данных показателей у спортсменов с различными типами вегетативной регуляции и уровнями работоспособности (рис. 25-28).

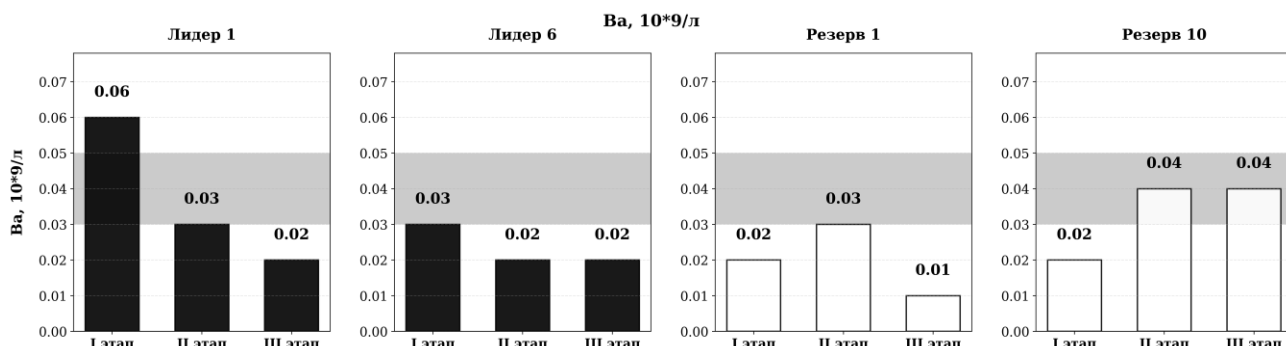


Рисунок 25 – Персонализированный анализ динамики базофилов (Va) у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, ($10^9/\text{л}$)

У лидеров №1 и №6 была установлена однонаправленная динамика к снижению содержания Va у представителей группы лидеров по мере адаптации к физическим нагрузкам, при этом абсолютное количество Va у лидера №1 исходно было вдвое выше, чем у спортсмена №6. У резерва №1 наблюдалось повышение показателя Va от I-го ко II-му этапу на 50,0% с последующим снижением на 66,7% к III-му этапу, при этом абсолютное содержание базофилов на завершающем этапе было наименьшим среди всех спортсменов.

Тогда как у резерва №10 зафиксирован устойчивый прирост базофилов на протяжении всего периода наблюдения с интегральной динамикой +100,0%.

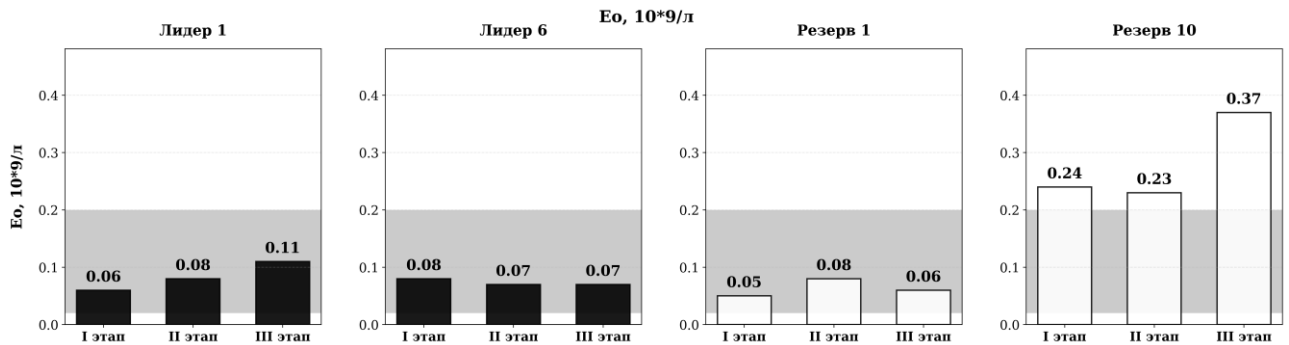


Рисунок 26 – Персонифицированный анализ динамики базофилов E_o у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, ($10^9/\text{л}$)

Эозинофилы могут выступать антоганистами базофилов, что обусловлено секрецией биологически активных веществ, инактивирующих медиаторы, высвобождаемые базофилами при дегрануляции. По величине эозинофилов можно судить об изменении глюкокортикоидов и адаптации к стресс-воздействиям (Тигранян Р.А., 1988). У лидера №1 наблюдалась положительная динамика роста значений E_o , в результате за весь период подготовки увеличение достигло 83,3%, но их абсолютное содержание соответствовало оптимальному уровню нормативных границ. У лидера №6, напротив, выявлено незначительное снижение показателя от I-го ко II-му этапу (на 12,5%) с последующей стабилизацией на оптимальном уровне. У резерва №1 наблюдался прирост показателя от I-го ко II-му этапу на 60,0% с последующим снижением от II-го к III-му этапу на 25,0%, однако интегральная динамика за весь период осталась положительной и составила 20,0%. У резерва №10 количество E_o на базовом этапе подготовки незначительно превышало верхнюю границу нормативных значений и характеризовалось выраженным приростом показателя от II-го к III-му этапу. Интегральная динамика за весь период подготовки составила +54,2%.

Проведенный анализ динамики содержания моноцитов в периферической крови позволил установить, что у представителей группы лидеров зафиксированы противоположные типы реагирования.

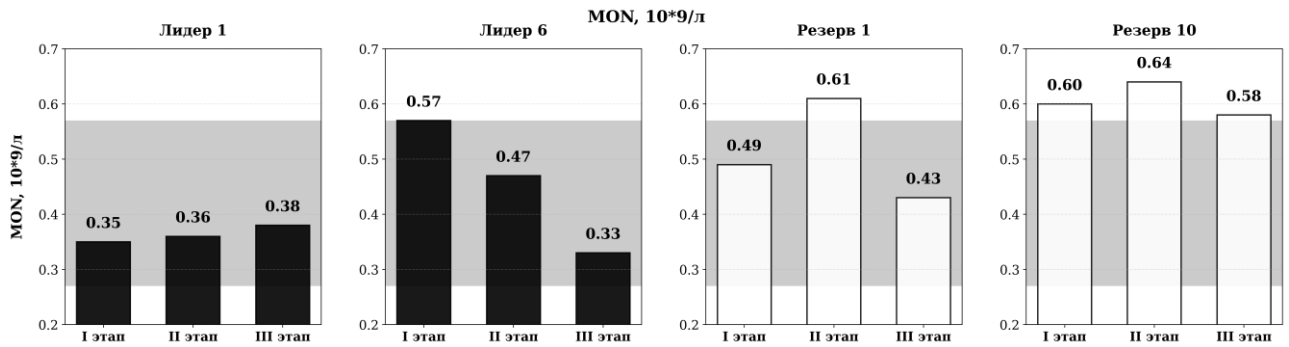


Рисунок 27 – Персонализированный анализ динамики базофилов MON у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, ($10^9/\text{л}$)

У лидера №1 содержание моноцитов последовательно возрастало от этапа к этапу в пределах нормативных значений. У лидера №6 установлена отрицательная динамика: снижение показателя к концу подготовительного периода составило 42,1%. У резерва №1 наблюдался прирост показателя MON от I-го ко II-му этапу на 24,5% с последующим снижением от II-го к III-му этапу на 29,5%, которое не выходило за пределы оптимальных значений.

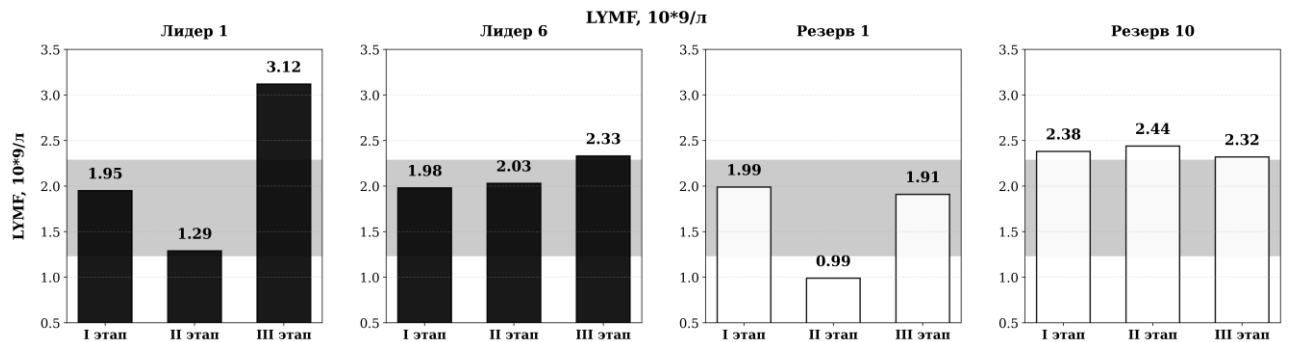


Рисунок 28 – Персонализированный анализ динамики базофилов LYMF у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, ($10^9/\text{л}$)

У резерва №10 на всех этапах подготовительного периода регистрировалось превышение верхней границы рекомендованных нормативных значений по содержанию MON.

Анализ динамики содержания LYMF у лидера №1 выявил снижение содержания лимфоцитов от I-го ко II-му этапу на 33,8%, которое сменилось выраженным приростом от II-го к III-му этапу (141,9%), в результате интегральная динамика за весь период составила 60,0% (табл. 27). У лидера №6 наблюдалась положительная динамика на протяжении всего периода

наблюдения, увеличение составило 17,7%. У резерва №1 зафиксировано выраженное снижение содержания лимфоцитов от I-го ко II-му этапу на 50,3% с последующим значительным восстановлением от II-го к III-му этапу (92,9%). Уменьшение абсолютного содержания лимфоцитов, у спортсмена №1 из группы резерва в конце базового этапа, указывает на возможную временную миграцию лимфоцитов из кровотока в ткани для реализации противовоспалительной функции. У резерва №10 количество лимфоцитов устойчиво, но незначительно превышало верхнюю границу нормативных значений. У спортсмена №10 из группы резерва состояние лейкоцитарного звена крови характеризовалось самыми высокими значениями лимфоцитов, эозинофилов и моноцитов при оптимальных показателях количества нейтрофилов и базофилов на всех трех этапах подготовительного периода.

Обсуждение результатов. Мобилизация субпопуляций лейкоцитов, участвующих в элиминации метаболитов и восстановлении тканевого гомеостаза, сопряжена с их чувствительностью к нейромедиаторам ВНС. Колебания абсолютных количественных показателей клеток лейкоцитарного звена на этапах подготовительного периода могут сочетаться с различными вариантами их относительной доли, что отражает сложный характер иммунного реагирования в ответ на тренировочные нагрузки (Gleeson M., 2007; Walsh N.P. et al., 2011). Проведенный персонифицированный анализ динамики базофилов (Ba), эозинофилов (Ео), моноцитов (MON) и лимфоцитов (LYMF) у лыжников-гонщиков с различными типами вегетативной регуляции выявил разнонаправленные изменения данных показателей, отражающие индивидуальные особенности адаптации клеточного звена белой крови к физическим нагрузкам.

Установлено, что у представителей группы лидеров адаптационные реакции характеризовались либо устойчивой положительной динамикой с постепенным нарастанием показателей (лидер №1), либо волнообразными изменениями с последующей стабилизацией на оптимальном уровне (лидер №6). Абсолютные значения большинства показателей удерживались в пределах

референсных интервалов, что свидетельствует о сбалансированности иммунного ответа и адекватном вегетативном обеспечении адаптационных процессов (Nieman D.C. et al., 2020).

У спортсменов группы резерва выявлены признаки иммунного дисбаланса. Устойчивое превышение нормативных значений эозинофилов и моноцитов в сочетании с гиперреактивным типом вегетативной регуляции (резерв №10) может служить ранним признаком дезадаптации и сохранения провоспалительного фона (Smith L.L., 2000). Волнообразная динамика с последующим снижением показателей (резерв №1) отражает риск срыва адаптации и истощения функциональных резервов (Meeusen R. et al., 2013).

Особого внимания заслуживает устойчивый прирост базофилов у резерва №10. Базофилы являются источником гистамина, обладающего вазодилатирующим эффектом и способствующего снижению периферического сосудистого сопротивления (Гришенков И.В., Искусных А.Ю., 2023). Снижение сосудистого сопротивления, в свою очередь, рассматривается как один из механизмов усиления парасимпатического влияния на сердечный ритм (Charpleau M.W., Sabharwal R., 2011). Можно предположить, что повышенное содержание базофилов у данного спортсмена вносит вклад в поддержание высокого уровня вагусной активности, что согласуется с гиперреактивным типом регуляции и зафиксированными значениями RMSSD.

Таким образом, включение показателей лейкоцитарного звена (Ba, Eo, MON, LYMF) в комплексный мониторинг функционального состояния лыжников-гонщиков позволяет оценить направленность и выраженность адаптационных сдвигов, а также выявить индивидуальные признаки вегетативно-иммунного дисбаланса на ранних этапах их формирования. Полученные данные подтверждают, что персонифицированный анализ динамики лейкоцитарного звена является чувствительным инструментом оценки адаптационных процессов у спортсменов (Спаский А.А. с соавт., 2019).

6.6. Персонализированный анализ биохимических показателей крови и компонентного состава тела у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода

Для комплексной оценки функционального состояния спортсмена необходимо учитывать метаболические аспекты адаптации. Биохимические показатели крови уже на подготовительном этапе позволяют диагностировать уровень готовности спортсмена или признаки его утомления и рационально подходить к управлению подготовкой (Бахарева А.С. с соавт., 2018). Результаты регрессионного анализа подтвердили, что активность ферментов (АЛТ, АСТ, ЛДГ) входит в состав ключевых детерминант вагусной регуляции (RMSSD), в связи с этим был проведен персонализированный анализ динамики данных ферментов у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода (рис. 29, 30).

Трансаминазы характеризуют интенсивность процессов переаминирования, их повышенный уровень свидетельствует об активации белкового обмена, что наблюдается у лидера №1 на начальном базовом этапе подготовки (умеренное повышение АСТ), которое, вероятно, обусловлено микроповреждениями мышечных волокон, вызванных силовыми тренировками.

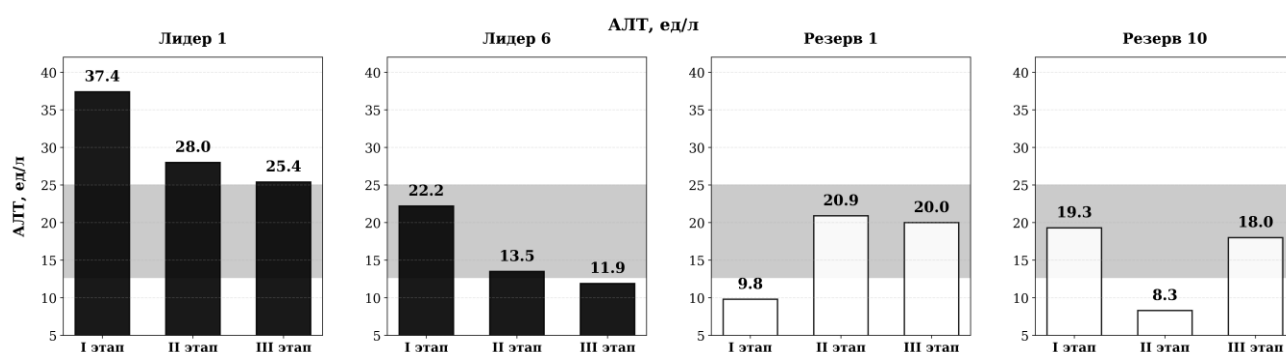


Рисунок 29 – Персонализированный анализ динамики АЛТ у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, (ед/л)

При этом активность АЛТ сохраняется на уровне верхней границы нормативных значений до конца подготовительного периода, а АСТ – снижается до оптимальных значений.

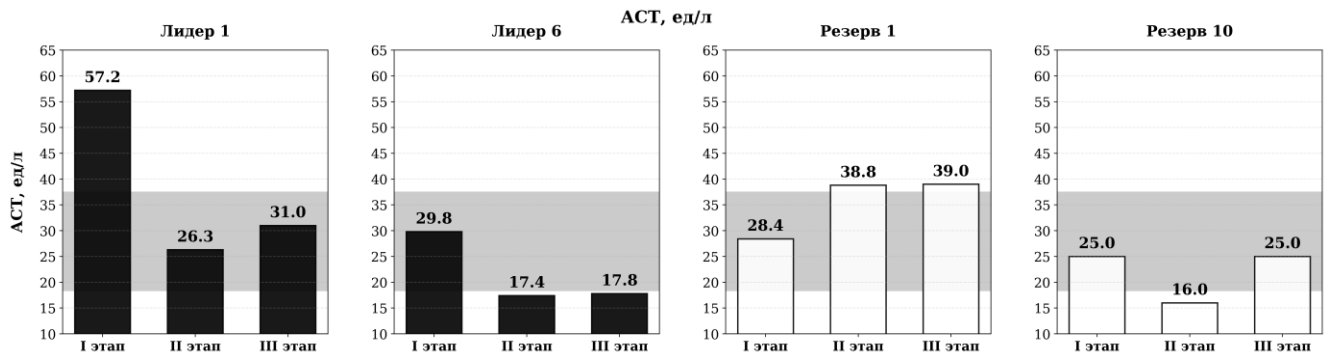


Рисунок 30 – Персонифицированный анализ динамики АСТ у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, (ед/л)

У лидера №6 динамика содержания обоих ферментов имеет одинаковую направленность к поэтапному снижению значений до нижних границ нормы.

У представителей группы резерва динамика содержания трансаминаз отличалась от лидеров. Так у спортсмена №1 уровень АЛТ от минимального поэтапно повышался до оптимальных значений, а АСТ от оптимальных до верхней границы нормативных значений, свидетельствуя о тенденции к повышению белкового обмена как компенсацию дисбаланса между катаболизмом и синтезом тканевых белков на этапах подготовительного периода. У спортсмена №10 из группы резерва отличительная особенность по содержанию трансаминаз проявилась в самом низком содержании АЛТ и АСТ в конце базового этапа подготовки, значения были ниже нижней границы нормы на 5,3% и 8,7%, соответственно. Однако на I-ом и III-ем этапах показатели трансаминаз были оптимальными, что указывает на транзиторный характер выявленной ситуации.

Основная функция ЛДГ – участие в процессе гликолиза, поддержание энергетического баланса в тканях в условиях гипоксии и предотвращение развития лактак-ацидоза (рис. 31).

В целом у представителей лыжников-гонщиков содержание ЛДГ в сыворотке крови соответствовало нормативным значениям, за исключением превышения показателя на 33,18% у лидера №1 на I-ом этапе и у резерва №1 с превышением верхней границы значений на 29,54% на третьем этапе

подготовительного периода. Эти повышения уровня ЛДГ согласуются с повышением содержания мочевины, что обусловлено соотношением скорости катаболизма и синтеза тканевых белков на этих же этапах у данных спортсменов.

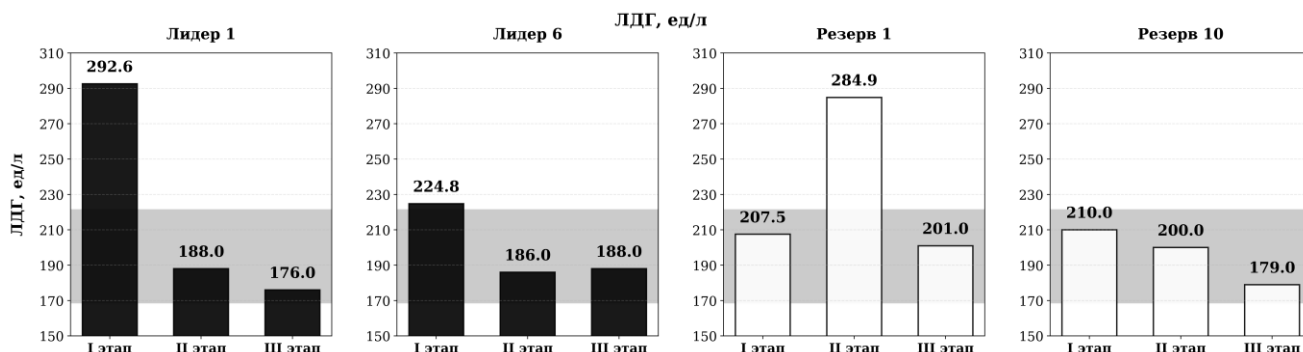


Рисунок 31 – Персонифицированный анализ динамики ЛДГ у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, (ед/л)

Важным интегральным показателем метаболических процессов и текущего функционального состояния спортсмена является компонентный состав тела, в частности содержание общей воды в организме. Гидратационный статус тесно связан с белковым обменом, процессами восстановления после нагрузок и терморегуляцией, что делает его значимым маркером адаптации (Armstrong L.E., Johnson E.C., 2018). Результаты регрессионного анализа подтвердили, что содержание общей воды в организме также входит в состав ключевых детерминант вагусной регуляции (RMSSD), в связи с чем был проведен анализ динамики содержания воды в организме у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода (рис. 32).

Проведенный анализ динамики содержания общей воды в организме спортсменов позволил установить, что у всех лыжников-гонщиков на протяжении всего подготовительного периода содержание общей воды в организме соответствовало физиологической норме для спортсменов.

Наиболее стабильные значения зафиксированы у резерва №1 (колебания в пределах 0,5–0,9%); наиболее выраженная положительная динамика отмечена у лидера №1 (4,6%); отрицательная динамика у лидера №6 (2,0%); у резерва №10 зафиксировано снижение от I-го ко II-му этапу, которое сменилось

приростом от II-го к III-му этапу (2,6%), в результате чего интегральная динамика за весь период оказалась положительной и составила +1,3%.

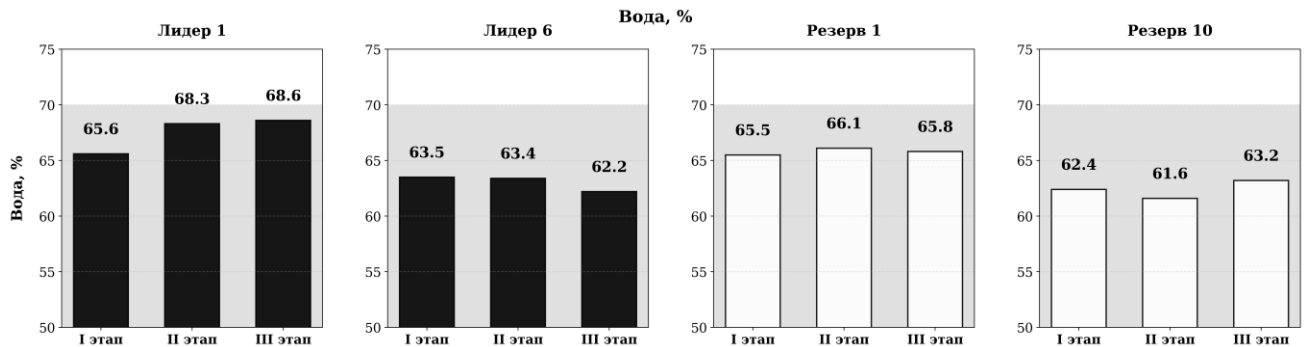


Рисунок 32 – Персонифицированный анализ динамики общей воды у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода, (%)

Проведенный анализ биохимических показателей крови и компонентного состава тела у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода позволил выявить индивидуальные особенности метаболической адаптации к тренировочным нагрузкам и их связь с вегетативной регуляцией.

Динамика аминотрансфераз играет центральную роль в обмене белков и диагностике функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Повышение активности аминотрансфераз, выявленное у лидера №1 в начале базового этапа подготовки, характеризует высокую интенсивность процессов переаминирования и указывает на повышенный уровень белкового обмена. С метаболической точки зрения, содержание АЛТ в крови спортсмена объясняет механизм адаптации к физическим нагрузкам через активацию глюкозо-аланинового шунта, который служит компенсаторным механизмом при гипогликемии, обеспечивая обратимый перенос аланина и его превращение в глюкозу. Одновременное увеличение уровня в крови фермента АСТ указывает на интенсификацию работы цикла трикарбоновых кислот. Под контролем АСТ протекает аспартат-сукцинатное направление метаболизма, которое запускается с трансформации аспартата в оксалацетат с последующим восстановлением до малата (Ермолаева Е.Н., Кривохижина Л.В., 2015). Данный механизм согласуется с ролью аминокислот в модуляции иммунных и метаболических процессов при физических нагрузках (Roth E., 2007). Повышение активности аминотрансфераз у

лидера №1 на I-ом этапе, вероятно, обусловлено микроповреждениями мышечных волокон, вызванными силовыми тренировками. Исследования возрастной динамики ферментов-маркеров тренированности подтверждают, что подобные изменения характерны для начальных этапов подготовки и отражают процессы адаптации мышечной ткани к нагрузкам (Гурская А.И., 2014). Отсутствие выхода показателей за пределы нормативных значений на последующих этапах свидетельствует об адекватной адаптивной реакции данного спортсмена на нагрузки специально-подготовительного этапа.

У лидера №6 динамика содержания обоих ферментов имела однонаправленный характер с поэтапным снижением до нижних границ нормы, что может отражать экономизацию белкового обмена по мере адаптации к нагрузкам. Подобная динамика согласуется с данными о том, что у квалифицированных спортсменов в состоянии тренированности активность трансаминаз может стабилизироваться на относительно невысоком уровне (Никитюк Д.Б. с соавт., 2026).

У спортсменов группы резерва выявлены разнонаправленные изменения. У резерва №1 уровень АЛТ поэтапно повышался от минимальных до оптимальных значений, а АСТ – от оптимальных до верхней границы нормы, что свидетельствует о тенденции к повышению белкового обмена как компенсации дисбаланса между катаболизмом и синтезом тканевых белков. У резерва №10 в конце базового этапа зафиксировано транзиторное снижение АЛТ и АСТ ниже нижней границы нормы (на 5,3% и 8,7% соответственно) при сохранении оптимальных значений на I-ом и III-ем этапах. Подобные транзиторные отклонения могут отражать скрытые нарушения метаболизма, требующие дифференцированного подхода к оценке функционального состояния спортсменов (Гришина Ж.В. с соавт., 2020).

Активность лактатдегидрогеназы (ЛДГ), основная функция которой заключается в поддержании энергетического баланса в условиях гипоксии и предотвращении развития лактат-ацидоза, у большинства спортсменов соответствовала нормативным значениям. Исключение составило повышение

ЛДГ на 33,18% у лидера №1 на I-ом этапе и на 29,54% у резерва №1 на III-ем этапе. Данные повышения согласуются с динамикой мочевины у этих спортсменов и отражают соотношение скорости катаболизма и синтеза тканевых белков на соответствующих этапах подготовки. Определение референтных интервалов биохимических показателей с учетом вида спорта подтверждает диагностическую значимость оценки ЛДГ в динамике тренировочного процесса (Гилеп И.Л. с соавт., 2021).

Сравнение с референтными диапазонами АЛТ (0 – 45 Ед/л), АСТ (0 – 35 ед/л), используемыми для оценки состояния здоровья спортсменов в клиниках ФМБА, показало, что усредненные значения исследованных биохимических параметров у лыжников-гонщиков в подготовительном периоде укладываются в оптимальные границы референтных показателей. Это согласуется с данными о значимости биохимических и гематологических показателей в процессе адаптации лыжников-гонщиков к тренировочным нагрузкам (Бахарева А.С. с соавт., 2018).

В то же время развитие гипогликемии, обуславливающее рост активности трансаминаз, происходит посредством прямого влияния на гипоталамус, который возбуждает симпатическую нервную систему (Фокина Е.Г., 2015). Длительный период состояния возбуждения симпатического отдела приводит к перенапряжению и истощению механизмов регуляции, что ведет к нарушению гомеостаза. Наступившие изменения способствуют дезинтеграции двигательных и вегетативных компонентов реакции, нарушению равновесия холин- и адренергических влияний. В этой связи индивидуальные показатели активности ферментов позволили дифференцировать направленность белкового обмена и выявить признаки особенностей метаболизма миокарда, что послужило основанием для рекомендации эхокардиографического обследования и персонализации управления подготовкой спортсменов.

Содержание общей воды в организме является интегральным показателем метаболических процессов. Показано, что обезвоживание снижает парасимпатическую модуляцию сердечного ритма, тогда как оптимальная

гидратация способствует сохранению вагусной активности и улучшению восстановления (Castro-Sepulveda M. et al., 2019). Нейроэндокринные механизмы регуляции водного баланса тесно сопряжены с вегетативным контролем гомеостаза (Armstrong L.E., Johnson E.C., 2018).

Таким образом, персонифицированный анализ биохимических показателей крови и компонентного состава тела является чувствительным инструментом оценки метаболической адаптации и может быть использован для своевременной коррекции тренировочного процесса (Никитюк Д.Б. с соавт., 2026).

6.7. Индивидуальные профили спортсменов на основе визуализации ключевых детерминант адаптации на этапах подготовительного периода

С целью выявления физиологических механизмов, формирующих адаптационный потенциал спортсмена, а также функциональных систем, лимитирующих его работоспособность на каждом этапе подготовительного периода, был применен персонифицированный подход. Для реализации этого подхода был разработан метод визуализации функционально-метаболического профиля спортсмена. Построение индивидуальных профилей основывалось на интегральной визуализации ключевых детерминант, выявленных на этапе регрессионного анализа, в их соотношении с типом вегетативной регуляции спортсмена (классифицированным по индексу PVNS).

На рисунке 33 представлены лепестковые общегрупповые и персональные диаграммы для четырех спортсменов (лидер №1, лидер №6, резерв №1, резерв №10) на трех этапах подготовительного периода (I, II, III). На диаграммах представлены медианные нормализованные значения, что позволяет оценить степень отклонения индивидуальных показателей от группового тренда функционально-метаболического обеспечения адаптационных процессов для каждого этапа.

Общегрупповые (n=20) значения ключевых детерминант отражают закономерные, специфические адаптивные процессы к возрастающим

нагрузкам для каждого этапа подготовительного периода. На I-ом этапе максимальное значение в адаптации имеют показатели RMSSD, Ва, САД и уровень общей воды в организме; на II-ом этапе ведущую роль сохраняет только показатель RMSSD; на III-ем этапе вновь повышается роль Ва, но менее выражено, чем на I-ом этапе. В итоге из 12 ключевых детерминант при общегрупповом анализе максимальное значение в адаптации показали параметры RMSSD и Ва.

У лидера №1 на I-ом этапе максимальные отклонения от медианных значений (превышающие +0,5) имели параметры: АЛТ, АСТ и ЛДГ, САД, общая вода; минимальные значения отмечены для: RMSSD, МОС_{75выд}, Ео, MON. На II-ом этапе максимальные отклонения от медианы сохраняются по параметрам общая вода, САД и АЛТ, и добавляется параметр МОС_{75выд}. Минимальные значения сохранились для RMSSD, MON, Ео, смещение ЛДГ от максимального уровня в зону сниженных значений отражает увеличение вклада в энергообеспечение организма аэробных процессов. На III-ем этапе максимальные отклонения от медианных значений установлены, как и на I-ом этапе, по параметрам САД, АЛТ, общая вода и как на II-ом этапе МОС_{75выд} с активацией LYMF звена при снижении роли Ва, что указывает на модификацию иммунной регуляции в сторону адаптивных механизмов у данного спортсмена.

У лидера №6 на I-ом этапе максимальные значения относительно общегрупповых медианных показателей имели MON и МОС_{75выд}; минимальные значения отмечены по параметрам: Ва и общая вода. На II-ом этапе максимальные отклонения от медианы были установлены по параметру – МОС_{75выд}. Минимальные значения сохраняются по Ва. На III-ем этапе профиль спортсмена №6 из группы лидеров характеризуется отклонением от общегруппового тренда в сторону повышения значений САД и Эо и в сторону снижения параметров АЛТ, АСТ, общая вода и Ва.

У спортсмена №1 из группы резерва на I-ом этапе наблюдаются максимальные значения параметров МОС_{75выд}, RMSSD, общая вода и MON; минимальное – Ва и Ео. На II-ом этапе у данного спортсмена на максимальном

уровне были нормализованные значения АЛТ, АСТ, ЛДГ, MON; минимального значения – Ео. На III-ем этапе на уровне максимального отклонения были отмечены параметры АЛТ, АСТ, ЛДГ, МОС_{75выд}, RMSSD; с минимальным значением – Ва.

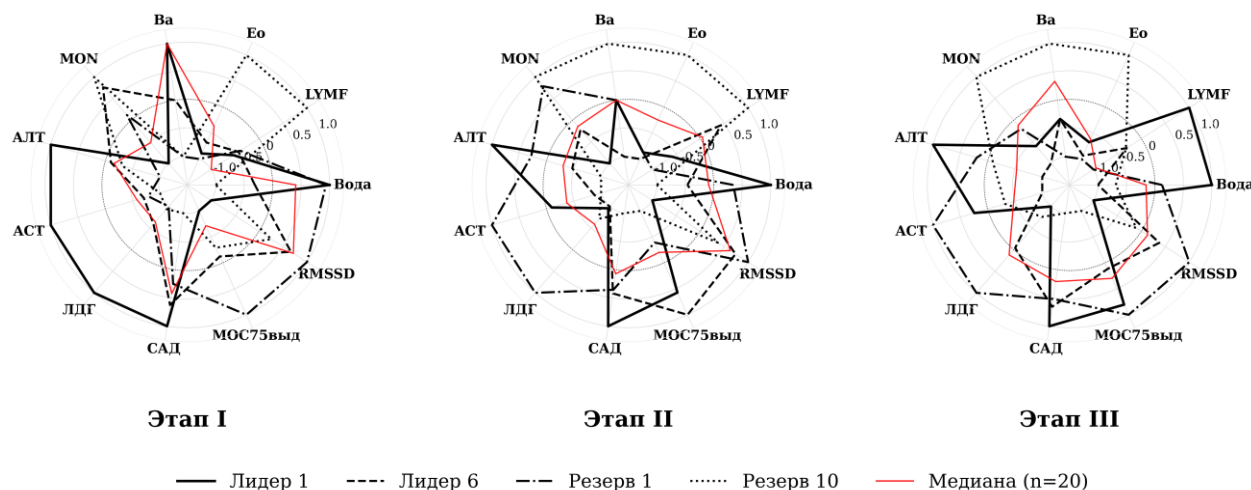


Рисунок 33 – Персонифицированные профили функционально-метаболического обеспечения адаптации у лыжников-гонщиков с различными типами вегетативной регуляции на этапах подготовительного периода (нормализация «min-max» в интервал [-1, 1])

У лыжника-гонщика №10 из группы резерва на I-ом этапе наблюдается максимальное отклонение от медианных значений в сторону повышения параметров MON, Ео и LYMF; минимальные значения имеют САД, Ва, RMSSD и общая вода. На II-ом этапе максимальные значения сохраняли параметры лейкоцитарного звена MON, Ео, LYMF и значения от минимального уровня на I-ом этапе до максимального на II-ом этапе выявлены для Ва. Минимальные значения – МОС_{75выд}, общая вода, АЛТ. На III-ем этапе у резерва №10 на уровне максимальных значений оставались параметры MON, Ва, Ео и LYMF; с минимальными значениями параметров ЛДГ, САД и МОС_{75выд}.

Таким образом, у спортсмена с эффективным, экономичным типом регуляции (лидер №1) наблюдается динамика сокращения числа параметров, демонстрирующих максимальные отклонения от группового тренда ко II-му этапу, с последующим расширением на III-ем этапе за счет МОС_{75выд} и LYMF.

Данный факт отражает поэтапное формирование типа адаптивного реагирования с преимущественной активацией иммунно-метаболических процессов.

У лидера №6 на этапах подготовительного периода профиль по по большинству ключевых детерминант соответствует общегрупповому тренду. Ключевым физиологическим смыслом данного типа реагирования является перераспределение адаптивных процессов между различными системами с целью сохранения ресурсов, что требует более продолжительного времени для достижения экономичного режима функционирования.

Профиль спортсмена №1 из группы резерва (гиперреактивный тип) демонстрирует тип реагирования, характеризующийся стабильно высокими отклонениями большинства ключевых детерминант от медианных значений на на II-ом и III-ем этапах подготовительного периода, указывая на процессы адаптационного напряжения. Высокий уровень парасимпатического тонуса сопровождается избыточным расходом функционально-метаболических резервов, что формирует риск истощения и срыва адаптации. У спортсмена №10 из группы резерва (лабильно-гиперреактивный тип) характеризуется активацией иммуннокомпетентных клеток на всех этапах подготовительного периода. Минимизация функций энергообеспечения, САД и МОС75выд на II-ом и III-ем этапах подготовки, и активация лейкоцитарного звена является признаком дезадаптации.

Персонифицированные профили остальных спортсменов представлены в Приложении 3 (рис. 1, 2).

6.8. Персонифицированный анализ реактивности организма лыжников-гонщиков на эргометрическое тестирование в конце подготовительного периода

Уровень функциональной готовности спортсменов к соревновательной деятельности в конце специально-подготовительного этапа нами оценивался по результатам стресс-теста с физической нагрузкой на ручном лыжном эргометре. Динамика персонифицированных значений W (Вт/кг), W (Вт),

V (км/ч), RPNs (циклов/мин) при нагрузочном тестировании у представителей (№1, №6) из группы лидеров представлены на рисунке 34.

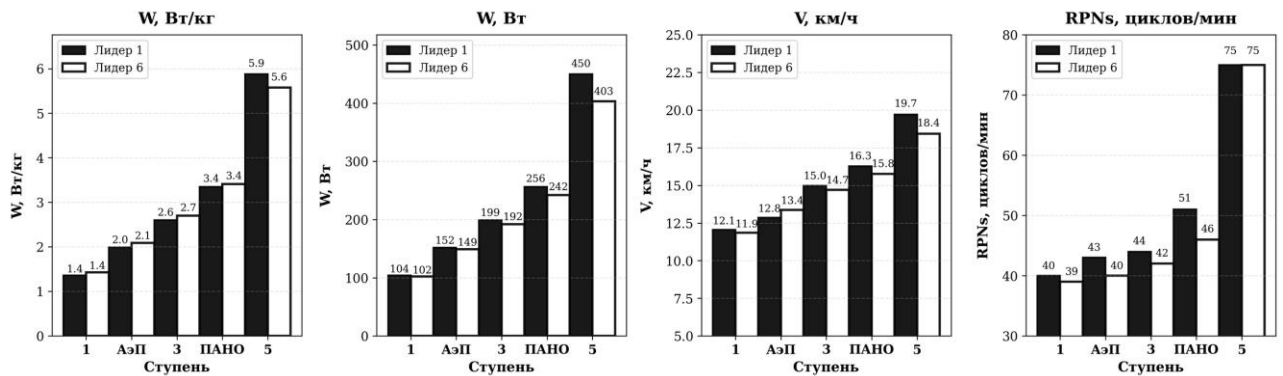


Рисунок 34 – Динамика персонифицированных значений W (Вт/кг), W (Вт), V (км/ч), RPNs (циклов/мин) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков группы лидеров

Анализ показателей свидетельствует об однонаправленности изменений исследованных параметров до достижения уровня ПАНО, на пике нагрузки у лидера №1 показатели мощности на 9,25% (Вт/кг), и скорости на 6,60% были выше, чем у №6.

Изменение уровня лактата, который у лидера №6, с момента перехода с аэробного энергообеспечения на аэробно-анаэробный был выше на 7 мМоль/л (рис. 35) обусловлен недостаточным уровнем утилизации кислорода мышцами и доказывается направленностью процессов оксигенации.

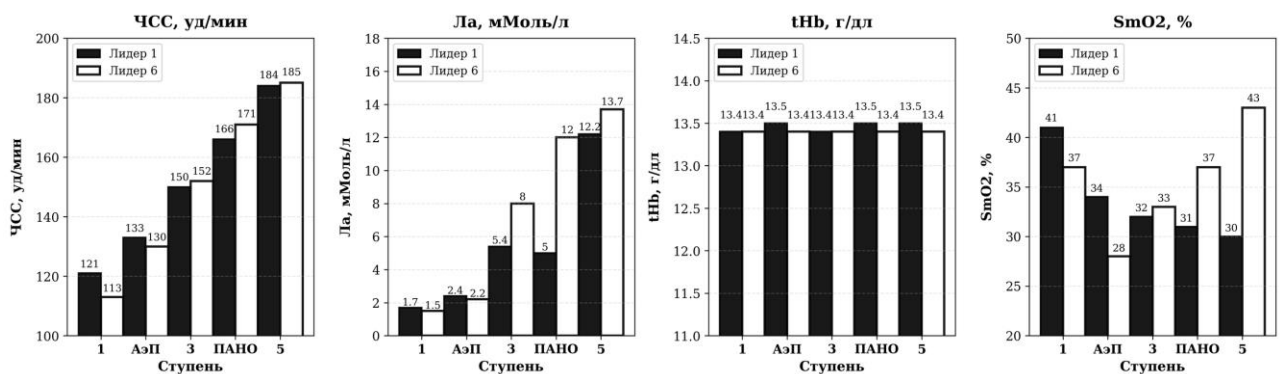


Рисунок 35 – Динамика персонифицированных ЧСС (уд./мин), La (мМоль/л), tHb (г/дл) и SmO_2 (%) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков группы лидеров

У лидеров №1 и №6 значения SmO_2 находились в диапазоне до 45%, что указывает на превышение потребления кислорода мышцами над его доставкой. Показатель концентрации гемоглобина у спортсменов имел стабильный характер с меньшими (в пределах 6,0-9,0%) значениями у лидера № 1 на всех ступенях. Статистически значимая обратная связь между мощностью и SmO_2 ($\rho = -0,61$ и $\rho = -0,18$ соответственно; $p < 0,001$) в нагрузочном тестировании подтверждает, что снижение SmO_2 сопровождается ростом потребления кислорода (рис. 36).

Результаты корреляционного анализа между мощностью и значениями SmO_2 , представленные на рисунке 36, позволяют оценить емкость аэробных процессов. Малый разброс значений SmO_2 до достижения ПАНО, выявленный у спортсменов-лидеров, свидетельствует о стабильности мышечной оксигенации при изменении мощности, что характерно для высокой аэробной емкости в зоне субмаксимальных нагрузок.

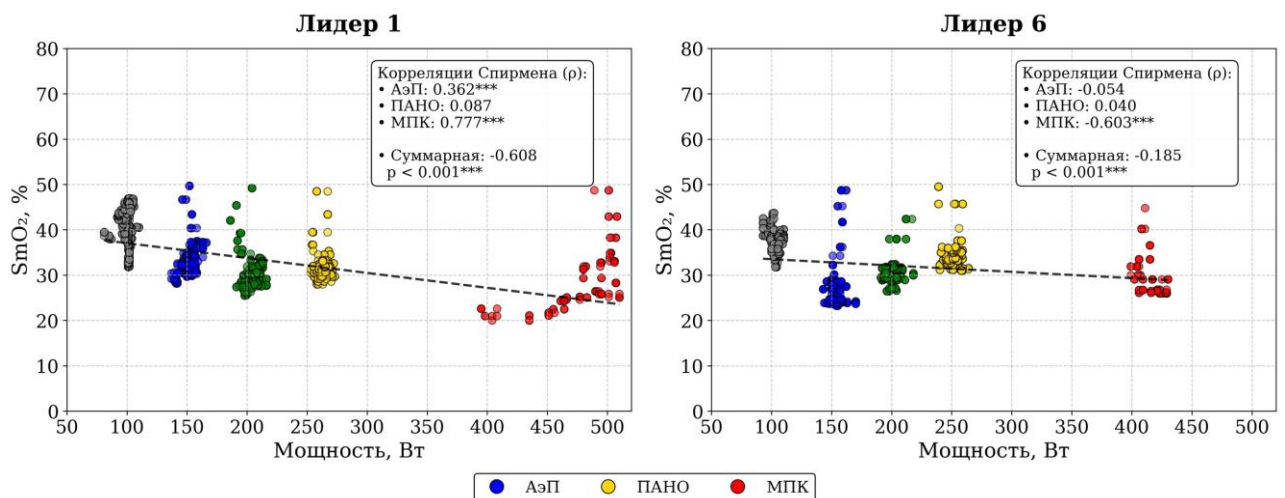


Рисунок 36 – Диаграммы рассеяния между суммарной мощностью (на уровне АзП, ПАНО, МПК) и SmO_2 в ходе ступенчатого нагрузочного теста у спортсмена-лидера №1 и спортсмена-лидера №6

Примечание: ρ – коэффициент корреляции Спирмена; *** - $p < 0,001$.

При переходе к максимальной мощности (МПК) характер разброса значений SmO_2 стал различный: у лидера №1 наблюдается больший разброс значений SmO_2 , тогда как у лидера №6 со значимой обратной связью ($\rho = -0,603$; $p < 0,001$) разброс остается меньшим.

Параметр ОПСС у представителей из группы лидеров характеризовался снижением по мере увеличения интенсивности нагрузки, при этом у лидера №1 значения ОПСС на пике нагрузки снизились на 51,37%, а у лидера №6 – на 53,32%, по сравнению с исходным уровнем (табл. 37).

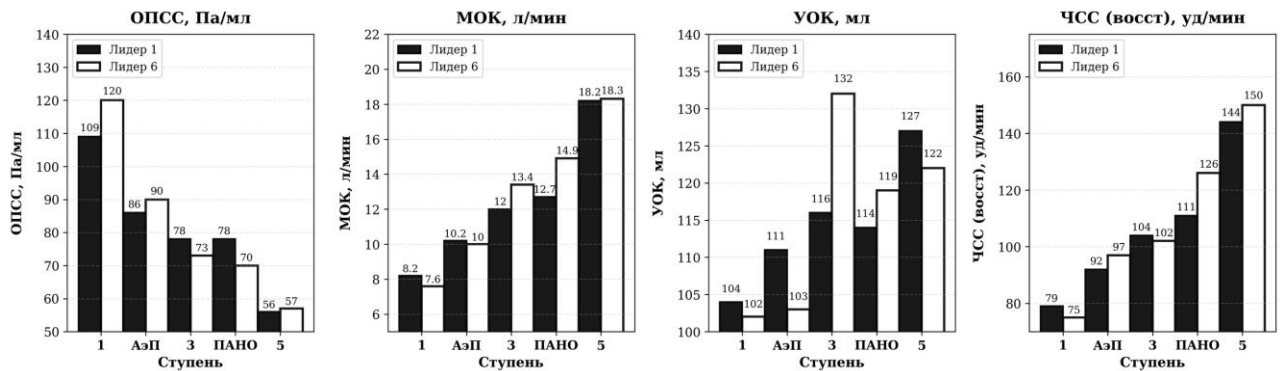


Рисунок 37 – Динамика персонифицированных значений параметров гемодинамики при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков группы лидеров

Следовательно, у спортсмена №6 более низкий тонус периферических сосудов, при этом минутный объем кровотока у него был выше до достижения уровня ПАНО, затем на пике нагрузки показатели МОК у обоих спортсменов были равными, за счет большего прироста показателя у лидера №1. В соответствии с увеличивающейся интенсивностью нагрузки у лидера №6 при той же направленности повышения ЧСС, как и у лидера, выявлены фазные изменения УОК с пиком на этапе перехода в аэробно-анаэробный режим работы, с этого этапа был зафиксирован и неадекватный прирост лактата. На этапе пиковой нагрузки значения УОК и ЧСС были практически равными, как и показатели лактата, что указывает на более высокую анаэробно-гликолитическую выносливость лидера №6. Кроме того, пик УОК на фоне высокого лактата на этапе аэробно-анаэробного перехода метаболизма, позволяет говорить о неоднозначности его влияния на уровень оксигенации мышц.

Динамика значений САД и ДАД у лидера №1 соответствует физиологической реакции на интенсивность возрастающей нагрузки, а у лидера №6, наличие прироста САД (на 12,72% и 11,30%) и максимальным снижением

ДАД (на 15,72%) на этапе аэробно-анаэробного перехода энергообмена, с последующей стабилизацией САД и приростом ДАД до уровня показателей лидера №1 (рис. 38). Вероятно, у данного спортсмена перераспределение кровотока, обусловленное анаэробно-гликолитическим типом энергообмена и сниженным уровнем утилизации кислорода, компенсируется увеличением венозного возврата крови через артерио-венозный шунт.

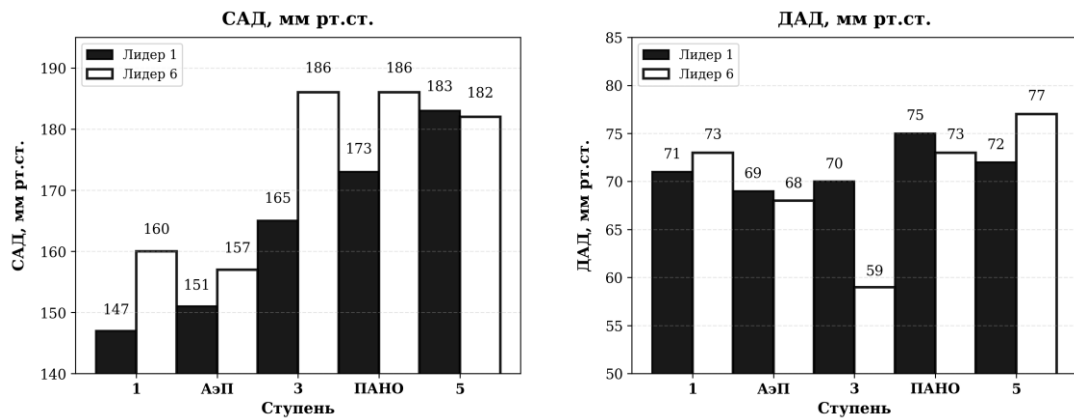


Рисунок 38 – Динамика персонифицированных значений параметров САД и ДАД при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков группы лидеров, (мм рт.ст.)

Анализ показателей мощности и скорости у представителей группы резерва выявил более высокие их значения до достижения ПАНО у резерва № 10 (рис. 39). На пике нагрузки у резерва №1 значения мощности и скорости превысили на 24,64% и 18,19%, показатели спортсмена №10, у которого на всех ступенях нагрузочного тестирования были значительно большие значения каденс.

Показатель ЧСС соответствовал предъявляемой нагрузке, с меньшими значениями у резерва № 1 на всех ступенях нагрузочного тестирования (на уровне АэП на 9 уд./мин, на ПАНО – на 14 уд./мин). По концентрации лактата были установлены неадекватные значения порогам энергетического обмена на ступенях нагрузочного тестирования. В частности, у резерва № 1 на максимальном пульсе был зафиксирован низкий лактат (5,6 мМоль/л), у спортсмена №10 из группы резерва концентрация лактата на уровне АэП и ПАНО была в 1,5 раза завышена.

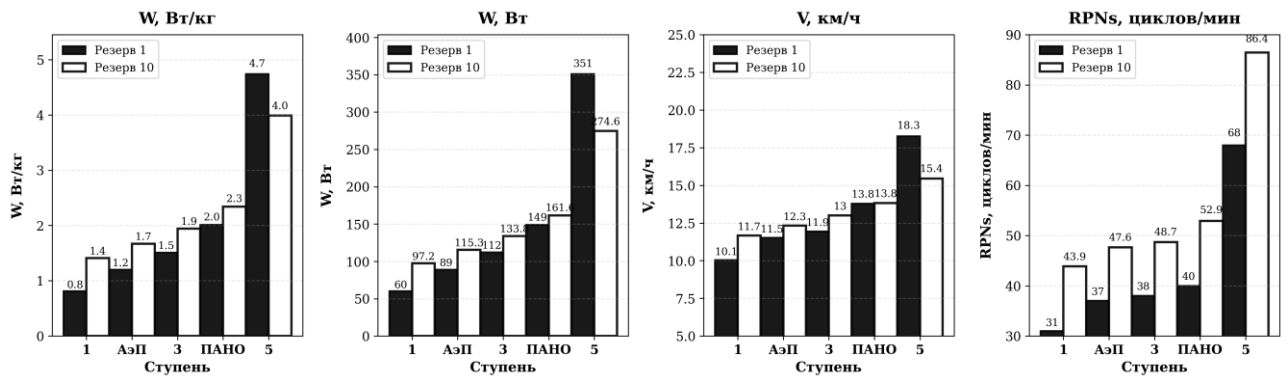


Рисунок 39 – Динамика персонифицированных значений W (Вт/кг), W (Вт), V (км/ч), $RPNs$ (циклов/мин) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков группы резерва

Далее на рисунке 40 представлена динамика персонифицированных значений параметров гемодинамики и оксигенации мышц у лыжников-гонщиков при нагрузочном тестировании. Показатель оксигенации мышц у резерва №1 указывает на повышение потребления кислорода, начиная от АэП до уровня достижения пика нагрузки. Переход с 1-ой ступени на уровень АэП был обусловлен выраженным снижением значений SmO_2 на 25,05%.

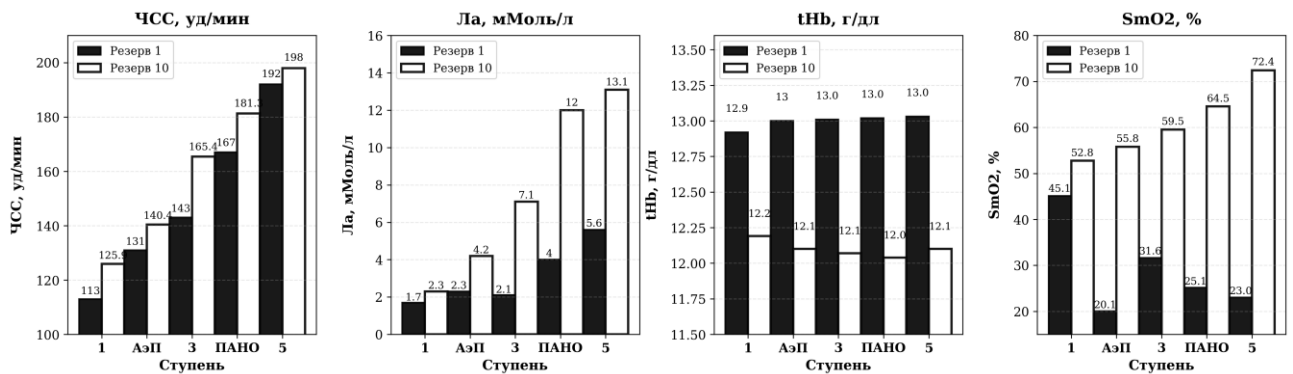


Рисунок 40 – Динамика персонифицированных ЧСС (уд./мин), La (мМоль/л), tHb (г/дл) и SmO_2 (%) при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков группы резерва

У лидера №10 отмечено существенное снижение потребления кислорода на что указывает последовательный прирост значений SmO_2 на всех ступенях нагрузочного тестирования.

Показатель концентрации гемоглобина у спортсменов группы резерва проявил стабильность, но с относительно меньшими значениями у резерва №10 на всех ступенях.

Результаты корреляционного анализа между мощностью и значениями SmO_2 , представленные на рисунке 41, позволяют увидеть разнонаправленные взаимосвязи у спортсменов из группы резерва.

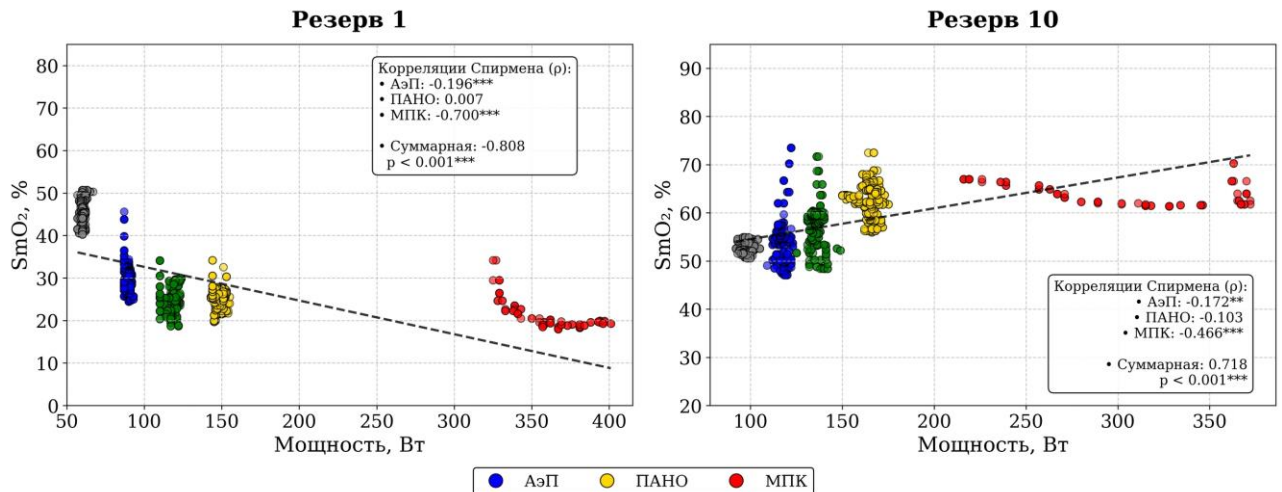


Рисунок 41 – Диаграммы рассеяния между суммарной мощностью (на уровне АЭП, ПАНО, МПК) и SmO_2 в ходе ступенчатого нагрузочного теста у спортсмена-резерва №1 и спортсмена-резерва №10

Примечание: ρ – коэффициент корреляции Спирмена; *** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.

У резерва №1 в нагрузочном тестировании установлена значимая обратная связь с высокой силой ($\rho = -0,808$; $p < 0,001$). У резерва №10, наоборот, значимая и положительная ($\rho = 0,718$; $p < 0,001$), что подтверждает низкий уровень потребления кислорода, который согласуется с высоким уровнем лактата, начиная с мощности на ПАНО. Малый разброс значений SmO_2 до достижения ПАНО, выявленный у резерва №1, свидетельствует о высокой экстракции кислорода, но которая сочетается с низким приростом мощности, что указывает на сниженную мощность аэробного механизма энергообеспечения.

При переходе на максимальную интенсивность (ЧСС 192 уд./мин) у резерва №1 сохраняется незначительный разброс SmO_2 и обратная корреляционная связь со средней силой ($\rho = -0,700$; $p < 0,001$), что указывает на сохраняющуюся высокую экстракцию кислорода. Однако концентрация лактата

на этом уровне составляет всего 5,6 ммоль/л, что характерные для уровня ПАНО.

Данный дисбаланс между метаболическим и функциональным ответом при достижении мощности на уровне МПК предположительно можно интерпретировать как следствие сниженной мощности аэробного механизма энергообеспечения на фоне недостаточной активации анаэробного гликолиза.

Показатель ОПСС у спортсменов группы резерва снижался у обоих представителей, с более выраженным различием на уровне АэП – 33,40% и на ПАНО – 31,31%; у резерва №10 на границе перехода в аэробно-анаэробный режим энергообеспечения показатель ОПСС имел направленность на повышение, в пределах 6% (рис. 42).

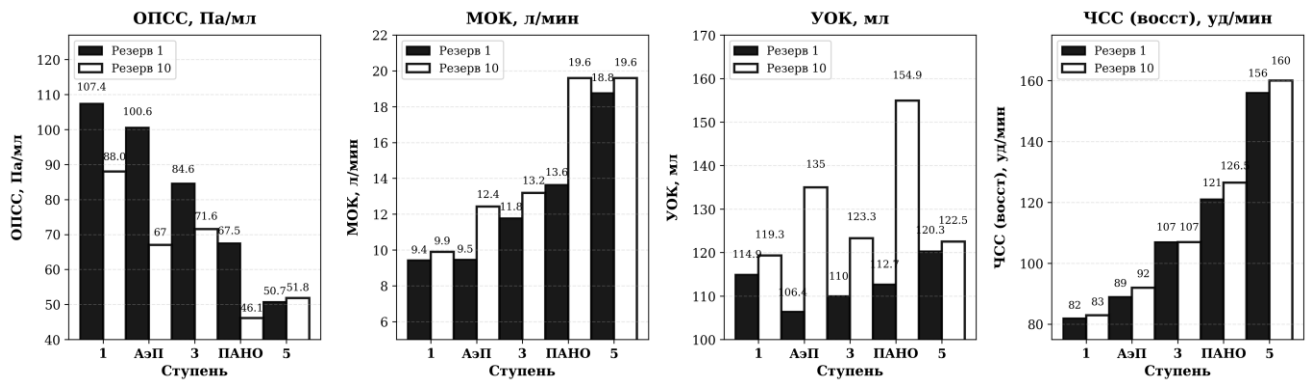


Рисунок 42 – Динамика персонифицированных значений параметров гемодинамики при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков группы резерва

Значения МОК у резерва №10 на всех ступенях нагрузочного тестирования были большими, по сравнению с резервом №1, за счет приростов УОК.

Значения САД и ДАД в группе резерва в динамике тестирования имели колебательный характер, то снижаясь, то повышаясь (рис. 43). У спортсмена №1 из группы резерва фазное изменение САД регистрировалось на фоне более стабильного показателя ДАД. У резерва №10 было установлено последовательное увеличение значений САД до пика нагрузки при фазном изменении ДАД.

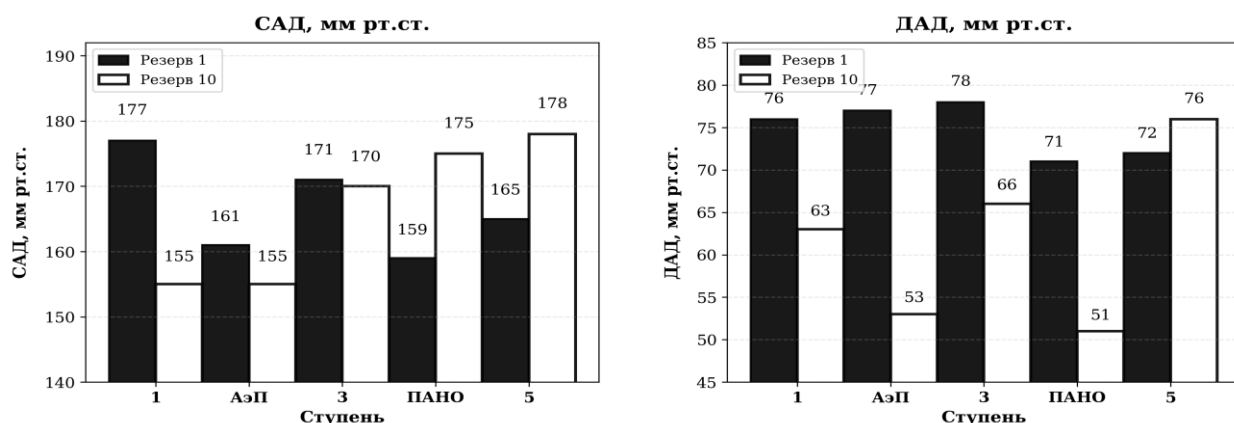


Рисунок 43 – Динамика персонифицированных значений параметров САД и ДАД при нагрузочном тестировании у лыжников-гонщиков группы лидеров, (мм рт.ст.)

Далее на рисунке представлены корреляционные взаимосвязи между мощностью и значениями SmO_2 на ступенях нагрузочного тестирования

Таким образом, персонифицированный анализ позволил дифференцировать спортсменов по типу реагирования на нагрузку. Так, лидер №1 проявил наиболее сбалансированный («экономичный») тип реагирования с эффективной утилизацией кислорода и адекватной сосудистой реакцией. Лидер №6, обладая высокой анаэробной производительностью, имел признаки недостаточной капилляризации или утилизации кислорода в мышцах, что компенсировалось мощным гликолитическим механизмом энергообеспечения. Спортсмены группы резерва характеризовались рассогласованием в работе систем энергообеспечения и гемодинамики (высокий лактат при низкой мощности или низкий лактат при высоком пульсе), что лимитирует их функциональные возможности и требует индивидуализации тренировочного процесса с акцентом на развитие аэробных возможностей.

В данном разделе были представлены персонифицированные результаты исследования, описанные в следующих публикациях:

Бахарева, А.С. Анализ спирометрических параметров функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков на разных этапах подготовительного периода / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9, № 3 (33). – DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_1.

Бахарева, А.С. Гемодинамический ответ на ортостатическое воздействие на этапах подготовительного периода у лыжников-гонщиков с разным уровнем работоспособности / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, В.В. Эрлих // Человек. Спорт. Медицина. – 2025. – Vol. 25, No. 1. – P. 59-67. – DOI: 10.14529/hsm250108.

Бахарева, А.С. Особенности кислородтранспортной функции эритроцитов у лыжников-гонщиков на разных этапах подготовительного периода / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, М.В. Семенова // Национальный вестник медицинских ассоциаций. – 2025. – Т.2. – № 3 (4). – С. 16-21.

Вариабельность сердечного ритма в ортостатической пробе у лыжников-гонщиков с выраженной исходной ваготонией / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, П.А. Байгужин, В.В. Эрлих // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8, № 4. – DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_3.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мышечная деятельность спортсмена является мощным вмешательством в текущий гомеостаз организма. При этом изменяются функциональные взаимодействия всех систем, которые на разных уровнях регуляции, направлены на оптимальное обеспечение энергозатрат организма (Дембо А.Г., Земцовский Э.В., 1989). Общую основу всех долговременных адаптационных реакций организма составляют структурные изменения, в основе которых лежит ряд принципов обеспечения гомеостаза: мобилизация имеющихся ресурсов, гиперплазия или гипертрофия клеток, соответствующая уровню возросшей нагрузки, качественная перестройка систем организма (Саркисов Д.С. с соавт., 1995). Динамическая изменчивость соответствующих структурных компонентов является основой образования саморегулирующихся функциональных систем организма, а исходная структурная организация системы детерминирует спектр возможных комбинаций регуляторных связей. Доминирование структурного принципа выборочной мобилизации функций, объясняет образование систем, имеющих, соответственно, адаптивное или дезадаптивное значение (Пальцев М.А., Салтыков А.Б., 2010).

Исходя из выше указанных положений, мы сформулировали научную гипотезу, согласно которой динамическая оценка и адекватная интерпретация функционально-метаболического обеспечения адаптивно-компенсаторных реакций у лыжников-гонщиков с разным уровнем работоспособности, позволит выявить новые предикторы, критерии и биомаркеры, детерминирующие эффективную адаптацию к воздействию возрастающих нагрузок на этапах подготовительного периода. Направления и этапы выполненного нами исследования определялись задачами, решение которых подтвердило научную гипотезу. При этом реализованный методологический подход и комплекс адекватных методов исследования позволили выявить оптимальные диапазоны адаптивных ответов на тренировочные нагрузки у

лыжников-гонщиков, обусловленные исходными функционально-метаболическими резервами.

Учитывая, что функционально-метаболический статус организма лыжников-гонщиков поддерживается посредством множества механизмов, мы акцентировали внимание на обосновании интеграции нейро-иммунных и гормонально-метаболических механизмов регуляции на разных этапах подготовительного периода; на доминировании у лыжников-гонщиков тонуса парасимпатического звена регуляции и регуляции гранулоцитарного звена иммунокомпетентных клеток, секретирующих сигнальные молекулы (цитокины, гистамин, ацетилхолин, серотонин и др.). Полученные эмпирические данные обосновывают ряд научных концепций, объясняющих причинно-следственные связи нарушений баланса интенсивности нагрузки и процессов восстановления, в частности концепцию «парасимпатической передозировки» (Plews D.J. et al, 2013) и «соотношение Ео/Ва прогностический маркер активности противовоспалительного и восстановительного пула иммунной системы у спортсменов» (Campbell J.P., Turner J.E., 2018).

Выбор стратегии адаптации к тренировочным нагрузкам обосновывается моделями управления и контроля за функционально-метаболическим состоянием организма у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода. Биологическая значимость физиологических систем, обеспечивающих оптимальное функционирование целостного организма в процессе адаптации, различна. У спортсменов при интенсивной физической работе, в первую очередь, сохраняются резервные возможности усиления функций дыхания и кровообращения, непосредственно обеспечивающих организм кислородом. Гомеостаз целостного организма поддерживается одновременным действием сложно организованных регуляторных механизмов, но одним из центральных механизмов является вегетативная регуляция, обеспечивающая постоянство уровней вещества и энергии в организме спортсмена (Капилевич Л.В., 2011).

В поддержании гомеостаза организма участвуют, три регулирующих системы: нервная, эндокринная и иммунная. При этом взаимосвязи между

нервной и эндокринной системами достаточно хорошо изучены, а взаимосвязь между вегетативными механизмами и компонентами иммунной системы рассматривается как наиболее перспективное направление исследований (Акмаев И.Г., 1997) и находится в стадии интенсивного изучения (Черешнев В.А., Юшков Б.Г., 2026).

Новые эмпирические данные дополняют обоснование между взаимодействующими механизмами компонентов вегетативной и иммунной систем, выполняющими сигнальную роль. Объективность оценки функционально-метаболического состояния квалифицированных лыжников-гонщиков обеспечивалась комплексом информативных показателей, включающим 62 параметра; использованием адекватных нагрузочных тестов и функциональных проб на этапах тренировочного процесса, с целью оценки вклада различных систем организма в адаптивный результат.

Факторный и регрессионный анализ комплекса физиологических и биохимических показателей, отражающих функциональное состояние организма квалифицированных лыжников-гонщиков, позволил определить направленность общих групповых адаптивных изменений под воздействием тренировочных нагрузок на каждом этапе подготовительного периода и ведущие предикторы, критерии и маркеры физической работоспособности, отражающие готовность спортсменов к соревновательному периоду.

Важнейшим значимым результатом персонифицированного анализа результатов исследования, считаем выявление лимитирующих факторов достижения оптимальных адаптивных перестроек организма у каждого лыжника-гонщика. Все обследованные квалифицированные спортсмены были дифференцированы на основе результатов эргометрического тестирования по новому критерию – средней скорости движений при максимальной интенсивности нагрузки, соответственно, на группу лидеров и группу резерва. На основе мониторинга функционально-метаболического обеспечения адаптации к нагрузкам на разных этапах подготовительного периода у каждого спортсмена были проанализированы ключевые маркеры и механизмы

функционирования системы дыхания, кровообращения, крови, энергообеспечения и метаболизма, вегетативной и гормональной регуляции. Выявленные механизмы успешной адаптации одних спортсменов и напряжение механизмов у других спортсменов, указывают на дисбаланс между нагрузкой на организм и процессами восстановления или на достижение предела резервных возможностей у конкретных спортсменов. Кроме того, выявлены случаи необходимого динамического контроля кардиолога, как в группе спортсменов лидеров, так и в группе резерва. Полученные результаты 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 деятельности спортсменов на разных этапах подготовительного периода является наиболее перспективным в области спортивной физиологии и актуализирует проведение дальнейших исследований у представителей, специализирующихся в других видах спорта (Ванюшин Ю.С. с соавт., 2021; Макарова Г.А., 2023).

ВЫВОДЫ

1. На базовом этапе подготовки особенности компонентного состава тела у спортсменов с более высокими показателями работоспособности (лидеры) указывают на выраженную активацию липолиза; у группы резерва с более низкой работоспособностью – на повышение вклада анаэробных механизмов энергообеспечения организма. Высокий уровень корреляции ($\rho = 0,79$) указывает на сопряженность показателя работоспособности по «средней скорости двигательных действий» и индекса БМТ/ЖМТ, значения которого согласуются с персонифицированным ранжированием спортсменов.

2. На базовом этапе подготовительного периода установлено значимое увеличение НСТ и MCV у лидеров; в группе резерва – MCHC. В обеих группах и на всех этапах подготовки MPV превышал нормативные значения на 11-17%. Значимые межгрупповые различия выявлены по содержанию Ba (I этап, выше у лидеров), Эо и WBC (II этап, выше у резерва), количеству LYMF (III этап, выше у лидеров). При этом относительная доля Эо (I этап) и MON (III этап) была выше у группы резерва.

Персонифицированные особенности гематологического спектра выражались у лидера №1 в максимальных значениях LYMF (III этап); у лидера №6 параметры соответствовали общегрупповому тренду на всех этапах подготовки; у резерва №1 был установлен низкий уровень количества LYMF (II этап), а у резерва №10 выявлены самые высокие значения комплекса иммуннокомпетентных клеток на всех этапах подготовительного периода.

3. На базовом этапе подготовительного периода значимые межгрупповые различия у лыжников-гонщиков выявлены по биохимическим параметрам сыворотки крови: Trig и АЛТ (I этап, выше у лидеров), коэффициент де Ритиса (I этап, выше у резерва); концентрация глюкозы (II этап, выше у лидеров).

Персонифицированный анализ на I-ом этапе выявил максимальные значения активности ферментов АЛТ, АСТ и ЛДГ у лидера №1; у лидера №6 – активность ферментов была на уровне нижней границы нормы. На II-ом этапе

подготовительного периода у спортсмена №1 из группы резерва был выявлен максимальный уровень ЛДГ; у резерва №10 значения АЛТ и АСТ были минимальными и обусловили поэтапное повышение коэффициента де Ритиса.

4. Межгрупповых различий по концентрации тестостерона, кортизола и индекса анаболизма на этапах подготовительного периода не выявлено.

Персонализированный анализ показал, что уровень тестостерона у лидеров №1 и №6 повышался до верхних границ нормы; у лыжников №1 и №10 группы резерва показатель тестостерона был стабильно на нижней границе нормы.

5. Значимые межгрупповые различия в состоянии покоя по ЧСС и по ОПСС свидетельствуют о преобладании инотропного механизма регуляции кровообращения у лидеров, а у резерва – хронотропного и инотропного механизмов. Реакция на функциональную пробу (2-х мин. активный ортостаз) отражала «нормальный» уровень у лыжников группы лидеров и «пониженный» уровень ортостатической устойчивости у спортсменов группы резерва на всех этапах подготовки.

Персонализированный анализ реакции на ортостаз выявил: у лидера №1 нормальную ортостатическую устойчивость; у лидера №6 удовлетворительный уровень ортостатической устойчивости; у спортсмена №1 из группы резерва сниженный уровень ортостатической устойчивости; у спортсмена №10 группы резерва дезадаптивный вариант ответа.

6. Анализ Эхо-КГ у лыжников-гонщиков выявил: у лидера №1 превышение значений ММЛЖ при нормативных показателях ТМЖП и ТЗСЛЖ; у лидера №6 превышение показателей нормы значений УОК и ФВ. У резерва №1 выявлено увеличение сократительной функции сердца; у резерва №10 – выраженная гипертрофия миокарда (ММЛЖ на 17,40%, ТМЖП и ТЗСЛЖ на 23,0% выше нормативных значений).

7. Адаптивный ответ дыхательной системы на нагрузки подготовительного периода выявил у спортсменов группы лидеров: на I-ом этапе большую ЧД и МОД, а на III-ем этапе – снижение ЧД и увеличением ДО;

на III-ем этапе значимые межгрупповые различия проявились по ЖЕЛ, МВЛ, ФЖЕЛ, $ОФВ_{1\text{вдоха}}$, $МОС_{50}$ и $ПОС_{\text{выд.}}$ с более высокими значениями у лидеров.

Персонафицированные показатели вентиляционной функции на этапах подготовительного периода указывали на ограничение резервных возможностей у спортсменов №1 и №10 из группы резерва с доминированием механорецепторного центрального механизма регуляции дыхательной системы; у лидера №1 и №6 – с доминированием хеморецепторного и вегетативного механизма регуляции.

8. Установлено, что параметр RMSSD BCP является предиктором, определяющим структуру организации функционально-метаболической адаптации организма лыжников-гонщиков, а его детерминанты являются прогностическими показателями (MON, Ba, LYMF).

В группе лидеров парасимпатический тонус ассоциирован с иммунными показателями: Ba ($r=0,89$) – I этап; MON ($r=0,72$) – II этап; Eo ($r=0,79$) – III этап. В группе резерва парасимпатический тонус сопряжен с показателями: LYMF ($r=-0,77$) – I этап; кортизола ($r=-0,83$) – II этап; общей воды в организме ($r=0,70$) – III этап.

9. Установлено, что индекс реактивности PVNS выступает в качестве информативного критерия уровня вегетативной регуляции: значения $\leq 0,5$ усл.ед. отражают высокую реактивность отделов ВНС; диапазон 0,6 - 0,8 усл.ед. указывает на повышенную фоновую активность и высокую реактивность парасимпатического отдела; значения $\geq 0,8$ усл.ед. определяют избыточную парасимпатическую активность в покое и гипореактивность парасимпатического звена в ортостазе. Значения индекса реактивности PVNS служат инструментом для управления тренировочным процессом.

10. Персонафицированный анализ типа реагирования на нагрузку при эргометрическом тестировании в конце подготовительного периода выявил, что у лидера №1 сбалансированный тип с эффективной утилизацией кислорода и адекватной гемодинамической реакцией; у лидера №6, при высокой анаэробной производительности выявлены признаки недостаточной утилизации кислорода;

реактивность спортсменов группы резерва на тестирующую нагрузку характеризовалась рассогласованием систем энергообеспечения и гемодинамики. Высокий лактат при низкой интенсивности нагрузки (резерв №10) или низкий лактат при высоком ЧСС (резерв №1), лимитируют функциональные возможности спортсменов.

11(А). На основе перестройки межсистемных взаимосвязей организма, определяющих функционально-метаболическое обеспечение работоспособности спортсменов в конце подготовительного периода установлены два варианта направленности адаптационных процессов. Для спортсменов группы лидеров характерен вариант **«Эффективная системная интеграция...»**, характеризующийся:

- активацией анаэробного гликолиза (I этап);
- активацией аэробных процессов энергообеспечения (II этап);
- активацией адаптивного звена иммунитета (III этап);
- оптимальными значениями параметров гемодинамики на всех этапах;
- экономизацией функции дыхательной системы (III этап);
- оптимальным нейровегетативным балансом и высокими восстановительными резервами в ортостазе;
- значимой корреляцией абсолютной мощности работы с оксигенацией скелетных мышц на уровне ПАНО.

11(Б). Вариант адаптации **«Напряженная функциональная мобилизация»** характерен для спортсменов группы резерва, характеризуется:

- активацией аэробного гликолиза (I этап);
- активацией анаэробных процессов энергообеспечения (II этап);
- доминированием провоспалительных процессов иммунитета (I этап);
- низкими значениями ОПСС (II и III этапы);
- избыточной мобилизацией респираторной функции в ответ на повышение вентиляционной потребности;
- пониженной вегетативной устойчивостью в ортостазе;

– не значимой корреляцией абсолютной мощности работы с оксигенацией скелетных мышц на уровне ПАНО.

12. В общей выборке спортсменов представителей циклических видов спорта, дифференцированных по критерию «средняя скорость движений при максимальной интенсивности нагрузки» при модифицированном протоколе тестирования выявляются особенности функционально-метаболического статуса, обусловленные специфическими характеристиками представителей конкретных видов спорта (пловцы, легкоатлеты, лыжники-гонщики), которые существенно влияют на объективность оценки адаптивных процессов и механизмов их обеспечения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты исследования функционально-метаболического обеспечения адаптации лыжников-гонщиков к нагрузкам на этапах подготовительного периода рекомендуется использовать:

специалистам в области функциональной диагностики спортсменов (спортивные физиологи)

- рекомендуется использование индекса функционального резерва парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (IPVNS) с целью дифференциации состояний оптимальной адаптации, парасимпатической перегрузки и дезадаптации по параметрам вариабельности сердечного ритма RMSSD при ортостатической пробе в начале и в конце каждого мезоцикла на этапах подготовительного периода;

- при разработке методов коррекции функционально-метаболических состояний и скрытого не довосстановления у лыжников-гонщиков мужского пола на этапах подготовительного периода учитывать различия прогностического и реального показателя RMSSD, индексов соотношения безжировой к жировой массе тела (БМТ/ЖМТ), индекса соотношения про- и противовоспалительных процессов (E_o/V_a).

тренерам-преподавателям и спортивным инструкторам со специализацией лыжные гонки

- рекомендуется персонифицированный подход к распределению объема и интенсивности тренировочных нагрузок на основе объективных оценок мощности и емкости порогов энергообеспечения (АЭП, ПАНО, МПК);

- оптимизацию процессов восстановления спортсменов на этапах тренировочного процесса проводить с учетом особенностей реактивности вегетативной нервной системы на ортостаз (2-х минутный) в начале и в конце микроциклов по значениям RMSSD.

Особенностью представленных рекомендаций является наличие количественных диапазонов индексов и измеримый характер каждого

предлагаемого критерия, что позволяет использовать их в практике текущего и этапного контроля подготовки лыжников-гонщиков.

Таблица 71 – Количественные критерии IPVNS (усл. ед.) в оценке уровня вегетативной регуляции

Значение IPVNS (усл. ед.)	Критерии	Характеристика вегетативной регуляции
$\leq 0,5$	Низкая фоновая активность + высокая реактивность	Парасимпатический тонус в покое снижен, но резерв достаточен для быстрой мобилизации. Необходим контроль за долей аэробной нагрузки.
0,6 – 0,8	Повышенная фоновая активность + адекватная реактивность	Оптимальный диапазон на этапах базовой подготовки. Спортсмену рекомендуется снизить объем тренировочной нагрузки и увеличить его интенсивность на этапе специально-подготовительного периода.
$\geq 0,8$	Избыточная фоновая активность в покое + низкая реактивность	Риск «парасимпатической перегрузки», Признак замедленного восстановления. Рекомендуется снизить объем нагрузок до 30%, а интенсивность нагрузки регулировать интервальным методом.

Таблица 72 – Критерии эффективности функционально-метаболического обеспечения на этапах подготовительного периода

Маркер	Диапазон	Интерпретация
БМТ / ЖМТ (усл.ед.)	≤ 6	Активация анаэробных процессов с последующим дефицитом углеводного субстрата
	6–8	Оптимальный диапазон активации липолиза и специальной выносливости
	$\geq 8,0$	Относительный энергетический дефицит с активацией глюконеогенеза
Ео / Ва (усл.ед.)	≤ 6 усл.ед.	Преобладание провоспалительных процессов (увеличение базофилов)
	2-5 усл.ед.	Баланс про- и противовоспалительных процессов
	≥ 8 усл.ед.	Преобладание противовоспалительных процессов (увеличение эозинофилов)

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Ba – базофилы
 Eo – эозинофилы
 IPVNS – индекс функционального резерва парасимпатического отдела вегетативной нервной системы
 HCT – гематокрит
 HGB – гемоглобин
 LYMF – лимфоциты
 MCV – средний объем эритроцитов
 MCH – среднее содержание гемоглобина в эритроците, эквивалентен цветовому
 MCHC – средняя концентрация гемоглобина в эритроците
 MON – моноциты
 MPV – средний объем тромбоцита
 Ne – нейтрофилы
 PCT – тромбокрит
 PDW – анизоцитоз тромбоцитов
 PLT – количество всех тромбоцитов
 RBC – количество всех эритроцитов
 RDW-CV – коэффициент вариации объема эритроцита, показатель анизоцитоза
 RDW-SD – стандартное среднеквадратическое отклонение объема эритроцита от среднего значения
 RMSSD – среднеквадратичное отклонение последовательных различий (интервалов R-R)
 SmO₂ – мышечная оксигенация
 Thb – концентрация капиллярного гемоглобина
 Trig – триглицериды
 Tes – тестостерон общий
 WBC – абсолютное количество всех лейкоцитов
 АэП – аэробный порог
 АЛТ – аланинаминотрансфераза
 АСТ – аспартатаминотрансфераза
 ВНС – вегетативная нервная система
 ВСР – вариабельность сердечного ритма
 ДАД – диастолическое артериальное давление
 ДО – дыхательный объем
 ЖЕЛ – жизненная емкость легких
 МВЛ – максимальная вентиляция легких
 МОК – минутный объем кровообращения
 МОС₂₅ – максимальная объемная скорость (МОС) в момент выдоха первых 25% объема ФЖЕЛ
 МОС₅₀ – максимальная объемная скорость в момент выдоха первых 50% объема ФЖЕЛ

МОС₇₅ – максимальная объемная скорость в момент выдоха 75% объема ФЖЕЛ
МОС_{ВД50} – максимальная объемная скорость в момент вдоха 50% ФЖЕЛ
МПК – максимальное потребление кислорода
ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за первую секунду
ОПСС – общее периферическое сопротивление сосудов
ПАНО – порог анаэробного обмена
ПОСвд – пиковая объемная скорость вдоха
ПОСвыд – пиковая объемная скорость
РО – резервный объем
САД – систолическое артериальное давление
СОС₂₅₋₇₅ – средн. объемная скорость между 25% и 75% объема ФЖЕЛ
СОС₇₅₋₈₅ – средн. объемная скорость между 75% и 85% объема ФЖЕЛ
СОЭ – скорость оседания эритроцитов
ССС – сердечно-сосудистая система
ФВ – фракция выброса
ФЖЕЛвд – форсированная жизненная емкость легких на вдохе
ЧСС – частота сердечных сокращений

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамова, Т.Ф. Лабильные компоненты массы тела – критерии общей физической подготовленности и контроля текущей и долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам: методические указания / Т.Ф. Абрамова, Т.М. Никитина, Н.И. Кочеткова. – Москва: Скайпринт, 2013. – 132 с.
2. Абрамова, Т.Ф. Морфологические критерии - показатели пригодности, общей физической подготовленности и контроля текущей и долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам: учебное пособие / Т.Ф. Абрамова, Т.М. Никитина, Н.И. Кочеткова. – Москва: ТВТ Дивизион, 2010. – 104 с.
3. Айзятупова, Е.Д. Кислородное обеспечение организма спортсменов высокого класса в покое и при нагрузках максимальной мощности / Е.Д. Айзятупова, А.С. Кузнецов, С.Н. Виноградов // Фундаментальные вопросы экспериментальной и клинической физиологии дыхания: материалы XIV Всероссийской с международным участием Школы-конференции. – 2019. – С. 23-28.
4. Актуальные вопросы регуляции венозного возврата / А.В. Самойленко, А.Ю. Юров, В.И. Евлахов, И.З. Поясов // Медицинский академический журнал. – 2010. – Т. 10, № 4. – С. 7-20.
5. Анохин, П.К. Очерки по физиологии функциональных систем / П.К. Анохин. – М: Медицина. – 1975. – 448 с.
6. Аршинова, Н.Г. Использование показателей центральной гемодинамики и сердечного ритма для оценки функционального состояния спортсменов высокой квалификации / Н.Г. Аршинова, А.Д. Викулов, М.В. Бочаров // Ярославский педагогический вестник. – 2010. – № 4, Т. III (Естественные науки). – С. 53-60.
7. Баевский, Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма: физиологические основы и основные методы проведения / Р.М. Баевский, А. Черникова // Cardiometry. – 2017. – Выпуск 10. – С. 66-76.

8. Бахарева, А.С. Анализ спирометрических параметров функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков на разных этапах подготовительного периода / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9, № 3 (33). – DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_1.

9. Бахарева, А.С. Гемодинамический ответ на ортостатическое воздействие на этапах подготовительного периода у лыжников-гонщиков с разным уровнем работоспособности / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, В.В. Эрлих // Человек. Спорт. Медицина. – 2025. – Vol. 25, No. 1. – P. 59-67. – DOI: 10.14529/hsm250108.

10. Бахарева, А.С. Мониторинг компонентного состава тела у лыжников-гонщиков на этапах подготовительного периода на основе биоимпедансного анализа / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, В.В. Эрлих // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2024. – № 4 (50). – С. 116-124.

11. Бахарева, А.С. Особенности кислородтранспортной функции эритроцитов у лыжников-гонщиков на разных этапах подготовительного периода / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, М.В. Семенова // Национальный вестник медицинских ассоциаций. – 2025. – Т.2. – № 3 (4). – С. 16-21.

12. 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). – DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_3.

13. Бахарева, А.С. Особенности функционального состояния кардиореспираторной системы лыжниц-гонщиц 17-20 лет с различным уровнем спортивной результативности: диссертация ... канд. биол. наук / А.С. Бахарева. – Челябинск, 2009. – 137 с.

14. Бахарева, А.С. Реактивность системы гемодинамики у спортсменов циклических видов спорта при нагрузочном тестировании / А.С. Бахарева, Д.З.

Шибкова, Ю.Н. Романов // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8, № 3 (29). – DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_2.

15. Бекембетова, Р.А. Особенности состава тела у представителей зимних видов спорта / Р.А. Бекембетова, С.Т. Маженов // Современный олимпийский спорт и спорт для всех: материалы II Международного научно-практического конгресса, Алматы. – Алматы, 2004. – Т. 2. – С. 132-134.

16. Белоцерковский, З.Б. Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов: монография / З.Б. Белоцерковский. – 2-е изд., доп. – М.: Советский спорт, 2009. – 348 с.

17. Биоимпедансное исследование и оценка показателей состава тела спортсменов высокой квалификации зимних видов спорта / Т.Н. Солнцева, М.М. Коростелева, С.П. Черных, Р.М. Раджаббадиев, А.С. Самойлов, Е.Г. Воробьев, Р.А. Ханферьян // Вопросы питания. – 2014. – Т. 83, № S3. – С. 145.

18. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д.В. Николаев, А.В. Смирнов, И.Г. Бобринская, С.Г. Руднев. – М.: Наука, 2009. – 392 с.

19. Биохимические маркеры адаптации у спортсменов циклических видов спорта / Шешурина Т.А., Карпов И.А., Невзорова Т.Г., Талибов А.Х., Антропова В.А. // Человек. Спорт. Медицина. – 2024. – Т. 24, № 3. – С. 45-55. – DOI: 10.14529/hsm250211.

20. Блеер, А.Н. Конкурентоспособность спортивных специалистов в условиях глобализации: курс на прогностическое образование / А.Н. Блеер, А.В. Скотникова // Вестник спортивной науки. – 2016. – № 2. – С. 3-9.

21. Богатов, А.А. Особенности адаптации лыжников с разными типами энергообеспечения скелетных мышц к дозированным и тренировочным физическим нагрузкам / А. А. Богатов // Физиология человека. – 2003. – Т. 29, № 4. – С. 84-90.

22. Бойков, В.Л. Физиологическая характеристика гематологических, биохимических параметров крови и симпато-вагусного баланса у спортсменов высокой квалификации / В.Л. Бойков, А.А. Мельников // Человек. Спорт. Медицина. – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 7-13. – DOI: 10.14529/hsm210101.

23. Бокерия, Л.А. Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование / Л.А. Бокерия, О.Л. Бокерия, И.В. Волковская // *Анналы аритмологии*. – 2009. – Т. 6, № 4. – С. 21-32.
24. Брагин, М.А. Прогноз физической работоспособности спортсменов-лыжников по параметрам вариабельности сердечного ритма / М.А. Брагин, А.А. Киш, Т.В. Матюшеф // *Медицинская наука и образование Урала*. – 2018. – Т. 19, № 3(95). – С. 100-104.
25. Бреслав, И.С. Дыхание и мышечная активность человека в спорте: руководство для изучающих физиологию человека / И.С. Бреслав, Н.И. Волков, Р.В. Тамбовцева. – М.: Советский спорт, 2013. – 336 с.
26. Бреслав, И.С. Лимитирует ли система дыхания аэробную работоспособность человека? / И.С. Бреслав, М.О. Сегизбаева, Г.Г. Исаев // *Физиология человека*. – 2000. – Т. 26, № 4. – С. 115-122.
27. Брук, Т.М. Вариабельность сердечного ритма и вегетативная реактивность у шорт-трековиков 14-летнего возраста / Т.М. Брук, Ф.Б. Литвин // *Теория и практика физической культуры*. – 2025. – № 7. – С. 24-26.
28. Будко, А.Н. Биохимические аспекты перетренированности у спортсменов в конькобежном спорте / А.Н. Будко, И.Л. Рыбина // *Прикладная спортивная наука*. – 2016. – № 1(3). – С. 44-49.
29. Булатецкий, С.В. Анализ показателей вариабельности сердечного ритма с разным типом вегетативной регуляции при активной ортостатической пробе / С.В. Булатецкий, Ю.Ю. Бяловский // *Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова*. – 2001. – № 3–4. – С. 124-129.
30. Ванюшин, Ю. С. Значение физиологических показателей для выявления функциональных резервов организма / Ю. С. Ванюшин, Н. А. Федоров, С. А. Борисевич // *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.

31. Ванюшин, Ю.С. Кардиореспираторная система как индикатор функционального состояния спортсменов / Ю. С. Ванюшин, Р. Р. Хайруллин // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 7. – С. 11-14.
32. Ванюшин, Ю.С. Комплексное изучение процесса адаптации кардиореспираторной системы / Ю.С. Ванюшин, Д.Е. Елистратов, Н.А. Федоров // Head and Neck / Голова и шея. Российское издание. – 2022. – Т. 10, № S2S1. – С. 32-35.
33. Ванюшин, Ю.С. Контроль за тренировочным процессом на основе анализа функционального состояния организма спортсменов / Ю.С. Ванюшин, Г.К. Хузина // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2020. – Т. 15, № 1. – С. 165-168. – DOI: 10.14526/2070-4798-2020-15-1-165-168.
34. Вариабельность сердечного ритма в ортостатической пробе у лыжников-гонщиков с выраженной исходной ваготонией / А.С. Бахарева, Д.З. Шибкова, П.А. Байгужин, В.В. Эрлих // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8, № 4. – DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_3.
35. Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологическая интерпретация и клиническое использование. Руководство группы экспертов Европейской ассоциации кардиологии и Северо-Американской ассоциации ритмологии и электрофизиологии // European Heart Journal, Mar. 1996. – vol. 17. – p. 354-381.
36. 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.
37. 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.

38. 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.
39. Варламова, Н.Г. Объемные характеристики функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков в годовом цикле / Н.Г. Варламова, Е.Р. Бойко // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2021. – № 55. – С. 77-96. – DOI: 10.17223/19988591/55/5.
40. Васильева, М.Е. Регуляторная роль гормонального профиля в изменении клеточного состава крови у спортсменов: сезонные и дисциплинарные особенности / М. Е. Васильева, В. А. Кащенко, Е. Р. Бойко // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9, № 2(32).
41. Верхошанский, Ю.В. Основы специальной силовой подготовки в спорте / Ю.В. Верхошанский. – Москва: Советский спорт, 2013. – 216 с.
42. Веселик, А.К. Дыхательный резерв и физическая работоспособность в тесте «до отказа» у лыжников гонщиков в начале подготовительного периода тренировочного цикла / А.К. Веселик, Н.Г. Варламова, Е.Р. Бойко // Безопасный спорт-2024: Материалы XI Международного конгресса, Санкт-Петербург, 30–31 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, 2024. – С. 105-108.
43. Взаимосвязь гематологических и биохимических параметров крови у спортсменов разных возрастных групп / А.З. Даутова, Г.Г. Янышева, Р.Ю. Якубов [и др.] // Наука и спорт: современные тенденции. – 2022. – Т. 10. – № 3. – С. 14-21.
44. Взаимосвязь липидного обмена с результативностью пловцов / А.С. Бахарева, В.Н. Запьянин, А.П. Исаев, А.С. Ушаков // Теория и практика физической культуры. – 2019. – № 1. – С. 23-26.

45. Взаимосвязь между строением тела, размерами тела и максимальной скоростью в беговых лыжах / Т. Штогль, Й. Энkvист, Э. Мюллер, Х-К. Хольмберг // J Sports Sci. – 2010. – № 2. – С. 161-169.
46. Вилмор, Дж.Х. Физиология спорта / Дж.Х. Вилмор, Д.Л. Костилл. – Киев: Олимпийская литература, 2003. – 656 с.
47. Виру, А.А. Гормоны и спортивная работоспособность / А.А. Виру, П.К. Кырге. – Москва: Физкультура и спорт, 1983. – 335 с.
48. Власов, М. Ю. Функционально-метаболические адаптации спортсменов по пауэрлифтингу в период подготовки к соревнованиям: тезисы доклада / М. Ю. Власов, Б. М. Щетина, Е. Д. Целых // Актуальные вопросы современной медицины. – 2021. – С. 65-68.
49. Власов, Ю.А. Онтогенез кровообращения человека / Ю.А. Власов. – Новосибирск: Наука, 1985. – 266 с.
50. Влияние статической физической нагрузки на центральную гемодинамику и растяжимость артерий у подростков-спортсменов, занимающихся плаванием и лыжными гонками / Т.Г. Комлягина, В.В. Гульятеева, М.И. Зинченко, Д.Ю. и др. // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2024. – № 2. – С. 143-154. – DOI 10.34014/2227-1848-2024-2-143-154.
51. Влияние физических тренировок на кровь и на кровеносную систему / Н.В. Мельникова, Е.В. Егорычева, И.В. Чернышёва, М.В. Шлемова // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 5-3. – С. 454-455.
52. Вовенко, Е.П. Значение диффузии кислорода через стенки артериол, капилляров и венул в процессах обеспечения кислородом коры головного мозга при гипоксической гипоксии: отчет о НИР / Е. П. Вовенко, К. П. Иванов. – СПб.: Ин-т физиологии им. И. П. Павлова РАН, 1997. – 1 с. – Грант РФФИ 97-04-49107-а.
53. Волков, В.В. Влияние скорости прироста нагрузки во время тестирования на ручном эргометре на максимальное потребление кислорода: систематический обзор / В.В. Волков, Р.В. Тамбовцева // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т.8. – №1. – DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_4.

54. Волков, Н.И. Биохимия мышечной деятельности / Н. И. Волков, Э. Н. Несен, А. А. Осипенко, С. Н. Корсун. – Киев: Олимпийская литература, 2000. – 503 с.
55. Выявление параметров функциональной подготовленности, сопряженных с высокой результативностью соревновательной деятельности у спортсменов циклических видов спорта / Е.В. Быков, О.В. Балберова, А.В. Чипышев, Е.В. Леконцев // Человек. Спорт. Медицина. – 2021. – Т. 21, № S2. – С. 41-46. – DOI: 10.14529/hsm21s205.
56. Гаврилова, Е.А. Вариабельность ритма сердца и спорт / Е.А. Гаврилова // Физиология человека. – 2016. – Т. 42, № 5. – С. 121-129. – DOI: 10.7868/S0131164616050088.
57. Гаврилова, Е.А. Внезапная сердечная смерть в спорте. Современные представления / Е.А. Гаврилова, О.А. Чурганов, М.Д. Белодедова, Ю.В. Яковлев, М.А. Рогожников // Теория и практика физической культуры. – 2021. – № 5. – С. 76-78.
58. Гаврилова, Е.А. Ремоделирование сердца спортсмена в зависимости от направленности тренировочного процесса / Е.А. Гаврилова, Г.М. Загородный // Прикладная спортивная наука. – 2019. – № 1. – С. 48-57.
59. Гаркави, Л.Х. Адаптационные реакции и резистентность организма / Л.Х. Гаркави, Е.Б. Квакина, М.А. Уколова. – Ростов н/Д: РГУ, 1990. – 220 с.
60. Гаркави, Л.Х. Система ареактивности и её роль в поддержании гомеостаза / Л.Х. Гаркави, Е.Б. Квакина // Антистрессорные реакции и активационная терапия. Екатеринбург. – 2002. – С. 106-117.
61. Гатилова, Г.Д. Особенности метаболического обеспечения физической работы квалифицированных спортсменов-лыжников в конце подготовительного периода / Г.Д. Гатилова // Слобожанский научно-спортивный вестник. – 2012. – № 4 (32). – С. 103-108.
62. Герасимов, И.Г. Подходы к оценке параметров спектра активности ионов водорода в биологических жидкостях I. Электрохимический метод / И.Г.

Герасимов // Вестник новых медицинских технологий. – 2006. – Т. 13. – № 1. – С. 136-138.

63. Говорухина, А.А. Особенности адаптации системы внешнего дыхания у спортсменов циклических видов спорта, тренирующихся в ХМАО-Югре / А.А. Говорухина, Н.С. Веткалова // Вестник медицинского института "РЕАВИЗ": реабилитация, врач и здоровье. – 2018. – № 1(31). – С. 156-163.

64. Голобородько, Е.В. Методические подходы к оценке эффективности новых технологий спортивной медицины / Е.В. Голобородько, П.А. Шулепов // Курортная медицина. – 2018. – № 2. – С. 43-54.

65. Голов, А.В. Математическая модель регуляции легочной вентиляции при гипоксии и гиперкапнии / А.В. Голов, С.С. Симаков // Компьютерные исследования и моделирование. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 297-310. – DOI: 10.20537/2076-7633-2017-9-2-297-310.

66. Головачев, А.И. Особенности достижения модельных показателей функциональных возможностей систем энергообеспечения лыжниц-гонщиц высокой квалификации при подготовке к олимпийским играм / А.И. Головачев, В.И. Колыхматов, С.В. Широкова // Человек. Спорт. Медицина. – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 38-45. – DOI: 10.14529/hsm210305.

67. Головина, Г.А. Ортостатическая гипотензия. Взгляд кардиолога / Г.А. Головина, Д.В. Дупляков // Артериальная гипертензия. – 2014. – Т. 20, № 2. – С. 75-85.

68. Голубева, М.Г. Влияние физической нагрузки на функциональное состояние мембран эритроцитов / М.Г. Голубева // Спортивная медицина: наука и практика. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 55-64. – DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.55.

69. Граевская, Н.Д. Спортивная медицина: курс лекций и практические занятия: учебное пособие / Н.Д. Граевская, Т.И. Долматова. – М.: Советский спорт, 2004. – Ч. 2. – 360 с.

70. Границы современного понятия гомеостаза и гомеостатических систем / В.В. Еськов, В.Ф. Пятин, С.А. Прохоров, И.Р. Ерега, Ю.С. Игнатенко //

Вестник новых медицинских технологий. – 2020. – Т. 27, № 2. – С. 125-132. – DOI: 10.24411/1609-2163-2020-16669.

71. Грачев, Н.П. Организация тренировочного процесса в олимпийских видах спорта в соревновательный период (на примере лыжных гонок) / Н. П. Грачев, С. Н. Стародубцев // Олимпизм: истоки, традиции и современность: сб. ст. Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. – Воронеж, 2020. – С. 105-109.

72. Грачев, Н.П. Построение тренировочных нагрузок в годичном цикле лыжников-гонщиков 15-16 лет с учетом факторов, лимитирующих работоспособность: дис. ... канд. пед. наук. - М.: 2002. – 115 с.

73. Гридин, Л.А. Современные представления о физиологических и лечебно-профилактических эффектах действия гипоксии и гиперкапнии / Л.А. Гридин // Медицина. – 2016. – Т. 4, № 3. – С. 45-68.

74. Гриневич, А.А. Роль эластичности кровеносных сосудов в формировании высокоамплитудных колебаний кровотока на частоте 0.1 Гц / А.А. Гриневич, А.В. Танканаг, Н.К. Чемерис // Математическая биология и биоинформатика. – 2014. – Т. 9, Вып. 2. – С. 341-358. – DOI: <https://doi.org/10.17537/2014.9.341>.

75. Гришенков, И.В. Гистамин и блокаторы гистаминовых рецепторов: механизм действия, клинические эффекты / И.В. Гришенков, А.Ю. Искусных // Современные проблемы естественных наук и фармации: сборник статей Всероссийской научной конференции (Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 года). – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2023. – С. 332-335.

76. Грязных, А.В. Индекс тестостерон/кортизол как эндокринный маркер процессов восстановления висцеральных систем после мышечного напряжения / А.В. Грязных // Вестник ЮУрГУ. – 2011. – № 20. – С. 107-111.

77. Гурская, А.И. Возрастная динамика активности ферментов-маркеров тренированности и адаптации к физическим нагрузкам у спортсменов-мужчин // Наука – образованию, производству, экономике: материалы XIX (66) Регион. науч.-практ. конф. преподавателей, науч.

сотрудников и аспирантов, Витебск, 13-14 марта 2014 г.: в 2 т. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2014. – Т. 1. – С. 67-68.

78. Дегтярев, В.А. Возможности комплексного исследования системы кровообращения в первичном звене здравоохранения методом объемной компрессионной осциллометрии / В.А. Дегтярев // Терапия. – 2015. – № 1. – С. 13-18.

79. Дембо, А.Г. Спортивная кардиология: руководство для врачей / А.Г. Дембо, Э.В. Земцовский. – Ленинград: Медицина, 1989. – 464 с.

80. Дерновой, Б.Ф. Сердечно-сосудистая система в условиях изменения гемодинамической нагрузки у человека на Севере: монография. – Сыктывкар: ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2024. – 168 с.

81. Дерновой, Б.Ф. Комплексная оценка сердечно-сосудистой системы спортсменов-лыжников зимой в период подготовки к соревнованиям / Б.Ф. Дерновой, В.И. Прошева // Экология человека. – 2018. – № 8. – С. 46-51.

82. Донина, Ж.А. Динамика показателей кардиореспираторной системы и реактивные возможности системы дыхания при быстром нарастании острой гипоксии / Ж.А. Донина, Е.В. Баранова // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. – 2013. – № 29. – С. 112-120.

83. Дудина, Е.А. Аэробные возможности и состояние здоровья: клинико-морфофункциональные параллели / Е.А. Дудина // Теория и практика физической культуры. – 2006. – № 1. – С. 25-27.

84. Ермолаева, Е.Н. Индикаторы повреждения при физических нагрузках различной интенсивности / Е.Н. Ермолаева, Л.В. Кривохижина // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 1. – С. 1815-1821.

85. Ерофеев, Г.Г. Исследование индивидуальных особенностей дыхательной системы спортсменов-лыжников в зависимости от физического состояния / Г.Г. Ерофеев // Спортивная медицина: наука и практика. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 30-36. – DOI:10.17238/ISSN2223-2524.2020.1.30.

86. Еськов, В.М. Новые биоинформационные подходы в развитии медицины с позиции третьей парадигмы (персонифицированная медицина –

реализация законов третьей парадигмы медицины) / В.М. Еськов, А.А. Хадарцев, Л.И. Каменев // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – № 3. – С. 25-28.

87. Жикина, Н.П. Особенности структурно-функциональных изменений сердечно-сосудистой системы у спортсменов высокой квалификации / Н.П. Жикина, О.Л. Коннова, А.Б. Сиротин // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия № 1. Психологические и педагогические науки. – 2019. – № 2. – С. 83-85.

88. Зависимость величины RMSSD кардиоинтервалограммы от специализации тренировочного процесса, этапа годичного цикла подготовки и других факторов (Обзор) / Д.А. Катаев, В.И. Циркин, А.Н. Трухин, С.И. Трухина // Интегративная физиология. – 2024. – Т. 5. – № 1. – DOI: [10.33910/2687-1270-2024-5-1-32-49](https://doi.org/10.33910/2687-1270-2024-5-1-32-49).

89. Захарова, М.Ф. Влияние различных видов физических нагрузок на показатели ферментативной активности лимфоцитов периферической крови спортсменов / М.Ф. Захарова, С.П. Левушкин // Теория и практика физической культуры. – 2012. – № 1 (23). – С. 57-59.

90. Зеленкова, И.Е. Практическое применение оценки динамики параметров общей гемоглобиновой массы и объема циркулирующей крови методом возвратного дыхания монооксидом углерода в контексте тренировочного процесса / И.Е. Зеленкова, С.В. Зоткин, А.А. Грушин // Спортивная медицина: наука и практика. – 2014. – № 4. – С. 17-23.

91. Зенько, М.Ю. Перекрестная адаптация: от Ф.З. Меерсона до наших дней. Часть 1. Адаптация, перекрестная адаптация и перекрестная сенсбилизация / М.Ю. Зенько, Е.А. Рыбникова // Успехи физиологических наук. – 2019. – Т. 50, № 4. – С. 3-13. – DOI: [10.1134/S0301179819040088](https://doi.org/10.1134/S0301179819040088).

92. Значимость биохимических и гематологических показателей лыжников-гонщиков в процессе адаптации к тренировочным нагрузкам / А.С. Бахарева, В.И. Заляпин, Е.В. Харитонов, Г.В. Буданов // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 30-36. – DOI: [10.14529/hsm180303](https://doi.org/10.14529/hsm180303).

93. Зоны интенсивности физических нагрузок по частоте сердечных сокращений / Б.Т. Ногаев, А.М. Шалбарбаев, А.А. Жаппаров, Е.Е. Келдосов // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2018. – № 10-6. – С. 118-120.
94. Иванчикова, Н.Н. Особенности иммунного статуса спортсменов (обзор литературы) / Н.Н. Иванчикова, Н.В. Шераш // Прикладная спортивная наука. – 2021. – Т. 14. – № 2. – С. 91-96.
95. Изменение гемодинамических показателей при ортостатической пробе при гипоксии / О.О. Гуревич, Л.А. Радченко, А.А. Мелконян, Ю.Ю. Темникова // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 1. – URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=12231> (дата обращения: 03.09.2024).
96. Индивидуальные различия показателей гемодинамики при сочетании гипоксической и ортостатической нагрузок / Е.М. Лесова, В.О. Самойлов, Е.Б. Филиппова, О.В. Савокина // Вестник российской военно-медицинской академии. – 2015. – № 1(49). – С. 157-163.
97. Институт физиологии: актуальные проблемы и достижения / Е.Р. Бойко, С.Н. Харин, Д.Н. Шмаков, Е.А. Пшунетлева // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2024. – № 8(74). – С. 56-66.
98. Иорданская, Ф.А. Мобильные технологии в оперативной диагностике оценки адаптации к нагрузкам и срочного восстановления работоспособности в условиях тренировочных мероприятий / Ф.А. Иорданская // Вестник спортивной науки. – 2022. – № 2. – С. 54-63.
99. Иорданская, Ф.А. Ортостатическая устойчивость в вегетативном обеспечении работоспособности высококвалифицированных спортсменов / Ф.А. Иорданская, Е.В. Бучина // Вестник спортивной науки. – 2017. – № 4. – С. 26-34.
100. Исаев, А.П. Системообразующие регуляторные звенья гомеостаза лыжников-гонщиков молодежного состава сборной России по лыжным гонкам на специально-подготовительном этапе подготовки / А.П. Исаев // Человек. Спорт. Медицина. – 2013. – Т. 13. – № 4. – С. 38-47.

101. Исследование влияния физической нагрузки на частотные характеристики дыхательной системы у спортсменов-лыжников / Г.Г. Ерофеев, С.П. Драган, В.В. Петрова [и др.] // Медицинская наука и образование Урала. – 2018. – Т. 19, № 1(93). – С. 96-100.

102. Каменева, М.Ю. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов / М.Ю. Каменева, А.В. Черняк, З.Р. Айсанов [и др.] // Пульмонология. – 2023. – Т. 33, № 3. – С. 307-340. – DOI: 10.18093/08690189-2023-33-3-307-340.

103. Капилевич, Л.В. Миокины как фактор физиологического воспаления / Л. В. Капилевич, А. Н. Захарова, К. Г. Милованова [и др.] // Достижения фундаментальной науки – практической медицине: сб. материалов Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. 50-летию мед.-биол. фак. – Томск: Изд-во СибГМУ, 2025. – С. 100-102.

104. Капилевич, Л.В. Физиология спорта / Л.В. Капилевич – Томск, 2011. – 153 с.

105. Кардиореспираторные предикторы завершения теста с максимальной нагрузкой у высококвалифицированных лыжников-гонщиков / Н.Г. Варламова, Т.П. Логинова, Н.А. Мартынов [и др.] // Спортивная медицина: наука и практика. – 2015. – № 2. – С. 53-60.

106. Кардиореспираторные предикторы, обуславливающие аэробную производительность / В.А. Демидов, А.С. Назаренко, В.В. Демидова и др. // Наука и спорт: современные тенденции. – 2022. – Т. 10, № 2. – С. 6-14. – DOI: 10.36028/2308-8826-2022-10-2-6-14.

107. Карпман, В.Л. Спортивная медицина / В.Л. Карпман. – М.: Физкультура и спорт, 1987. – 304 с.

108. Киперман, Я.В. Физиологические аспекты тромбоцитарной активности у легкоатлетов первого зрелого возраста, регулярно тренировавшихся в юношеском возрасте / Я.В. Киперман, С.Ю. Завалишина, И.Н. Медведев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 486.

109. Киш, А.А. Определение корреляции основных параметров крови у высококвалифицированных спортсменов и их функционального состояния / А.А. Киш, Е.В. Голобородько // Лечебная физическая культура и спортивная медицина: достижения и перспективы развития: Матер. VIII Всерос. Науч.-практ. конф. с международным участием. – Москва: ФГБОУ ВО "ГЦОЛИФК", 2019. – С. 215-223.

110. Кликунова, К.А. Математическое моделирование движения, управляемого мышцами, действующими в противоположных направлениях / К.А. Кликунова, В.П. Трегубов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Физика. Химия. – 2010. – Вып. 3. – С. 106-114.

111. Князев, Ю.А. Международная система единиц СИ (SI) и коэффициенты пересчета (основные лабораторные показатели в эндокринологии) / Ю.А. Князев, В.А. Беспалова // Проблемы Эндокринологии. – 2000. – Т. 46, № 3. – С. 45-48. – DOI: doi.org/10.14341/probl11853.

112. Коломиец, О.И. Особенности метаболических адаптационных изменений при различных физических нагрузках / О.И. Коломиец, Н.П. Петрушкина, Е.В. Быков // Наука. Инновации. Технологии. – 2017. – № 1. – С. 207-216.

113. Колупаев, В.А. Динамика показателей дыхания и кровообращения под влиянием анаэробных, аэробных физических нагрузок и сезонных изменений условий внешней среды / В.А. Колупаев, С.Л. Сашенков, И.И. Долгушин // Теория и практика физической культуры. – 2008. – № 4. – С. 12-16.

114. Колупаев, В.А. Кластерный анализ иммунограммы обучающихся с разным уровнем двигательной активности / В.А. Колупаев, С.Л. Сашенков, Н.В. Котова // Российский иммунологический журнал. – 2025. – Т. 28, № 3. – С. 861-866.

115. Комар, Е.Б. Особенности адаптации сердца легкоатлетов высокой квалификации к нагрузкам различной направленности / Е.Б. Комар, В.Н. Морозов, Л.А. Калинин // Вестник спортивной науки. – 2017. – № 3. – С. 32-35.

116. Комплексный контроль как фактор индивидуализированного управления подготовкой спортивного резерва в ориентировании / В.В. Эрлих, Р.Я. Абзалилов, А.П. Исаев, И.В. Темникова // Человек. Спорт. Медицина. – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 75-86. – DOI: 10.14529/hsm160309.
117. Корягина, Ю.В. Актуальные проблемы физиологии бега на длинные дистанции (анализ исследований зарубежных лабораторий за 2010-2016 г.г.) / Ю.В. Корягина, К.Ю. Симонова // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. – 2016. – № 4(12). – С. 20-25.
118. Корягина, Ю.В. Современные аспекты спортивной подготовки в биатлоне и лыжных гонках (по данным материалов международного научного конгресса "Наука и лыжный спорт: от теории к практике") / Ю.В. Корягина, Н. С. Загурский // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2015. – № 8 (126). – С. 80-87. – DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2015.08.126. p80-87.
119. Коэффициент диффузии кислорода в волокнах скелетных мышц / В.М. Беличенко, В.И. Баранов, С.В. Новосельцев, и др. // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2002. – Т. 36, № 3. – С. 31-38.
120. Краснова, М.Г. Глюконеогенез. Биологическое значение при патологических состояниях / М.Г. Краснова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2020. – № 3. – С. 38-40.
121. Криволапчук, И.А. Особенности факторной структуры функционального состояния детей 9–10 лет / И.А. Криволапчук, М.Б. Чернова // Физиология человека. – 2019. – Т. 45, № 1. – С. 37-48. – DOI: 10.1134/S0131164618050065.
122. Кривошеков, С. Г. Хеморефлекторные механизмы адаптивного реагирования на действие экстремальных факторов / С.Г. Кривошеков, Н.В. Балиоз // Бюллетень сибирской медицины. – 2014. – Т. 13, № 6. – С. 146-154.
123. Крючков, А.С. Методические особенности применения специально-подготовительных упражнений для развития мышечной выносливости у

лыжников и биатлонистов высокого класса / А.С. Крючков, Е.Б. Мякинченко, М. П. Шестаков // Биатлон. – 2019. – С. 48-68.

124. Кудря, О. Н. Особенности периферической гемодинамики спортсменов при адаптации к нагрузкам различной направленности / О. Н. Кудря, М. А. Кирьянова, Л. В. Капилевич // Бюллетень сибирской медицины. – 2012. – № 3. – С. 48-53.

125. Кудря, О.Н. Адаптация сердечно-сосудистой системы спортсменов к нагрузкам разной направленности / О.Н. Кудря, Л.Е. Белова, Л.В. Капилевич // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – № 356. – С. 162-166.

126. Кудря, О.Н. Возрастные аспекты адаптации к физическим нагрузкам разной направленности / О.Н. Кудря. – Омск: СибГУФК, 2018. – 172 с.

127. Кудря, О.Н. К вопросу о регуляции углеводного обмена при мышечной деятельности / О.Н. Кудря // Омский научный вестник. – 2011. – № 1. – С. 213-216.

128. Кузник, Б.И. Клеточные и молекулярные механизмы регуляции системы гемостаза в норме и патологии: монография / Б. И. Кузник. – Чита: Экспресс-издательство, 2010. – 832 с.

129. Кулинский, В.И. Две адаптационные стратегии в неблагоприятных условиях - резистентная и толерантная. Роль гормонов и рецепторов / В.И. Кулинский, И.А. Ольховский // Успехи современной биологии. – 1992. – Вып. 5-6. – С. 697-714.

130. Курзанов, А.Н. Функциональные резервы организма в ракурсе клинической физиологии / А.Н. Курзанов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. – С. 290.

131. Кутукова, Н.А. Холинергическая модуляция секреторной функции тучных клеток / Н.А. Кутукова, А.В. Полевщиков // Иммунология. – 2025. – Т. 46, № 1. – С. 6-15. – DOI: 10.33029/1816-2134-2025-46-1-6-15.

132. Лидов, П.И. Основы организации комплексных научных групп в системе научно-методического и медико-биологического обеспечения подготовки спортивного резерва в субъектах Российской Федерации / П.И. Лидов, Б.А. Поляев, В.А. Курашвили, Б.А. Подливаев, Г.А. Тарасевич, А.Ю. Лапин, Ю.Б. Кулагина // Вестник спортивных инноваций. – 2017. – № 55. – С. 13-31.

133. Лопатина, А.Б. Теоретические аспекты изменения биохимических показателей крови организма спортсменов как показатель адаптационных процессов / А.Б. Лопатина // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2014. – № 2 (31). – С. 117-122. – DOI: 10.14526/00_1111_15.

134. Львовская, Е.И. Состояние процессов липидной пероксидации у женщин 20-39 лет, занимающихся аэробикой / Е.И. Львовская, С.А. Заварухина, Н.М. Григорьева // Теория и практика физической культуры. – 2008. – № 4. – С. 17-21.

135. Макарова, Г. А. Взаимосвязи критериев функционального состояния центральной, автономной нервной и сердечнососудистой систем у высококвалифицированных гребцов на байдарках и каноэ / Г. А. Макарова, С. М. Чернуха, А. А. Карпов // Спортивная медицина и реабилитация: традиции, опыт и инновации: Сб. матер. Всерос. научно-практ. конф. – Краснодар: Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, 2023. – С. 205-209.

136. Макарова, Г.А. Методологические принципы анализа и оценки физиологических критериев функционального состояния организма спортсменов / Г.А. Макарова, М.Л. Игельник, В.В. Бессчастная // Теория и практика физической культуры. – 2007. – № 10. – С. 50-53.

137. Максимов, А.Л. Особенности гемодинамики и вариабельности сердечного ритма у юношей-европеоидов при проведении активной ортостатической пробы. Сообщение 1 / А.Л. Максимов, И.В. Аверьянова //

Экология человека. – 2021. – № 1. – С. 22–31. – DOI: 10.33396/1728-0869-2021-1-22-31.

138. Малеев, Д.О. Формирование адаптоспособности лыжников-гонщиков в условиях интегративного тренировочного процесса / Д.О. Малеев // Вестник Томского государственного университета. – 2021. – № 463. – С. 156-161. – DOI: 10.17223/15617793/463/20.

139. Мареев, В.Ю. Диагностика и лечение хронической сердечной недостаточности / В.Ю. Мареев, Ф.Т. Агеев, Г.П. Арутюнов // Сердечная Недостаточность. – 2007. – Т. 8, № 2. – С. 16.

140. Марков, А.Л. Влияние метеорологических параметров на вегетативную регуляцию ритма сердца у жителей европейского севера: индивидуальный контроль / А.Л. Марков, Ю.Г. Солонин, Е.Р. Бойко // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. – 2018. – № 1. – С. 21-29.

141. Мартиросов, Э.Г. Состав тела человека: основные понятия, модели и методы / Э.Г. Мартиросов, С.Г. Руднев // Теория и практика физической культуры. – 2007. – № 1. – С. 63-69.

142. Марцинкевич, А.Ф. Функциональные особенности мембран эритроцитов у спортсменов циклических видов спорта / А. Ф. Марцинкевич // Здоровье для всех. – 2022. – № 1. – С. 1-14.

143. Машин, В.А. Методические вопросы использования факторного анализа на примере спектральных показателей сердечного ритма / В.А. Машин // Экспериментальная психология. – 2010. – Т. 3, № 4. – С. 119-138.

144. Меерсон, Ф.З. Адаптация к стрессорным ситуациям и стресслимитирующие системы организма // Физиология адаптационных процессов. – 1986. – Т. 10. – С. 521.

145. Меерсон, Ф.З. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам / Ф.З. Меерсон, М.Г. Пшенникова. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.

146. Мельников, А.А. Реологические свойства крови у спортсменов: монография / А.А. Мельников, А.Д. Викулов. – Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2008. – 491 с.
147. Методологический подход к оценке функциональных резервов спортсменов циклических видов спорта / С.М. Разинкин, А.С. Самойлов, П.А. Фомкин, В.В. Петрова, А.А. Киш, И.А. Артамонова // Спортивная медицина: наука и практика. – 2016. – № 1. – С. 26-34.
148. Методология комплексной оценки адаптационного потенциала спортсмена к нагрузке / А.А. Спасский, М.А. Мягкова, А.И. Левашова [и др.] // Спортивная медицина: наука и практика. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 49-61. – DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.3.49.
149. Мещерякова, О.В. Митохондриальный лактат-окисляющий комплекс и его значение для поддержания энергетического гомеостаза клеток (Обзор) / О.В. Мещерякова, М.В. Чурова, Н.Н. Немова // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Том I. Экологическая физиология и биохимия водных организмов: сборник научных статей. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. – С. 163-172.
150. Минвалеев, Р.С. Кортизол и тестостерон в спортивной деятельности: эффекты и управление / Р.С. Минвалеев // Физическая культура и спорт в системе образования России: инновации и перспективы развития: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург: ООО "Золотое Сечение", 2015. – С. 185-188.
151. Мохан, Р. Биохимия мышечной деятельности и физической тренировки: пер. с англ. / Р. Мохан, М. Глессон, П.Л. Гринхафф. – Киев: Олимп. лит., 2001. – 294 с.
152. Мулик В.В. Сравнительная характеристика средств специальной подготовки лыжников-гонщиков и биатлонистов, используемых в подготовительном периоде / В.В. Мулик // Физическое воспитание студентов творческих специальностей. – 2003. – Т. 3. – С. 49-57.

153. Мухамбет, Ж.С. Генетический портрет лыжников и биатлонистов / Ж. С. Мухамбет // Материалы Всероссийского конкурса студенческих научно-исследовательских работ «Студент–исследователь» (6 апреля 2017 года). – Казань: Поволжская ГАФКСиТ, 2017. – С. 399-402.
154. Мякотных, В.В. О трансформации мышечных волокон в процессе спортивной тренировки / В.В. Мякотных // Вестник спортивной науки. – 2019. – № 2. – С. 14-20.
155. Наточин, Ю.В. Гомеостаз // Успехи физиологических наук. – 2017. – Т. 48, № 4. – С. 3-15.
156. Неёлова, О.В. Буферные системы и их роль в жизнедеятельности организма / О.В. Неёлова, А.А. Мсоева // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3-3. – С. 464-465.
157. Нетреба, А.И. Креатин как метаболический модулятор структуры и функции скелетных мышц при силовой тренировке у человека: эрогенные и метаболические эффекты / А.И. Нетреба, Б.С. Шенкман, Д.В. Попов, А.Б. Вдовина, В.П. Хотченков, Т.Н. Стеханова, О.Л. Виноградова // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2006. – Т. 92. – № 1 – С. 113 - 122.
158. Никотиновые ацетилхолиновые рецепторы человека. Часть II: Нейрональная холинергическая система / М.А. Шулепко, М.Л. Бычков, Д.С. Кульбацкий, Е.Н. Люкманова // Биоорганическая химия. – 2019. – Т. 45, № 3. – С. 227-237. – DOI 10.1134/S0132342319020131.
159. Никулин, Б.А. Биохимический контроль в спорте: монография / Б.А. Никулин, И. И. Родионова. – Москва: Советский спорт, 2011. – 232 с.
160. Новикова, Н.Б. Оценка эффективности попеременного двухшажного классического хода на дистанциях лыжного спринта / Н.Б. Новикова, Е. К. Захарова // Царскосельские чтения. – 2011. – Т. 15, № 1. – С. 395-398.

161. Нормативно-методические справочные материалы // Информационный вестник здравоохранения Самарской области. – 2018. – № 1. – 81 с.
162. Об особенностях ортостатической реакции у спортсменов с разными типами вегетативной регуляции / Н.И. Шлык, Е.Н. Сапожникова, Т.Г. Кириллова, А.П. Жужгов // Вестник Удмуртского университета. – 2012. – Вып. 1. – С. 114-125.
163. Об утверждении Концепции предиктивной, превентивной и персонализированной медицины: приказ Минздрава России от 24 апр. 2018 г. № 186 // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 05.09.2024). – Режим доступа: Гарант или КонсультантПлюс.
164. Обоснование показателей функциональной готовности в спорте высших достижений / С.М. Разинкин, В.В. Петрова, П.А. Шулепов, М.А. Брагин // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2019. – Т. 96, № 2-2. – С. 141-142.
165. Определение референтных интервалов биохимических показателей крови с учетом вида спорта при выполнении тренировочных нагрузок различной направленности / И.Л. Гилеп, А.Н. Будко, С.О. Гаврилова, Н.В. Кочерина, Н.В. Шведова // Прикладная спортивная наука. – 2021. – 01.03.2021.
166. Определение референтных интервалов биохимических показателей крови с учетом вида спорта при выполнении тренировочных нагрузок различной направленности / И.Л. Гилеп, А.Н. Будко, С.О. Гаврилова, Н.В. Кочерина, Н.В. Шведова // Прикладная спортивная наука. – 2021. – № 1(13). – С. 28-36.
167. Особенности вариабельности ритма сердца и вегетативной реактивности на функциональные пробы у высококвалифицированных спортсменов / О.В. Калабин, Ф.Б. Литвин, Л.В. Масальцева и др. // Человек. Спорт. Медицина. – 2025. – Т. 25, № S2. – С.13-22. DOI: 10.14529/hsm25s202.

168. Особенности методики развития специальной выносливости у лыжниц-гонщиц в подготовительный период / И.Ф. Черкасов, С.А. Ярушин, В.З. Смирнова, С.А. Айткулов // Вестник Челябинского государственного университета. – 2014. – № 13 (342). Образование и здравоохранение. Вып. 4. – С. 83-86.

169. Особенности показателей периферической крови в зависимости от уровня спортивной квалификации спортсменов / С.Л. Сашенков, О.В. Журило, И.Ю. Мельников [и др.] // Российский иммунологический журнал. – 2017. – Т. 11, № 3(20). – С. 496-498.

170. Особенности реакции артериального давления на физическую нагрузку у представителей различных видов спорта / Ф.А. Мавлиев, А.С. Назаренко, Р.Ф. Асманов, А.Ф. Сиразетдинов, А.В. Мاستров // Наука и спорт: современные тенденции. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 62-68. – DOI: 10.36028/2308-8826-2020-8-1-62-68.

171. Особенности эффективной долговременной адаптации и регуляции метаболического состояния лыжников-гонщиков / А.С. Бахарева, А.П. Исаев, В.В. Эрлих, А.С. Аминов // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2016. – № 3. – С. 4-10.

172. Особенности эффективной долговременной адаптации и регуляции метаболического состояния лыжников-гонщиков / А.С. Бахарева, А.П. Исаев, В.В. Эрлих, А.С. Аминов // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2016. – № 3. – С. 4-10. – DOI: 10.15561/18189172.2016.0301.

173. Оценка и интерпретация биохимических показателей высококвалифицированных спортсменов в ходе тренировочно-спортивной деятельности / А.С. Самойлов, С.М. Разинкин, Е.В. Голобородько [и др.]; под ред. проф. В.В. Уйба. – М.: ФМБА России, 2018. – 40 с.

174. Оценка некоторых биохимических показателей крови футболистов в соревновательном периоде спортивной подготовки / Д.Б. Никитюк, Р.М.

Раджабкадиев, С.Х. Сото и др. // Медико-биологические проблемы спорта. – Москва, 2026. – С. 48-52.

175. Оценка показателей variability сердечного ритма у спортсменов циклических видов спорта / В.В. Петрова, С.М. Разинкин, А.С. Самойлов, П.А. Фомкин, И.А. Артамонова, А.И. Крынцилов, Ю.Н. Семенов, Р.Р. Кленков // Спортивная медицина: наука и практика. – 2015. – № 4. – С. 46-55.

176. Оценка физической работоспособности у высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта / Е.В. Голобородько, С.М. Разинкин, А.С. Самойлов, В.В. Петрова, П.А. Шулепов, А.А. Киш // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2018. – № 2-2. – С. 42-43.

177. Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы юных спортсменов при ортостатическом воздействии / Т.В. Яцечко, С.В. Стрельникова, Н.И. Пантелеева, И.М. Рощевская // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2010. – № 6. – С. 41-44.

178. Оценка функциональной надежности спортсменов по показателям обменных процессов организма / Р.С. Рахманов, С.А. Разгулин, Т.В. Блинова [и др.] // Вестник спортивной науки. – 2018. – № 1. – С. 44-48.

179. Павлов, С.Е. Законы адаптации / С.Е. Павлов, Т.Н. Павлова // Медико-биологические и педагогические основы адаптации, спортивной деятельности и здорового образа жизни: сборник научных статей II Всероссийской заочной научно-практической конференции с международным участием (25 апреля 2013 г.) – Том I / [под. ред. Г. В. Бугаева, И. Е. Поповой]. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2013. – С. 85-89.

180. Панин, Л.Е. Системные представления о гомеостазе // Бюллетень СО РАМН. – 2007. – № 5 (127). – С. 10-16.

181. Параметры функциональной подготовленности, сопряженные с высокой физической работоспособностью у спортсменов циклических видов

спорта / О.В. Балберова, Е.В. Быков, А.В. Чипышев, Е.Г. Сидоркина // Современные вопросы биомедицины. – 2020. – Т. 4. – № 3(12). – С. 5-14.

182. Пат. RU 2481785 С2 Российская Федерация. Способ определения минутного объема крови (МОК) и общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС) / В. А. Пестряев, С. В. Кинжалова, Р. А. Макаров; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО УГМА Минздравсоцразвития России. – № 2011128217/14; заявл. 07.07.2011; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 14.

183. Петеркова, В.А. Оценка физического развития детей и подростков. Нормативно-методические и справочные материалы / В.А. Петеркова, Е.В. Нагаева, Т.Ю. Ширяева // Ежемесячное приложение к журналу «Информационный вестник здравоохранения Самарской области». – 2018. – Т. 194, № 1. – С. 1-75.

184. Пилотное исследование показателя доступности энергии биатлонисток национальной сборной команды / А.Ю. Людина, Е.А. Бушманова, А.Д. Филиппов [Приложениеи др.] // Современная система спортивной подготовки в биатлоне: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции (23–24 апреля 2024 г.) / под общ. ред. Н.С. Загурского. – Омск: СибГУФК, 2024. – С. 64-66.

185. Платонов, В.Н. Теории адаптации и функциональных систем в развитии системы знаний в области подготовки спортсменов / В. Платонов // Наука в олимпийском спорте. – 2017. – № 1. – С. 29-47.

186. Плохой, В.Н. Подготовка юных лыжников-гонщиков и ее особенности в биатлоне, двоеборье и роллерах: научно-методическое пособие / В.Н. Плохой – 2-е изд., испр. и дополн. – М.: Спорт, 2018. – 278 с.

187. Погодина, С.В. Адаптация и функциональное состояние высококвалифицированных спортсменов в возрастном и половом аспектах / С. В. Погодина, Г. Д. Алексанянц // Теория и практика физической культуры. – 2017. – № 10. – С. 72-74.

188. Показатели физической подготовленности лыжников и биатлонистов высокого класса / П.Е. Мякинченко, Н.В. Адодин, С.С. Мисина

[и др.] // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2022. – № 2(40). – С. 37-44.

189. Полифункциональная и метаболическая оценка организма лыжников-гонщиков высокой и высшей квалификации – участников чемпионата России / А.П. Исаев, А.А. Кравченко, В.В. Эрлих, С.А. Комельков, Ю.Б. Хусаинова, Н.И. Острецов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. – 2012. – № 28. – С. 27-32.

190. Попов, Д.В. Аэробная работоспособность: роль доставки кислорода, его утилизации и активации гликолиза / Д.В. Попов, О.Л. Виноградова // Успехи физиологических наук. – 2012. – Т. 43, № 1. – С. 30-47.

191. Попов, Д.В. Молекулярные механизмы адаптации скелетной мышцы к аэробным нагрузкам различной интенсивности и длительности // Материалы Всероссийской научно-практической конференции по вопросам спортивной науки в детско-юношеском спорте и спорте высших достижений (30 ноября – 2 декабря 2016 г., г. Москва). – М.: ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента физической культуры и спорта г. Москвы, 2016. – С. 824-826.

192. Попов, Д.В. Физиологические основы оценки аэробных возможностей и подбора тренировочных нагрузок в лыжном спорте и биатлоне / Д.В. Попов, А. А. Грушин, О. Л. Виноградова. – М.: Советский спорт, 2014. – 78 с.

193. Попова, И.Е. Функциональные особенности эндокринной системы квалифицированных спортсменов / И. Е. Попова // Физическая культура, спорт и здоровье в современном обществе: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Воронеж, 07–08 октября 2021 года / Воронежский государственный институт физической культуры. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2021. – С. 486-492.

194. Потолицына, Н.Н. Сравнительный анализ уровня метаболитов и кортизола у лыжников-гонщиков после соревнований: от спринта до марафона /

Н.Н. Потолицына, Е.Р. Бойко, А.В. Нутрихин // Вестник спортивной науки. – 2016. – № 5. – С. 36-40.

195. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 24 апреля 2018 г. № 186 «Об утверждении Концепции предиктивной, превентивной и персонализированной медицины».

196. Прогноз физической работоспособности при нагрузочном тестировании / А.Л. Похачевский, Ю.М. Рекша, А.А. Жарких, Ф.Р. Гаджимурадов [и др.] // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2015. – № 12 (130). – С. 165-168.

197. Программы адаптации в профессиональном спорте и принципы их коррекции (обзор литературы) / Э.М. Наумова, О.Н. Борисова, Е.А. Беляева, Е.Е. Атлас // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, № 2. – С. 240-249. – DOI: 10.12737/20453.

198. Проскурина, С.Е. Исследование специфичности ингибирования, опосредованного глутаматом и глицином, для различных молекулярных форм ацетилхолинэстеразы в нервно-мышечных синапсах млекопитающих / С.Е. Проскурина, К.А. Петрова, А.Д. Харламова и др. // Рецепторы и внутриклеточная организация: сб. ст. / под ред. В.П. Зинченко, А.В. Бережнова. – 2015. – С. 400-404.

199. Пучинский, Г.В. Особенности порога анаэробного обмена и максимального потребления кислорода у спортсменов в плавании и лыжном спорте / Г.В. Пучинский, А.Е. Чиков // Физическая культура и спорт в современном мире: проблемы и решения. – 2014. – №1. – С. 15-118.

200. Разработка автоматизированных систем диагностики и анализа различных компонентов подготовленности спортсмена / Ю.В. Корягина, С.В. Нопин, В.А. Блинов, О.А. Блинов // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 8. – С. 101-104.

201. Роговцев, В.В. Особенности максимальной анаэробной производительности представителей конькобежного спорта / В.В. Роговцев, Н.А. Парамонова, М.К. Борщ // Мир спорта. – 2024. – № 3(96). – С. 13-17.

202. Розенфельд, А.С. Ацидоз – доминирующий фактор в ограничении мышечной активности / А.С. Розенфельд, К.А. Рямова // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2015. – № 10 (128). – С. 162-167. – DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2015.10.128.p162-167.

203. Розенфельд, А.С. Возможные подходы к поддержанию рН при АТФ-азных нагрузках с помощью экзогенных субстратов энергетического обмена / А.С. Розенфельд // Человек. Спорт. Медицина. – 2007. – №. 2 (74). – С. 38-43.

204. Рослый, И. М. Ферментемия – адаптивный механизм или маркер цитолиза? / И.М. Рослый, С.В. Абрамов, В.И. Покровский // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2002. – № 8. – С. 3-8.

205. Руль, Е.А. Влияние транскраниальной электростимуляции на гормональный статус лыжников-гонщиков / Е. А. Руль, О. Н. Кудря, О. В. Леонов // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 4. – DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_04_13.

206. Рыбина, И.Л. Определение диагностической информативности биохимических показателей, наиболее актуальных для спортивной практики / И.Л. Рыбина, Е.А. Ширковец // Вестник спортивной науки. – 2013. – С. 31-35.

207. Рылова, Н.В. Уровень максимального потребления кислорода как показатель работоспособности спортсменов, специализирующихся в различных видах спорта / Н.В. Рылова, А.А. Биктимирова, А. С. Назаренко // Практическая медицина. – 2014. – № 9(85). – С. 147-150.

208. Салова, Ю.П. Морфологическая характеристика лыжников 18-20 лет / Ю.П. Салова, М.С. Рожков // Наука и спорт: современные тенденции. – 2016. – Т. 15, № 1-2. – С. 489-491. – DOI: 10.17117/na.2016.01.02.489.

209. Самсонова, А.В. Методы оценки композиции мышечных волокон в скелетных мышцах человека / А.В. Самсонова, И.Э. Барникова, М.А. Борисевич, А.В. Вахнин // Труды кафедры биомеханики НГУ им. П.Ф. Лесгафта. – Вып. 6. – СПб, 2012. – С. 18-27.

210. Сашенков, С.А. Состояние систем транспорта кислорода, особенности иммунного статуса и вероятность развития респираторных инфекций у спортсменов с аэробной и анаэробной направленностью тренировочного процесса: диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / С. Л. Сашенков. – Челябинск, 1999. – 272 с.

211. Сашенков, С.Л. Влияние различных фармакологических препаратов на поверхностный заряд мембран эритроцитов / С.Л. Сашенков, Л.В. Алачева, Н.В. Тишевская // Человек. Спорт. Медицина. – 2011. – Т. 7, № 224. – С. 101-104.

212. Сашенков, С.Л. Факторный анализ показателей иммунитета у спортсменов с анаэробным или аэробным энергообеспечением мышечной деятельности / С.Л. Сашенков, И.Ю. Мельников, В.А. Колупаев // Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды: материалы VII Международной научно-практической конференции, Челябинск, 11–13 октября 2018 года / Под ред. Д.З. Шибковой, П.А. Байгужина. – Челябинск: Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, 2018. – С. 363-367.

213. Сашенков, С.Л. Факторный анализ показателей иммунитета у спортсменов с анаэробным или аэробным энергообеспечением мышечной деятельности / С.Л. Сашенков, И.Ю. Мельников, В.А. Колупаев // Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Челябинск, 11–13 окт. 2018 г. / под ред. Д. З. Шибковой, П. А. Байгужина. – Челябинск: Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, 2018. – С. 363-367.

214. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624274 Российская Федерация. Интегрально-математические параметры гуморального и клеточного звена иммунитета профессиональных спортсменов: № 2024624085: заявл. 30.09.2024: опубл. 11.10.2024 / А. А. Чернова, О. Н. Якименко, С. В. Верещагина [и др.]; заявитель Федеральное государственное

бюджетное учреждение «Федеральный Сибирский научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства».

215. Свободный тестостерон как маркер адаптации к нагрузкам средней интенсивности / М.Ю. Шкурников, АЕ. Донников, Е. Б. Акимов, Д.А. Сахаров, А.Г. Тоневицкий // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2008. – Т. 146, № 9. – С. 330-332.

216. Сегизбаева, М.О. Адаптационные изменения функции внешнего дыхания у спортсменов различных специализаций / М.О. Сегизбаева, Н.П. Александрова // Физиология человека. – 2021. – Т. 47, № 5. – С. 87-94. – DOI: 10.31857/S0131164621050106.

217. Сегизбаева, М.О. Влияние силовых и аэробных тренировок на функцию внешнего дыхания и силу респираторных мышц спортсменов / М.О. Сегизбаева // Интегративная физиология. – 2021. – Т. 2, № 2. – С. 165-172. – DOI: 10.33910/2687-1270-2021-2-2-165-172.

218. «Секреты» норвежских лыжников / Е.Б. Мякинченко, А.С. Крючков, М.В. Волков [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2017. – № 1. – С. 78–82.

219. Селуянов, В.Н. Подготовка бегуна на средние дистанции / В.Н. Селуянов. – М.: СпортАкадемПресс, 2001. – 104 с.

220. Сиротин, А.Б. Особенности морфологии сердца мужчин с различным уровнем двигательной активности / А.Б. Сиротин, Л.М. Белозерова, Г.М. Щепина // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2010. – № 3 (75). – С. 21-24.

221. Системно-синергетические подходы в интеграции теории адаптации и индивидуализации спортивной подготовки в циклических видах спорта, развивающих выносливость / А.П. Исаев, В.В. Эрлих, А.С. Аминов, А.В. Ненашева, А.А. Хуссейн // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование, здравоохранение, физическая культура». – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 20-32.

222. Системообразующие регуляторные звенья гомеостаза лыжников-гонщиков молодежного состава сборной России по лыжным гонкам на

специально-подготовительном этапе подготовки / А.П. Исаев, ВВ. Эрлих, А. А. Кравченко, С.А. Комельков [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. – 2013. – Т. 13, № 4. – С. 38-47.

223. Скорость оседания эритроцитов как надежный маркер текущего функционального состояния спортсменов и степени их тренированности / А.Д. Викулов, В.А. Маргазин, Д.В. Каунина, В.Л. Бойков // Спортивная медицина: наука и практика. – 2014. – № 2. – С. 20-24.

224. Скрытые нарушения метаболизма у высококвалифицированных спортсменов / Ж.В. Гришина, Г.А. Макарова, С.А. Базанович и [др.] // Спортивная медицина: наука и практика. – 2020. – Т.10. – № 4. – С.64-75.

225. Смоленский, А.В. Морфофункциональные отличия юных гребцов с повышенным уровнем артериального давления / А.В. Смоленский, С.Ю. Золичева, А.В. Михайлова, К.А. Камаев, Л.И. Колбая // Физиология человека. – 2010. – Т. 36, № 4. – С. 107-110.

226. Солодков, А.С. Физическая работоспособность спортсменов и общие принципы ее коррекции. (Часть 2) / А.С. Солодков // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – СПб., 2014. – № 4 (110). – С. 151-158.

227. Солодков, А.С. Физическая работоспособность спортсменов и общие принципы её коррекции (часть 2) / А.С. Солодков. // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – СПб., 2014. – №4 (110). – С. 151-158.

228. Солопов, И.Н. Физиологические эффекты методов направленного воздействия на дыхательную функцию человека. Монография. Волгоград.: ВГАФК, 2004. – 220 с.

229. Сонькин, В.Д. Проблема оценки физической работоспособности / В.Д. Сонькин // Вестник спортивной науки. – 2010. – №. 2. – С. 37.

230. Сонькин, В.Д. Разобщенное тканевое дыхание при мышечной работе: потеря эффективности или гомеостатическая выгода? / В.Д. Сонькин // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2016. – №4. – С. 63-64.

231. Сорин, Е.В. Особенности подготовки молодежного состава сборной команды по лыжным гонкам // Материалы V Всероссийской научно-

практической конференции "Тренеры по лыжным гонкам «Актуальные вопросы подготовки лыжников-гонщиков высокой квалификации», 2020 г., г. Сочи / Под ред. В.В. Ермакова, А.В. Гурского. – Смоленск: СГАФКСТ, 2020. – С. 208-218.

232. Сорокин, С.Г. Функциональные показатели, влияющие на рост спортивного мастерства квалифицированных лыжников-гонщиков / С.Г. Сорокин // Омский научный вестник. – 2014. – № 1. – С. 171-174.

233. Состояние центральной гемодинамики и вариабельности сердечного ритма у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса / А.Ю. Мальцев, А.А. Мельников, А.Д. Викулов, К.С. Громова // Физиология человека. – 2010. – Т. 36, № 1. – С. 112-118.

234. Спасский, А.А. Методология комплексной оценки адаптационного потенциала спортсмена к нагрузке / А.А. Спасский, М.А. Мягкова, А.И. Левашова и др. // Спортивная медицина: наука и практика. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 49-61. – DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.3.49.

235. Специальная работоспособность лыжников-гонщиков: современные тенденции (по материалам зарубежной литературы) / В.И. Михалев, Ю.В. Корягина, О.С. Антипова, В.А. Аикин, Е.М. Сухинин // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2015. – № 4 (122). – С. 139-144.

236. Спортивная биохимия с основами спортивной фармакологии: учебное пособие / Л. В. Капилевич, Е. Ю. Дьякова, Е. В. Кошельская, В. И. Андреев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 152 с.

237. Сравнение физической и аэробной работоспособности у биатлонистов и лыжников-гонщиков / Ю.Г. Солонин, И.О. Гранов, Т.П. Логинова, А.Л. Марков // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. – 2022. – № 1(65). – С. 39-49.

238. Сравнительная эффективность гипоксии, гиперкапнии и гиперкапнической гипоксии в увеличении резистентности организма к острой гипоксии в эксперименте / В.П. Куликов, П.П. Трегуб, А.Г. Беспалов, А.Ю.

Введенский // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2013. – Т. 57, № 3. – С. 59-61.

239. Сравнительный анализ вариабельности ритма сердца и реакции на пробу с регулируемым ритмом дыхания у высококвалифицированных спортсменов с разными типами энергообеспечения / О.В. Калабин, Ф.Б. Литвин, С.А. Молчанов [и др.] // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 1(31). – DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_8.

240. Средние молекулы и продукты перекисного окисления липидов как система окисления неспецифических регуляторов гемодинамики у спортсменов-лыжников / И.А. Волчегорский, Д.А. Дятлов, Л.М. Куликов [и др.] // Физиология человека. – 1996. – Т. 22, № 6. – С. 106-110.

241. Средние молекулы» и продукты перекисного окисления липидов как система окисления неспецифических регуляторов гемодинамики у спортсменов-лыжников / И.А. Волчегорский, Д.А. Дятлов, Л.М. Куликов [и др.] // Физиология человека. – 1996. – Т. 22, № 6. – С. 106-110.

242. Степанова Е.М. Некоторые биохимические показатели крови высококвалифицированных спортсменов г. Магадана / Е.М. Степанова, Е.А. Луговая // Человек. Спорт. Медицина. – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 44-50. – DOI: 10.14529/hsm220405.

243. 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. – DOI: 10.24884/1682-6655-2021-20-1-84-90.

244. Структурный гомеостаз / Б.Г. Юшков, В.Г. Климин, А.Е. Ткаченко, Е.А. Дугина. – М.: ООО «Комментарий», 2019. – 200 с.

245. Судаков, К.В. Развитие теории функциональных систем в научной школе П.К. Анохина / К.В. Судаков // Вестник Международной академии наук. Русская секция: электронное периодическое издание. – 2011. – № 1. – С. 1-5.

246. Суслов, Ф.П. О структуре (периодизации) годичного цикла подготовки и спортивной формы в современном спорте / Ф.П. Суслов // Теория и практика физической культуры. – 2010. – № 4. – С. 11-15.

247. Суточное мониторирование артериального давления при гипертонии (Методические вопросы) / А.Н. Рогоза, В.П. Никольский, Е.В. Ощепкова, О.Н. Епифанова, Н.К. Рунихина, В.В. Дмитриев; под ред. Г.Г. Арабидзе, О.Ю. Атькова. – Москва: Российский кардиологический научно-производственный комплекс МЗ РФ, 1997. – 36 с.

248. Текучесть крови при физических нагрузках разного вида / М.Е. Григорьева, С.М. Сороколетов, А.В. Коробовский, Л.А. Ляпина // Спортивная медицина: наука и практика. – 2022. – Т.12. – №4. – С.45-58. – DOI: 10.47529/2223-2524.2022.4.3.

249. Тигранян, Р.А. Стресс и его значение для организма / Р.А. Тигранян. – М.: Наука, 1988. – 172 с.

250. Трегуб, П.П. Механизмы нейропротекторного эффекта сочетанного воздействия гипоксии и гиперкапнии / П.П. Трегуб, В.П. Куликов, Н.А. Малиновская // Сибирское медицинское обозрение. – 2018. – № 3 (111). – С. 5-13. DOI: 10.20333/2500136-2018-3-5-13.

251. Трушина, Э.Н. Об эффективности применения лейкоцитарных индексов в диагностике иммунных нарушений у спортсменов (обзор литературы) / Э.Н. Трушина, О.К. Мустафина // Человек. Спорт. Медицина. – 2023. – Т. 23. – № 4. – С.40-46. – DOI: 10.14529/hsm230405.

252. Тхоревский, В.И. Взаимосвязь между потреблением O_2 и кровоснабжением сокращающихся мышц при работе разной мощности у лиц, тренирующих аэробную выносливость / В.И. Тхоревский, А.Л. Литвак // Теория и практика физической культуры. – 2006. – № 4. – С. 49-54.

253. Тюпаев, И.М. Концентрация глюкозы и лактата в крови спортсменов различных специализаций / И.М. Тюпаев, Л.Т. Кошкарев, А.А. Челноков // Теория и практика физической культуры. – 2010. – № 6. – С. 54-56.

254. Уткин, В.Л. Влияние однократных и систематически повторяющихся физических нагрузок на порог анаэробного обмена / В.Л. Уткин, В.В. Зайцева, Н.А. Коганова // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1983. – Т. 96. – С. 11.

255. Федотова, И.В. Особенности предпатологических и патологических диагностических критериев состояния миокарда бывших и действующих спортсменов / И.В. Федотова, И.С. Таможникова // General question of world science: сборник научных трудов. – 2017. – С. 64-69.

256. Феофилактов, В.В. Физическая подготовленность и развитие верхних конечностей у лыжников-гонщиков высокой квалификации в различные возрастные периоды / В.В. Феофилактов, Е.Б. Мякинченко, И.А. Артамонова // Вестник спортивной науки номер. – 2015. – №2. – С.12-17.

257. Физиологическая работоспособность в системе оценки эффективности технологий спортивной медицины / А.А. Киш, Е.В. Голобородько, С.М. Разинкин, А.М. Комлев // Вестник восстановительной медицины. – 2021. – Т. 20. – №6. – С. 119-125. – DOI: 10.38025/2078-1962-2021-20-6-119-125.

258. Физиологические маркеры скорости сокращения и расслабления мышечного волокна I типа лыжников-гонщиков / А.С. Бахарева, А.П. Исаев, Д.О. Малеев, А.С. Аминов // Человек. Спорт. Медицина. – 2017. – Т. 17, № S. – С. 25-31. – DOI: 10.14529/hsm17s03.

259. Физиологические основы функциональной подготовки спортсменов / И.Н. Солопов, Е.П. Горбанёва, В.В. Чёмов, А.А. Шамардин, Д.В. Медведев, А.Г. Камчатников. – Монография. – Волгоград: ВГАФК, 2010. – 351 с.

260. Физиологические особенности легочной вентиляции у высокотренированных спортсменов различной специализации (случай из практики) / Н.А. Фудин, С.С. Перцов, И.В. Алексеева, А.Ю. Абрамова // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2024. – Т. 18, № 5. – С. 143-146. – DOI: 10.24412/2075-4094-2024-5-3-8.

261. Физиология человека с основами патофизиологии: в 2 т. Т. 2 / под ред. Р. Ф. Шмидта, Ф. Ланга, М. Хекманна; пер. с нем. под ред. М. А. Каменской [и др.]. – М.: Лаборатория знаний, 2019. – 494 с.: ил. – ISBN 978-5-906828-32-3 (Т. 2).

262. Физиолого-биохимические механизмы обеспечения спортивной деятельности зимних циклических видов спорта / Отв.ред. Е.Р.Бойко. – Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2019. – 256 с.

263. Фокина, Е.Г. Биохимический паспорт человека – метод комплексной оценки состояния обмена веществ / Е.Г. Фокина, И.М. Рослый // Спортивная медицина: наука и практика. – 2015. – № 2. – С. 13-23.

264. Фомин, Н.А. Адаптация: общебиологические и психофизиологические основы / Н.А. Фомин. – Москва: Теория и практика физической культуры, 2003.

265. Фомин, Н.А. Морфофункциональные предпосылки возрастных изменений кардио и гемодинамики при занятиях спортом / Н.А. Фомин, А.Н. Фомин, Н.Н. Дятлова // Теория и практика физической культуры. – 2002. – № 2. – С. 21-25.

266. Фомич, А.Н. Типы ортостатических реакций частоты сердечных сокращений и их клиническое значение / А.Н. Фомич // Вестник Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина. Серия «Медицина». – 2010. – № 20 (918). – С. 88-97.

267. Фудин, Н.А. Дыхание и газообмен у лиц различного вида локомоторной деятельности и уровня тренированности (краткое сообщение) / Н.А. Фудин, С.В. Чернышев // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 2. – С. 127-129.

268. Фудин, Н.А. Кардиореспираторные предикторы спортивной работоспособности / Н.А. Фудин, В.И. Петров, М.С. Иванова. – Москва: Спорт, 2015. – 180 с.

269. Фудин, Н.А. Физиологическая целесообразность гиповентиляционных тренировок и спортивная работоспособность / Н.А.

Фудин, А.А. Хадарцев, В.А. Бадтиева. Монография под ред. акад. РАН А.Н. Разумова. – Москва: Изд-во «Спорт», 2023. – 296 с.

270. Фудин, Н.А. Функциональная самоорганизация тренировочной деятельности спортсменов как основа их спортивной результативности / Н.А. Фудин, С.Я. Классина // Вестник новых медицинских технологий. – 2013. – № 1.

271. Функциональная подготовленность спортсменов с разной спецификой тренировочного процесса на разных этапах подготовки: методические рекомендации / сост. Е.В. Быков, О.В. Балберова, О.И. Коломиец, Е.В. Леконцев, Е.Г. Сидоркина, А.В. Чипышев, И.Н. Орешкина. – Челябинск: УралГУФК, 2019. – 72 с.

272. Функциональное состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем спортсменов видов спорта на выносливость (на примере лыжных гонок) / В.С. Нопина, О.Н. Акимкина, А.С. Нопин, В.В. Корнева // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 3. – DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_29.

273. Функция внешнего дыхания у спортсменов, занимающихся лыжными гонками и конькобежным спортом /А.В. Черняк, Г.В. Неклюдова, Ж.К. Науменко, Т.Л. Пашкова // Пульмонология. – 2019. – Т.29. – №1. – 62–69. – DOI: 10.18093/0869-0189-2019-29-1-62-69.

274. Хорькова, А.С. Некоторые физиологические изменения в организме при плавании и его оздоровительное значение / А.С. Хорькова, В.О. Адилев // Вестник Югорского государственного университета. – 2016. – Выпуск 1 (40). – С.209-212.

275. Хочачка, П. Биохимическая адаптация / П. Хочачка, Дж. Сомеро. – М.: Мир, 1988. – 568 с.

276. Цейликман, В.Э. Чувствительность к адреномиметикам и содержание окислительно-модифицированных белков во внутренних органах со сниженной устойчивостью к гипоксии / В.Э. Цейликман, А.И. Сеницкий,

А.Б. Горностаева, Е.А. Лавин, И.А. Лаптева, Л.И. Крупицкая, А.Л. Цытович // Вятский медицинский вестник. – 2007. – № 4. – С. 167-168.

277. Циркин, В.И. Холин- и моноаминергические трансмиссерные системы в норме и патологии: [монография] / В.И. Циркин, А.Н. Трухин, С.И. Трухина. – Киров: Вятский государственный университет, 2020. – 296 с.

278. Черешнев, В.А. К вопросу теории нейроиммунноэндокринной системы / В.А. Черешнев, Б.Г. Юшков // Российский иммунологический журнал. – 2026. – Т. 29, № 1. – С. 9-34. – DOI 10.46235/1028-7221-17074-ТТИ.

279. Чеснокова, Н.П. Лекция 13 Молекулярно-клеточные механизмы цитотоксического действия гипоксии / Н.П. Чеснокова, Е.В. Понукалина, М.Н. Бизенкова // Научное обозрение. Медицинские науки. – 2017. – № 2. – С. 60-63.

280. Чиркин, А.А. Показатели обмена веществ и функционального состояния спортсменов в возрасте 12–18 лет // Здоровье для всех: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 23–24 апр. 2015 г.: в 2 ч. / редкол.: К. К. Шебеко [и др.]; Министерство образования Республики Беларусь [и др.]. – Пинск: ПолесГУ, 2015. – Ч. 1. – С. 365-368.

281. Чистоедова, Ю.А. Мышцы-стабилизаторы: определение, функции. Упражнения и рекомендации по развитию мышц-стабилизаторов у лыжников-гонщиков различного возраста и уровня подготовки // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 15. – С. 2556–2560.

282. Шаханова, А.В. Психофизиологические основы физической работоспособности студентов вуза в условиях спортивной деятельности / А.В. Шаханова, Т.Г. Петрова. – Майкоп: Адыгейский государственный университет, 2015. – 165 с.

283. Шенкман, Б.С. Хронические эффекты низкочастотной электростимуляции разгибателей коленного сустава на фоне их статистического пассивного растяжения у человека / Б.С. Шенкман, В. Е. Любаева, Д.В. Попов // Физиология человека. – 2006. – № 1. – С. 84-92.

284. Ширковец, Е. А. Комплексный анализ метаболитов энергообеспечения и эргометрических данных при стандартном тестировании

пловцов высокой квалификации / Е. А. Ширковец, И. Л. Рыбина // Вестник спортивной науки. – 2019. – С. 61-66.

285. Ширковец, Е.А. Нормирование и классификация показателей работоспособности спортсменов различной квалификации / Е.А. Ширковец, Б.Н. Шустин // Теория и практика физической культуры. – 2017. – № 1. – С.71-74.

286. Шишкина, А.В. Планирование специальной физической подготовки лыжников-гонщиков в макроцикле / А.В. Шишкина // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. – 2009. – № 5. – С. 183-194.

287. Шлык, Н. И. Нормативы вариационного размаха кардиоинтервалов в покое и ортостазе при разных типах регуляции у лыжников-гонщиков в тренировочном процессе / Н. И. Шлык // Наука и спорт: современные тенденции. – 2021. – Т. 9. – № 4. – С. 35-50. – DOI: 10.36028/2308-8826-2021-9-4-35-50.

288. Шлык, Н.И. Показатели вариабельности сердечного ритма в покое и ортостазе при разных диапазонах значения $MxDMn$ и их изменение у легкоатлетов-бегунов в тренировочном процессе / Н.И. Шлык, А.Е. Алабужев // Наука и спорт: современные тенденции. – 2020. – Т. 8, № 4. – С. 46-66. – DOI: 10.36028/2308-8826-2020-8-4-46-66.

289. Эберт, Л.Я. Динамика показателей систем внешнего дыхания и кровообращения у спортсменов с анаэробной и аэробной направленностью тренировочного процесса по сезонам года / Л.Я. Эберт, С.Л. Сашенков, В.А. Колупаев // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. – 2005. – № 2. – С. 139-144.

290. Эволюция математических методов анализа вариабельности сердечного ритма: достижения и перспективы / П.Б. Татаринцев, Ж.И. Молчанова, И.В. Радыш, О.Н. Рогозин, Н.В. Кокорина // Технологии живых систем. – 2019. – Т. 16, № 2. – С. 40-50. – DOI: 10.18127/j20700997-201902-05.

291. Эндокринология по Вильямсу. Нейроэндокринология: пер. с англ. / Г.М. Кроненберг [и др.]; под ред. П. Камачо, Х. Гариба, Г. Сайзмора. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 472 с.
292. Эрлих, В.В. Интеграция звеньев нейромоторного обеспечения центральной, региональной и мозговой гемодинамики у юных лыжников-гонщиков 18-20 лет высокой спортивной квалификации в годовом цикле подготовки / В.В. Эрлих, А.П. Исаев, А.А. Кравченко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2011. – № 20. – С. 49-54.
293. Эрлих, В.В. Цифровизация технологий оперативной диагностики функциональных резервов и оценки подготовленности спортсменов / В.В. Эрлих, Д.З. Шибкова, П.А. Байгужин // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 52-66. – DOI: 10.14529/hsm200107.
294. Юшков, Б.Г. Понятие нормы в физиологии (физиологические константы лабораторных животных): монография / Б.Г. Юшков, В.А. Черешнев. – Екатеринбург, 2016. – 616 с.
295. Янсен, П. ЧСС, лактат и тренировки на выносливость: монография / П. Янсен; пер. с англ. – Мурманск: Тулома, 2006. – 157 с. – ISBN 978-5-9900301-3-8.
296. Ярцев, С.С. Основы функциональной диагностики внешнего дыхания. Эргоспирометрия [Текст]: практическое руководство для врачей / С.С. Ярцев. – Москва: Российский ун-т дружбы народов, 2015. – 232 с.
297. Ярышева, В.Б. Особенности эхокардиографических параметров сердца у юных спортсменов в зависимости от пола и спортивной специализации / В.Б. Ярышева, Д.З. Шибкова, Е.С. Сабирьянова // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – Т. 18, № 5. – С. 55-63. – DOI: 10.14529/hsm18s08.
298. Ackermann, S. Commentary: Photoplethysmography for quantitative assessment of sympathetic nerve activity (SNA) during cold stress / S. Ackermann, S. Laborde, U. Borges, E. Mosley // Frontiers in Physiology. – 2021. – Vol. 12. – Art. 602745. – DOI: 10.3389/fphys.2021.602745.

299. Ahimastos, A.A. Gender differences in large artery stiffness pre-and post puberty / A.A. Ahimastos, M. Formosa, A.M. Dart, B.A. Kingwell // *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. – 2003. – Vol. 88, № 11. – P. 5375-5380. – DOI: 10.1210/jc.2003-030722.
300. Amann, M. Pulmonary system limitations to endurance exercise performance in humans / M. Amann // *Experimental Physiology*. – 2012. – Vol. 97, No. 3. – P. 311-318. – DOI: 10.1113/expphysiol.2011.058800.
301. Anderson, T. Exercise and the Cortisol Awakening Response: A Systematic Review / T. Anderson, L. Wideman // *Sports Medicine - Open*. – 2017. – Vol. 3. – Art. 37. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s40798-017-0102-3>.
302. Armstrong, L.E. Water Intake, Water Balance, and the Elusive Daily Water Requirement / L.E. Armstrong, E.C. Johnson // *Nutrients*. – 2018. – Vol. 10, No. 12. – Article 1928. – DOI: 10.3390/nu10121928.
303. Athanasiou, N. Endocrine responses of the stress system to different types of exercise / N. Athanasiou, G.C. Bogdanis, G. Mastorakos // *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. – 2023. – Vol. 24. – P. 251-266. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11154-022-09758-1>.
304. Bangsoo, J. Counterpoint: Lactic acid accumulation is a disadvantage during muscle activity / J. Bangsoo, C. Juel // *Journal of Applied Physiology*. – 2006. – Vol. 100. – P. 1412-1413. – DOI: 10.1152/japplphysiol.00023.2006.
305. Castro-Sepulveda, M. Basal serum cortisol and testosterone/cortisol ratio are related to rate of Na⁺ lost during exercise in elite soccer players / M. Castro-Sepulveda, J. Cancino, R. Fernández-Verdejo [et al.] // *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. – 2019. – Vol. 29, № 6. – P. 658-663.
306. Belvisi, M.G. Overview of the innervation of the lung / M.G. Belvisi // *Current Opinion in Pharmacology*. – 2002. – Vol. 2, No. 3. – P. 211-215. – DOI: 10.1016/S1471-4892(02)00145-5.
307. Bishop, D.J. Can we optimise the exercise training prescription to maximise improvements in mitochondria function and content? / D.J. Bishop, C. Granata, N. Eynon // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*. –

2014. – Vol. 1840, No. 4. – P. 1266-1275. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2014.03.010>.

308. Bourdillon, N. Minimal Window Duration for Accurate HRV Recording in Athletes / N. Bourdillon, L. Schmitt, S. Yazdani, J.M. Vesin, G.P. Millet // *Frontiers in Neuroscience*. – 2017. – V.11. – P. 456. – DOI: 10.3389/fnins.2017.00456.

309. Brancaccio, P. Monitoring of serum enzymes in sport / P. Brancaccio, F.M. Limongelli, N. Maffulli // *British Journal of Sports Medicine*. – 2007. – Vol. 41, No. 2. – P. 95-99. – DOI: 10.1136/bjism.2005.020719.

310. Brescia, G. Blood Eosinophilic and Basophilic Trends in Recurring and Non-Recurring Eosinophilic Rhinosinusitis With Nasal Polyps / G. Brescia, G. Contro, G. Marioni // *American Journal of Rhinology & Allergy*. – 2021. – Vol. 35, No. 3. – P. 295-302. – DOI: 10.1177/1945892420953960.

311. Brooks, G.A. What does glycolysis make and why is it important? / G.A. Brooks // *Journal of Applied Physiology*. – 2010. – Vol. 108, № 6. – P. 1450-1451. – DOI: 10.1152/jappphysiol.00308.2010.

312. Brun, J.F. Beyond the Calorie Paradigm: Taking into Account in Practice the Balance of Fat and Carbohydrate Oxidation during Exercise? / J.F. Brun, J. Myzia, E. Varlet-Marie, E. Raynaud de Mauverger, J. Mercier // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 14. – Art. 1605. – DOI: 10.3390/nu14081605.

313. Brun, J.F. Exercise hemorheology: Moving from old simplistic paradigms to a more complex picture / J.F. Brun, E. Varlet-Marie, A.J. Romain, M. Guiraudou, E.R. de Mauverger // *Clinical Hemorheology and Microcirculation*. – 2013. – Vol. 55, No. 1. – P. 15-27. – DOI: 10.3233/CH-131686.

314. Buchheit, M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? / M. Buchheit // *Frontiers in Physiology*. – 2014. – Vol. 5. – P. 73. – DOI: 10.3389/fphys.2014.00073.

315. Burnley, M. Power-duration relationship: Physiology, fatigue, and the limits of human performance / M. Burnley, A.M. Jones // *European Journal of Sport*

Science. – 2018. – Vol. 18, No. 1. – P. 1-12. – DOI: <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1249524>.

316. Bushmanova, E.A. The Prevalence of Low Energy Availability in Cross-Country Skiers during the Annual Cycle / E.A. Bushmanova, A.Y. Lyudinina, E.R. Bojko // *Nutrients*. – 2024. – Vol. 16, Iss. 14. – Art. 2279. – DOI: 10.3390/nu16142279.

317. Caimi, G. Protein oxidation in a group of subjects with metabolic syndrome / G. Caimi, E. Hopps, D. Noto [et al.] // *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. – 2013. – Vol. 7, № 1. – P. 38-41. – DOI: 10.1016/j.dsx.2013.02.013.

318. Calbet, J.A.L. Why do arms extract less oxygen than legs during exercise? / J.A.L. Calbet [et al.] // *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. – 2005. – Vol. 289. – P. 1448-1458. – DOI: 10.1152/ajpregu.00824.200.

319. Campa, F. 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, L.A. Gobbo, G. Coratella // *Nutrients*. – 2021. – Vol. 13, No. 5. – Art. 1620. – DOI: 10.3390/nu13051620.

320. Campbell, J.P. Debunking the Myth of Exercise-Induced Immune Suppression: Redefining the Impact of Exercise on Immunological Health Across the Lifespan / J.P. Campbell, J.E. Turner // *Frontiers in Immunology*. – 2018. – Vol. 9. – Art. 648. – DOI: 10.3389/fimmu.2018.00648.

321. Carlsson, M. Peak hand-grip force predicts competitive performance in elite female cross-country skiers / M. Carlsson, T. Carlsson, M. Olsson [et al.] // XIX annual Congress of the European College of Sport Science / *Eur. Coll. of Sport Sci.* – Amsterdam, Netherlands, 2014. – 1 p.

322. Chapleau, M.W. Methods of assessing vagus nerve activity and reflexes / M.W. Chapleau, R. Sabharwal // *Heart Failure Reviews*. – 2011. – Vol. 16, No. 2. – P. 109-127. – DOI: 10.1007/s10741-010-9174-5.

323. Choobineh, S. Effects of a single bout of eccentric resistance exercise on urea, creatinine and 3-methyl histidine excretion in normal college males / S. Choobineh, H. Par // *Journal of Sport Biosciences*. – 2015. – DOI: 10.22059/jsb.2015.56261.

324. Convertino, V.A. Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness / V.A. Convertino, E.R. Eichner, S.M. Schnieder, A.J. Young // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. – 2000. – Vol. 32, No. 2. – P. 332-348. – DOI: 10.1097/00005768-200002000-00012.

325. Convertino, V.A. Mechanisms of microgravity induced orthostatic intolerance: implications for effective countermeasures / V.A. Convertino // *Journal of Gravitational Physiology: a Journal of the International Society for Gravitational Physiology*. – 2002. – Vol. 9, No. 2. – P. 1-13.

326. Córdoba-Rodríguez, D.P. Fat-free/lean body mass in children with insulin resistance or metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis / D.P. Córdoba-Rodríguez, I. Iglesia, A. Gomez-Bruton [et al.] // *BMC Pediatrics*. – 2022. – Vol. 22, No. 1. – P. 58. – DOI: 10.1186/s12887-021-03041-z.

327. Costello, A.B. Best practices in exploratory factor analysis: four recommendations for getting the most from your analysis / A.B. Costello, J. Osborne // *Practical Assessment, Research, and Evaluation*. – 2005. – Vol. 10, No. 1. – Art. 7. – DOI: 10.7275/jyj1-4868.

328. De Backer, D. Lactic acidosis: physiological note / D. De Backer // *Intensive Care Medicine*. – 2003. – Vol. 29. – P. 699-702. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s00134-003-1746-7>.

329. Deldicque, L. Increased IGF mRNA in human skeletal muscle after creatine supplementation / L. Deldicque, M. Louis, D. Theisen [et al.] // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. – 2005. – Vol. 37, no. 5. – P. 731-736. – DOI: 10.1249/01.mss.0000162690.39830.27.

330. Deldicque, L. Increased IGF mRNA in human skeletal muscle after creatine supplementation / L. Deldicque, M. Louis, D. Theisen [et al.] // *Medicine*

and Science in Sports and Exercise. – 2005. – Vol. 37, No. 5. – P. 731-736. – DOI: 10.1249/01.mss.0000162690.39830.27.

331. Dempsey, J.A. Is the healthy respiratory system built just right, overbuilt, or underbuilt to meet the demands imposed by exercise? / J.A. Dempsey, A. La Gerche, J.H. Hull // *Journal of Applied Physiology*. – 2020. – Vol. 129, No. 6. – P. 1235-1256. – DOI: 10.1152/jappphysiol.00444.2020.

332. Donovan, C.M. Endurance training affects lactate clearance, not lactate production / C.M. Donovan, G.A. Brooks // *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. – 1983. – Vol. 244, No. 1. – P. E83-E92. – DOI: 10.1152/ajpendo.1983.244.1.E83.

333. Drozdov, D.N. Features of non-specific adaptation of blood cells to the dosed physical load in young men with different levels of physical training / D.N. Drozdov, A.V. Kravcov, E.O. Krasnykh // *Theoretical & Applied Science*. – 2020. – Vol. 84, № 4. – P. 376-383. – DOI: 10.15863/TAS.2020.04.84.66.

334. Duclos, M. A critical assessment of hormonal methods used in monitoring training status in athletes / M. Duclos // *International Journal of Sports Medicine*. – 2008. – Vol. 29, No. 9. – P. 56-66.

335. Durmic, T. The training type influence on male elite athletes' ventilatory function / T. Durmic, B. Lazovic Popovic, M. Zlatkovic Svenda [et al.] // *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. – 2017. – Vol. 3, No. 1. – Art. e000240. – DOI: 10.1136/bmjsem-2017-000240.

336. Egan, B. Molecular responses to acute exercise and their relevance for adaptations in skeletal muscle to exercise training / B. Egan, A.P. Sharples // *Physiological Reviews*. – 2023. – Vol. 103, № 3. – DOI: 10.1152/physrev.00054.2021.

337. Egawa, M. Inflammatory monocytes recruited to allergic skin acquire an anti-inflammatory M2 phenotype via basophil-derived interleukin-4 / M. Egawa, K. Mukai, S. Yoshikawa [et al.] // *Immunity*. – 2013. – Vol. 38, № 3. – P. 570-580. – DOI: 10.1016/j.immuni.2012.11.014.

338. Elenkov, I.J. The sympathetic nerve -- an integrative interface between two supersystems: the brain and the immune system / I.J. Elenkov, R.L. Wilder, G.P. Chrousos, E.S. Vizi // *Pharmacological Reviews*. – 2000. – Vol. 52, № 4. – P. 595-638. – DOI: 10.1016/S0031-6997(24)01470-4.

339. Ettema, G. Comparison of center of mass energy fluctuations by use of force and motion capture recordings / G. Ettema, J. Danielsen, Ø. Sandbakk // 3rd International Congress on Science and Nordic Skiing (ICSNS) / University of Salzburg. – Salzburg, Austria, 2015. – P. 5-8.

340. Falcone, F.H. The Human Basophil: A New Appreciation of Its Role in Immune Responses / F.H. Falcone, H. Haas, B.F. Gibbs // *Blood*. – 2000. – Vol. 96, No. 13. – P. 4028-4038. – DOI: 10.1182/blood.V96.13.4028.

341. Ferguson, E.W. Effects of exercise and conditioning on clotting and fibrinolytic activity in men / E.W. Ferguson, L.L. Bernier, G.R. Banta [et al.] // *Journal of Applied Physiology*. – 1987. – Vol. 62, No. 4. – P. 1416-1421. – DOI: 10.1152/jappl.1987.62.4.1416.

342. Freeman, R. Consensus statement on the definition of orthostatic hypotension, neurally mediated syncope and the postural tachycardia syndrome / R. Freeman, W. Wieling, F.B. Axelrod [et al.] // *Clinical Autonomic Research*. – 2011. – Vol. 21. – P. 69-72. – DOI: 10.1016/j.autneu.2011.02.004.

343. Freeman, R. Consensus statement on the definition of orthostatic hypotension, neurally mediated syncope and the postural tachycardia syndrome / R. Freeman, W. Wieling, F.B. Axelrod [et al.] // *Autonomic Neuroscience*. – 2011. – Vol. 161, iss. 1-2. – P. 46-48. – DOI: 10.1016/j.autneu.2011.02.004.

344. Furchgott, R.F. The obligatory role of endothelial cells in the relaxation of arterial smooth muscle by acetylcholine / R.F. Furchgott, J.V. Zawadzki // *Nature*. – 1980. – Vol. 288, No. 5789. – P. 373-376. – DOI: 10.1038/288373a0.

345. Giles, D. Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest / D. Giles, N. Draper, W. Neil // *European Journal of Applied Physiology*. – 2016. – Vol. 116, No. 3. – P. 563-571. – DOI: 10.1007/s00421-015-3303-9.

346. Gladden, L.B. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium / L.B. Gladden // *The Journal of Physiology*. – 2004. – Vol. 558, No. 1. – P. 5-30. – DOI: 10.1113/jphysiol.2003.058701.
347. Gleeson, M. Immune function in sport and exercise / M. Gleeson // *Journal of Applied Physiology*. – 2007. – Vol. 103, No. 2. – P. 693-699. – DOI: 10.1152/japplphysiol.00008.2007.
348. Gorini, G. Irreversible plasma and muscle protein oxidation and physical exercise / G. Gorini, T. Gamberi, T. Fiaschi [et al.] // *Free Radical Research*. – 2019. – Vol. 53, № 2. – P. 126-138. – DOI: 10.1080/10715762.2018.1542141.
349. Haliwill, J.R. Postexercise hypotension and sustained postexercise vasodilatation: what happens after we exercise? / J.R. Haliwill, T.M. Buck, A.N. Lacewell, S.A. Romero // *Experimental Physiology*. – 2012. – Vol. 98, No. 1. – P. 7-18.
350. Han, J. Data mining: Concepts and Techniques / J. Han, M. Kamber, J. Pei. – 3rd ed. – Waltham, MA: Morgan Kaufmann Publishers, 2012. – 703 p.
351. Hashimoto, T. Mitochondrial lactate oxidation complex and an adaptive role for lactate production / T. Hashimoto, G.A. Brooks // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. – 2008. – Vol.40, №3. – P. 486-494. – DOI: 10.1249/MSS.0b013e31815fcb04.
352. Hawley, J.A. Integrative biology of exercise / J.A. Hawley, M. Hargreaves, M.J. Joyner, J.R. Zierath // *Cell*. – 2014. – Vol. 159, No. 4. – P. 738-749. – DOI: 10.1016/j.cell.2014.10.029.
353. Malik, M. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use: Task Force of The European Society of Cardiology and the North American Society for Pacing and Electrophysiology / M. Malik [et al.] // *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. – 1996. – Vol. 1, No. 2. – P. 151-181. – DOI: 10.1111/j.1542-474X.1996.tb00275.x.
354. Henriksson, J. Effects of physical training on the metabolism of skeletal muscle / J. Henriksson // *Diabetes Care*. – 1992. – Vol. 15, no. 11. – P. 1701-1711. – DOI: <https://doi.org/10.2337/diacare.15.11.1701>.

355. Henriksson, J. Redox state changes in human skeletal muscle after isometric contraction / J. Henriksson, A. Katz, K. Sahlin // *Journal of Physiology*. – 1986. – Vol. 380. – P. 441-451. – DOI: 10.1113/jphysiol.1986.sp016296.
356. Hinde, K. Wearable Devices Suitable for Monitoring Twenty Four Hour Heart Rate Variability in Military Populations / K. Hinde, G. White, N. Armstrong // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21, № 4. – P. 1061. – DOI: 10.3390/s21041061.
357. Holecek, M. Roles of malate and aspartate in gluconeogenesis in various physiological and pathological states / M. Holecek // *Metabolism*. – 2023. – Vol. 145, Suppl. – Art. 155614. – DOI: 10.1016/j.metabol.2023.155614.
358. Holmberg, H.C. Integrative biomechanics and physiology in cross-country skiing / H.C. Holmberg // *6th International Congress on Science and Skiing / University of Salzburg et al.* – Austria, Salzburg, 2013. – P. 7.
359. Holmberg, H.C. The elite cross-country skier provides unique insights into human exercise physiology / H.C. Holmberg // *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. – 2015. – Vol. 25, Suppl. 4. – P. 100-109. – DOI: <https://doi.org/10.1111/sms.12601>.
360. Izquierdo, M. Effects of strength training on muscle power and serum hormones in middle-aged and older men / M. Izquierdo, K. Häkkinen, J. Ibañez [et al.] // *Journal of Applied Physiology*. – 2001. – Vol. 90, No. 4. – P. 1497-1507. – DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.4.1497>.
361. Johnson, M.A. Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles: An autopsy study / M.A. Johnson, J. Polgar, D. Weightman, D. Appleton // *Journal of the Neurological Sciences*. – 1973. – Vol. 18, № 1. – P. 111-129. – DOI: 10.1016/0022-510X(73)90023-3.
362. Jørgensen, S.B. Role of AMPK in skeletal muscle gene adaptation in relation to exercise / S.B. Jørgensen, T.E. Jensen, E.A. Richter // *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. – 2007. – Vol. 32, № 5. – P. 753-755. – DOI: 10.1139/H07-079.
363. Kakehi, S. Endurance Runners with Intramyocellular Lipid Accumulation and High Insulin Sensitivity Have Enhanced Expression of Genes

Related to Lipid Metabolism in Muscle / S. Kakehi, Y. Tamura, K. Takeno [et al.] // Journal of Clinical Medicine. – 2020. – Vol. 9, № 12. – Article 3951. – DOI: 10.3390/jcm9123951.

364. Karasuyama, H. Multifaceted roles of basophils in health and disease / H. Karasuyama, K. Miyake, S. Yoshikawa, Y. Yamanishi // Journal of Allergy and Clinical Immunology. – 2018. – Vol. 142, № 2. – P. 370-380. – DOI: 10.1016/j.jaci.2017.10.042.

365. Kawashima, K. The lymphocytic cholinergic system and its contribution to the regulation of immune activity / K. Kawashima, T. Fujii // Life Sciences. – 2003. – Vol. 74, No. 6. – P. 675-696. – DOI: 10.1016/j.lfs.2003.09.037.

366. Kenney, M.J. Autonomic Nervous System and Immune System Interactions / M.J. Kenney, C.K. Ganta // Comprehensive Physiology. – 2014. – Vol. 4, № 3. – P. 1177-1200. – DOI: 10.1002/cphy.c130051.

367. Kenney, W.L. Physiology of sport and exercise / W.L. Kenney, J.H. Wilmore, D.L. Costill. – 5th ed. – Champaign, IL: Human Kinetics, 2012. – 621 p.

368. Kippelen, P. Airway injury during high-level exercise / P. Kippelen, S.D. Anderson // British Journal of Sports Medicine. – 2012. – Vol. 46, No. 6. – P. 385-390. – DOI: 10.1136/bjsports-2011-090819.

369. Kraemer, W.J. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training / W.J. Kraemer, N.A. Ratamess // Sports Medicine. – 2005. – Vol. 35, no. 4. – P. 339-361.

370. Krenn, O. The Lower Extremity Dexterity Test Quantifies Sensorimotor Control for Cross-Country Skiing / O. Krenn, I. Werner, E.L. Lawrence, F.J. Valero-Cuevas // Science in Skiing VI / ed. by E. Müller, J. Kröll, S. Lindinger [et al.]. – Meyer & Meyer Sport (UK), 2015. – P. 439-445.

371. Kudrya, O.N. Оценка функционального состояния и физической подготовленности спортсменов по показателям вариабельности сердечного ритма / O.N. Kudrya // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. – 2014. – № 1. – С. 185-196.

372. Kurabayashi, A. Potential effect of the non-neuronal cardiac cholinergic system on hepatic glucose and energy metabolism / A. Kurabayashi, W. Iwashita, K. Furihata [et al.] // *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. – 2024. – Vol. 11. – DOI: 10.3389/fcvm.2024.1381721.

373. Laborde, S. Editorial: Horizon 2030: Innovative Applications of Heart Rate Variability / S. Laborde, E. Mosley, C. Bellenger, J. Thayer // *Frontiers in Neuroscience*. – 2022. – Vol. 16. – Art. 937086. – DOI: 10.3389/fnins.2022.937086.

374. Lac, G. Changes in cortisol and testosterone levels and T/C ratio during an endurance competition and recovery / G. Lac, P. Berthon // *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. – 2000. – Vol. 40, No. 2. – P. 139-144.

375. Lamb, G.D. Point: Lactic acid accumulation is an advantage during muscle activity / G.D. Lamb, D.G. Stephenson // *Journal of Applied Physiology*. – 2006. – Vol. 100. – P. 1410-1412. – DOI: 10.1152/jappphysiol.00023.2006.

376. Lang, R.M. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging / R.M. Lang, L.P. Badano, V. Mor-Avi [et al.] // *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. – 2015. – Vol. 16, No. 3. – P. 233-271. – DOI: 10.1093/ehjci/jev014.

377. Lavoie, C. Glucose metabolism during exercise in man: the role of insulin and glucagon in the regulation of hepatic glucose production and gluconeogenesis / C. Lavoie, F. Ducros, J. Bourque [et al.] // *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. – 1997. – Vol. 75, No. 1. – P. 1-6. – DOI: 10.1139/cjpp-75-1-26.

378. Liou, Y.M. Differential pH effect on calcium-induced conformational changes of cardiac troponin C complexed with cardiac and fast skeletal isoforms of troponin I and troponin T / Y.M. Liou, J.C. Chang // *Journal of Biochemistry*. – 2004. – Vol. 16. – P. 683-692. – DOI: 10.1093/jb/mvh175.

379. Lippi, G. Relationship between red blood cell distribution width and kidney function tests in a large cohort of unselected outpatients / G. Lippi, G. Targher, M. Montagnana [et al.] // *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory*

Investigation. – 2008. – Vol. 68, Iss. 8. – P. 745-748. – DOI: 10.1080/00365510802213550.

380. Lombardi, F. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use / F. Lombardi, A. Maliani, Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology // *Circulation*. – 1996. – Vol. 93, No. 5. – P. 1043-1065. – DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.

381. Losnegard, T. Elite cross-country skiers do not reach their running VO₂max during roller ski skating / T. Losnegard, J. Halén // *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. – 2014. – Vol. 54, no. 4. – P. 389-393.

382. Losnegard, T. Energy system contribution during competitive cross-country skiing / T. Losnegard // *European Journal of Applied Physiology*. – 2019. – Vol. 119, No. 8. – P. 1675-1690. – DOI: 10.1007/s00421-019-04158-x.

383. Louis, M. No effect of creatine supplementation on human myofibrillar and sarcoplasmic protein synthesis after resistance exercise / M. Louis, J.R. Poortmans, M. Francaux [et al.] // *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. – 2003. – Vol. 285, № 5. – P. E1089-E1094. – DOI: 10.1152/ajpendo.00195.2003.

384. Louis, M. No effect of creatine supplementation on human myofibrillar and sarcoplasmic protein synthesis after resistance exercise / M. Louis, J.R. Poortmans, M. Francaux [et al.] // *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. – 2003. – Vol. 285, no. 5. – P. E1089-E1094. – DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00195.2003>.

385. Maciejczyk, M. The Influence of Increased Body Fat or Lean Body Mass on Aerobic Performance / M. Maciejczyk, M. Więcek, J. Szymura [et al.] // *PLoS ONE*. – 2014. – Vol. 9, № 4. – Art. e95797. – DOI: 10.1371/journal.pone.0095797.

386. Mairbäurl, H. Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells / H. Mairbäurl // *Frontiers in Physiology*. – 2013. – Vol. 4. – Art. 332. – DOI: 10.3389/fphys.2013.00332.

387. Marchi, D. Homeostatic Regulation of Glucocorticoid Receptor Activity by Hypoxia-Inducible Factor 1: From Physiology to Clinic / D. Marchi, F.J.M. van Eeden // *Cells*. – 2021. – Vol. 10, no. 12. – P. 3441. – DOI: <https://doi.org/10.3390/cells10123441>.
388. Maron, B.J. The heart of trained athletes: cardiac remodeling and the risks of sports, including sudden death / B.J. Maron, A. Pelliccia // *Circulation*. – 2006. – Vol. 114, № 15. – P. 1633-1644.
389. Marone, G. Control Mechanisms of Mediator Release in Human Basophils and Mast Cells / G. Marone // *Immunological Investigations*. – 1988. – Vol. 17, No. 8-9. – P. 707-745. – DOI: 10.3109/08820138809089019.
390. Martin, 3rd, W.H. Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise / W.H. Martin, 3rd, G.P. Dalsky, B.F. Hurley [et al.] // *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. – 1993. – Vol. 265, № 5 (Pt 1). – P. E708-E714.
391. Martin, S.A. Individual Adaptation in Cross-Country Skiing Based on Tracking during Training Conditions / S.A. Martin, R.M. Hadmaş // *Sports*. – 2019. – Vol. 7, No. 9. – P. 211. – DOI: 10.3390/sports7090211.
392. Mashin, V.A. Factor analysis of the heart rate spectrum / V.A. Mashin // *Biophysics*. – 2011. – Vol. 56, No. 2. – P. 286-299.
393. Mazic, S. Respiratory parameters in elite athletes -- does sport have an influence? / S. Mazic, B. Lazovic, M. Djelic [et al.] // *Revista Portuguesa de Pneumologia (English Edition)*. – 2015. – Vol. 21, No. 4. – P. 192-197. – DOI: 10.1016/j.rppnen.2014.12.003.
394. McArdle, W.D. Exercise Physiology / W.D. McArdle, F.I. Katch, V.L. Katch. – Philadelphia: Lea & Febiger, 1986. – 696 p.
395. McKenzie, D.C. Respiratory physiology: Adaptations to high-level exercise / D.C. McKenzie // *British Journal of Sports Medicine*. – 2012. – Vol. 46, No. 6. – P. 381-384. – DOI: 10.1136/bjsports-2011-090824.
396. Meeusen, R. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and

the American College of Sports Medicine / R. Meeusen, M. Duclos, C. Foster [et al.] // *Medicine and Science in Sports and Exercise*. – 2013. – Vol. 45, No. 1. – P. 186-205. – DOI: 10.1249/mss.0b013e318279a10a.

397. Moxnes, J.F. The kinetics of lactate production and removal during whole-body exercise / J.F. Moxnes, Ø. Sandbakk // *Theoretical Biology and Medical Modelling*. – 2012. – Vol. 9. – Art. 7. – DOI: 10.1186/1742-4682-9-7.

398. Mujika, I. Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: short term insufficient training stimulus / I. Mujika, S. Padilla // *Sports Medicine*. – 2000. – Vol. 30, No. 2. – P. 79-87. – DOI: 10.2165/00007256-200030020-00002.

399. Mukaka, M.M. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research / M.M. Mukaka // *Malawi Medical Journal*. – 2012. – Vol. 24, No. 3. – P. 69-71.

400. Newsholme, P. Glutamine and glutamate -- their central role in cell metabolism and function / P. Newsholme, J. Procopio, M.M.R. Lima [et al.] // *Cell Biochemistry and Function*. – 2003. – Vol. 21, iss. 1. – P. 1-9. – DOI: 10.1002/cbf.1003.

401. Nielsen, H.B. Bicarbonate attenuates arterial desaturation during maximal exercise in humans / H.B. Nielsen, P.P. Bredmose, M. Strømstad [et al.] // *Journal of Applied Physiology*. – 2002. – Vol. 93, No. 2. – P. 724-731. – DOI: 10.1152/japplphysiol.00398.2000.

402. Nieman, D.C. Exercise immunology: Future directions / D.C. Nieman, B.D. Pence // *Journal of Sport and Health Science*. – 2020. – Vol. 9, № 5. – P. 432-445. – DOI: 10.1016/j.jshs.2019.12.003.

403. Nieman, D.C. Immune Response to Heavy Exertion / D.C. Nieman // *Journal of Applied Physiology*. – 1997. – Vol. 82, No. 5. – P. 1385-1394. – DOI: 10.1152/jap.1997.82.5.1385.

404. Oueslati, F. Respiratory muscle strength is decreased after maximal incremental exercise in trained runners and cyclists / F. Oueslati, A. Berriri, J. Boone,

S. Ahmaidi // *Respiratory Physiology & Neurobiology*. – 2018. – Vol. 248. – P. 25-30. – DOI: 10.1016/j.resp.2017.11.005.

405. Paquette, M. Muscle oxygenation rather than VO₂max as a strong predictor of performance in sprint canoe-kayak / M. Paquette, F. Bieuzen, F. Billaut // *International Journal of Sports Physiology and Performance*. – 2018. – Vol. 13, No. 10. – P. 1299-1307. – DOI: 10.1123/ijsp.2018-0077.

406. Peake, J.M. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise / J.M. Peake, O. Neubauer, P.A. Della Gatta, K. Nosaka // *Journal of Applied Physiology*. – 2017. – Vol. 122, No. 3. – P. 559-570. – DOI: 10.1152/japplphysiol.00971.2016.

407. Pette, D. Adaptation of mammalian skeletal muscle fibers to chronic electrical stimulation / D. Pette, G. Vrbová // *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. – Berlin, Heidelberg: Springer, 1992. – Vol. 120. – P. 115-202. – DOI: <https://doi.org/10.1007/BFb0036128>.

408. Plews, D.J. 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.

409. Polat, M. Seasonal variations in body composition, maximal oxygen uptake, and gas exchange threshold in crosscountry skiers / M. Polat, S.K. Eryilmaz, S. Aydogan // *Open Access Journal of Sports Medicine*. – 2018. – Vol. 9. – P. 91-97. – DOI: 10.2147/OAJSM.S154630.

410. Poller, W.C. Brain motor and fear circuits regulate leukocytes during acute stress / W.C. Poller, J. Downey, A.A. Mooslechner [et al.] // *Nature*. – 2022. – Vol. 607, № 7919. – P. 578-584. – DOI: 10.1038/s41586-022-04890-z.

411. Prado, C.M.M. Sarcopenic obesity: A Critical appraisal of the current evidence / C.M.M. Prado, J.C.K. Wells, S.R. Smith [et al.] // *Clinical Nutrition*. – 2012. – Vol. 31, No. 5. – P. 583-601. – DOI: 10.1016/j.clnu.2012.06.010.

412. Quanjer, P.H. Lung volumes and forced ventilatory flows: report working party standardization of lung function tests, European Community for steel

and coal: official statement of the European Respiratory Society / P.H. Quanjer, G.J. Tammeling, J.E. Cotes [et al.] // *European Respiratory Journal*. – 1993. – Vol. 6, Suppl. 16. – P. 5-40.

413. Quanjer, P.H. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3--95-yr age range: the global lung function 2012 equations / P.H. Quanjer, S. Stanojevic, T.J. Cole [et al.] // *European Respiratory Journal*. – 2012. – Vol. 40, № 6. – P. 1324-1343. – DOI: 10.1183/09031936.00080312.

414. Rankin, L.C. Beyond Host Defense: Emerging Functions of the Immune System in Regulating Complex Tissue Physiology / L.C. Rankin, D. Artis // *Cell*. – 2018. – Vol. 173. – P. 554-567. – DOI: 10.1016/j.cell.2018.03.013.

415. Robergs, R.A. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis / R.A. Robergs, F. Ghiasvand, D. Parker // *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. – 2004. – Vol. 287, № 3. – P. R502-R516. – DOI: 10.1152/ajpregu.00114.2004.

416. Roberts, M.D. Sarcoplasmic hypertrophy in skeletal muscle: A scientific "unicorn" or resistance training adaptation? / M.D. Roberts, C.T. Haun, C.G. Vann [et al.] // *Frontiers in Physiology*. – 2020. – Vol. 11. – P. 816. – DOI: 10.3389/fphys.2020.00816.

417. Rogers, B. A New Detection Method Defining the Aerobic Threshold for Endurance Exercise and Training Prescription Based on Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability / B. Rogers, D. Giles, N. Draper [et al.] // *Frontiers in Physiology*. – 2020. – Vol. 11. – Art. 596567. – DOI: 10.3389/fphys.2020.596567.

418. Romer, L.M. The relationship between peak fat oxidation and prolonged double-poling endurance exercise performance / L.M. Romer, M.T. Hansen, J. Frandsen [et al.] // *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. – 2020. – Vol. 30, No. 11. – P. 2044-2056. – DOI: 10.1111/sms.13769.

419. Roth, E. Immune and cell modulation by amino acids / E. Roth // *Clinical Nutrition*. – 2007. – Vol. 26, № 5. – P. 535-544. – DOI: 10.1016/j.clnu.2007.05.007.

420. Rowell, L.B. Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes / L.B. Rowell, D.S. O'Leary // *Journal of Applied Physiology*. – 1990. – Vol. 69, No. 2. – P. 407-418. – DOI: 10.1152/jappl.1990.69.2.407.

421. Rudenko, M.Y. Methodology for Comprehensive Assessment of Athlete's Conditioning Based on Cardiometry and Correction of Physiological Condition / M.Y. Rudenko, M.A. Deberdeev, E.A. Mazurkevich // *Cardiometry*. – 2024. – No. 30. – P. 8-15.

422. Russell, B. Form follows function: how muscle shape is regulated by work / B. Russell, D. Motlagh, W.W. Ashley // *Journal of Applied Physiology*. – 2000. – Vol. 88, no. 3. – P. 1127-1132. – DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.3.1127>.

423. Saltin, B. Anaerobic capacity – past, present, and prospective / B. Saltin // *Biochemistry of Exercise VII: [proceedings]* / ed. by A.W. Taylor, P.D. Gollnick, H.J. Green [et al.]. – Champaign, IL: Human Kinetics, 1990. – P. 387-412.

424. Sandbakk, Ø. A reappraisal of success factors for Olympic cross-country skiing / Ø. Sandbakk, H.C. Holmberg // *International Journal of Sports Physiology and Performance*. – 2014. – Vol. 9, No. 1. – P. 117-121. – DOI: 10.1123/ijsp.2013-0373.

425. Sandbakk, O. Analysis of a sprint ski race and associated laboratory determinants of world-class performance / O. Sandbakk, G. Ettema, S. Leirdal [et al.] // *European Journal of Applied Physiology*. – 2011. – Vol. 111, No. 6. – P. 947-957. – DOI: 10.1007/s00421-010-1719-9.

426. Sandbakk, Ø. Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling / Ø. Sandbakk, G. Ettema, H.C. Holmberg // *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. – 2014. – Vol. 24, № 1. – P. 28-33. – DOI: 10.1111/j.1600-0838.2012.01482.x.

427. Sandbakk, Ø. Physiological Capacity and Training Routines of Elite Cross-Country Skiers: Approaching the Upper Limits of Human Endurance / Ø. Sandbakk, H.C. Holmberg // *International Journal of Sports Physiology and*

Performance. – 2017. – Vol. 12, No. 8. – P. 1003-1011. – DOI: 10.1123/ijssp.2016-0749.

428. Sawka, M.N. Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness / M.N. Sawka, V.A. Convertino, E.R. Eichner [et al.] // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. – 2000. – Vol. 32, No. 2. – P. 332-348. – DOI: 10.1097/00005768-200002000-00012.

429. Schmidt, W. Impact of alterations in total hemoglobin mass on VO₂max / W. Schmidt, N. Prommer // *Exercise and Sport Sciences Reviews*. – 2010. – Vol. 38, No. 2. – P. 68-75. – DOI: 10.1097/JES.0b013e3181d4957a.

430. Schmitt, B. Transcriptional adaptations of lipid metabolism in tibialis anterior muscle of endurance-trained athletes / B. Schmitt, M. Flück, J. Décombaz [et al.] // *Physiological Genomics*. – 2003. – Vol. 15, № 2. – DOI: doi.org/10.1152/physiolgenomics.00089.2003.

431. Shaffer, F. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms / F. Shaffer, J. P. Ginsberg // *Frontiers in Public Health*. – 2017. – Vol. 5. – DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258.

432. Schoenfeld, B.J. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training / B.J. Schoenfeld // *Sports Medicine*. – 2013. – Vol. 43, no. 2. – P. 179-194. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0017-8>.

433. Schoenfeld, B.J. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training / B.J. Schoenfeld // *Journal of Strength and Conditioning Research*. – 2010. – Vol. 24, no. 10. – P. 2857-2872. – DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>.

434. Segizbaeva, M.O. EMG Analysis of Human Inspiratory Muscle Resistance to Fatigue During Exercise / M.O. Segizbaeva, Zh.A. Donina, N.N. Timofeev [et al.] // *Advances in Experimental Medicine and Biology*. – 2013. – Vol. 788. – P. 197. – DOI: 10.1007/978-94-007-6627-3_29.

435. Seiler, K.S. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? / K.S. Seiler, G.Ø. Kjerland //

Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. – 2006. – Vol. 16, No. 1. – P. 49-56. – DOI: 10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x.

436. Seiler, S. What is Best Practice for Training Intensity and Duration Distribution in Endurance Athletes? / S. Seiler // International Journal of Sports Physiology and Performance. – 2010. – Vol. 5, № 3. – P. 276-291. – DOI: 10.1123/ijsp.5.3.276.

437. Semenza, G.L. Regulation of oxygen homeostasis by hypoxia-inducible factor 1 / G.L. Semenza // Physiology. – 2009. – Vol. 24. – P. 97-106. – DOI: <https://doi.org/10.1152/physiol.00045.2008>.

438. Sheel, A.W. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans / A.W. Sheel, P.A. Derchak, B.J. Morgan [et al.] // The Journal of Physiology. – 2001. – Vol. 537, No. 1. – P. 277-289. – DOI: 10.1111/j.1469-7793.2001.0277k.x.

439. Smith, G.L. A review of the actions and control of intracellular pH in vascular smooth muscle / G.L. Smith, C. Austin, C. Crichton, S. Wray // Cardiovascular Research. – 1998. – Vol. 38, № 2. – P. 316-331.

440. Smith, L.L. Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? / L.L. Smith // Medicine & Science in Sports & Exercise. – 2000. – Vol. 32, № 2. – P. 317-331. – DOI: 10.1097/00005768-200002000-00011.

441. Spanidis, Y. Variations in Oxidative Stress Levels in 3 Days Follow-up in Ultramarathon Mountain Race Athletes / Y. Spanidis, D. Stagos, M. Orfanou [et al.] // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2017. – Vol. 31, № 3. – P. 582-594. – DOI: 10.1519/JSC.0000000000001584.

442. Stewart, I.B. The Human Spleen During Physiological Stress / I.B. Stewart, D.C. McKenzie // Sports Medicine. – 2002. – Vol. 32, No. 6. – P. 361-369. – DOI: 10.2165/00007256-200232060-00002.

443. Stöggl, T. Do Anthropometrics, Biomechanics, and Laterality Explain V1 Side Preference in Skiers? / T. Stöggl, K. Hébert-Losier, H.C. Holmberg //

Medicine and Science in Sports and Exercise. – 2013. – Vol. 45, № 8. – P. 1569-1576.

444. Strasser, B. Evidence for resistance training as a treatment therapy in obesity / B. Strasser, W. Schobersberger // *Journal of Obesity*. – 2011. – Vol. 2011. – DOI: 10.1155/2011/482564.

445. Takarada, Y. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion / Y. Takarada, Y. Nakamura, S. Aruga [et al.] // *Journal of Applied Physiology*. – 2000. – Vol. 88, no. 1. – P. 61-65. – DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.1.61>.

446. Terra, R. The Effects of Exercise on Immune System: Response, Adaptation and Cell Signaling / R. Terra, S.A.G. Silva, V.S. Pinto, P.M.L. Dutra // *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. – 2017. – Vol. 23, No. 3. – P. 239-245. – DOI: 10.1590/1517-869220172303152044.

447. Terzis, G. Upper body training and the triceps brachii muscle of elite cross country skiers / G. Terzis, B. Stattin, H.C. Holmberg // *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. – 2006. – Vol. 16, No. 2. – P. 121-126. – DOI: 10.1111/j.1600-0838.2005.00463.x.

448. Wessler, I. 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.

449. Tidbal, J.G. Inflammatory processes in muscle injury and repair / J.G. Tidbal // *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. – 2005. – Vol. 288, No. 2. – P. R345-R353. – DOI: 10.1152/ajpregu.00454.2004.

450. Tipton, K.D. Exercise-induced changes in protein metabolism / K.D. Tipton, R.R. Wolfe // *Acta Physiologica Scandinavica*. – 1998. – Vol. 162, Iss. 3. – P. 377-387. – DOI: 10.1046/j.1365-201X.1998.00306.x.

451. van Rooy, M.J. Platelet interaction with erythrocytes and propensity to aggregation in essential thrombocythaemia / M.J. van Rooy, E. Pretorius // *The*

Lancet – 2016. – Vol. 387, Iss. 10024. – P. 1210. – DOI: 10.1016/S0140-6736(16)00453-0.

452. Vanderlei, L.C.M. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains / L.C.M. Vanderlei, R.A. Silva, C.M. Pastre [et al.] // Brazilian Journal of Medical and Biological Research. – 2008. – Vol. 41, № 10. – P. 854-859. – DOI: 10.1590/s0100-879x2008005000039.

453. Walsh, N.P. Position statement. Part one: Immune function and exercise / N.P. Walsh, M. Gleeson, R.J. Shephard [et al.] // Exercise Immunology Review. – 2011. – Vol. 17. – P. 6-63.

454. Wang, H. Nicotinic acetylcholine receptor $\alpha 7$ subunit is an essential regulator of inflammation / H. Wang, M. Yu, M. Ochani [et al.] // Nature. – 2003. – Vol. 421, № 6921. – P. 384-388. – DOI: 10.1038/nature01339.

455. Webster, C.C. Gluconeogenesis during endurance exercise in cyclists habituated to a long-term low carbohydrate high-fat diet / C.C. Webster, T.D. Noakes, S.K. Chacko [et al.] // The Journal of Physiology. – 2016. – Vol. 594, Iss. 15. – P. 4389-4405. – DOI: 10.1113/JP271934.

456. Welde, B. The pacing strategy and technique of male cross-country skiers with different levels of performance during a 15-km classical race / B. Welde, T.L. Stöggl, G.E. Mathisen [et al.] // PLoS ONE. – 2017. – Vol. 12, No. 11. – Art. e0187111. – DOI: 10.1371/journal.pone.0187111.

457. Wessler, I. Acetylcholine beyond neurons: the non-neuronal cholinergic system in humans / I. Wessler, C.J. Kirkpatrick // British Journal of Pharmacology. – 2008. – Vol. 154, No. 8. – P. 1558-1571. – DOI: 10.1038/bjp.2008.185.

458. Wikström, M. Mechanism of proton translocation by cytochrome c oxidase: a new four-stroke histidine cycle / M. Wikström // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics. – 2000. – Vol. 1458, no. 1. – P. 188-198. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(00\)00068-2](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(00)00068-2).

459. Witczak, C.A. AMP-activated protein kinase in skeletal muscle: From structure and localization to its role as a master regulator of cellular metabolism /

C.A. Witczak, C.G. Sharoff, L.J. Goodyear // Cellular and Molecular Life Sciences. – 2008. – Vol. 65. – P. 3737-3755. – DOI: 10.1007/s00018-008-8244-6.

460. Yang, Y. Association between triglyceride-glucose index and lung function parameters in the general population undergoing health examinations / Y. Yang, S. Wang, B. Jia, S. Chen // Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy. – 2024. – Vol. 17. – P. 4031-4047. – DOI: 10.2147/DMSO.S487744.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица 1 – Изменения гормонального профиля крови при мышечной работе (по И.Е. Поповой, 2021)

Гормоны	Изменение уровня гормонов в крови	Биологический эффект
Адреналин, норадреналин	Повышение	Мобилизация энергетических ресурсов, увеличение содержания глюкозы и свободных ЖК в крови, повышение энергообеспечения тканей, реализация приоритетного кровоснабжения наиболее нуждающихся тканей*
Кортизол, глюкагон, соматотропин	Повышение	Мобилизация энергетических субстратов (главным образом, жиров)*
Адрено-кортико-тропный гормон	Повышение	Усиление новообразования глюкозы (глюконеогенеза) в печени и почках, улучшение энергообеспечения*
Инсулин	Понижение	Снижение потребления глюкозы тканями, интенсификация распада гликогена в мышцах*
Тироксин	Повышение или понижение (в зависимости от интенсивности работы)	Усиление основного обмена
Вазопрессин, альдостерон	Повышение	Усиление реабсорбции воды в почках, тем самым способствуя предотвращению обезвоживания организма и снижению объёма плазмы крови; нормализация АД
Андрогены, эстрогены	Повышение	Усиление биосинтеза белка в тканях, ускорение восстановительных процессов после нагрузок, стимуляция прироста мышечной массы*

Таблица 2 – Перечень обязательных биохимических показателей (в рамках УМО) при обследовании спортсменов*

Группа или вид обмена, функции, системы (крови), органа	Биомаркеры
Параметры гемограммы, лейкоцитарная формула	Эритроциты, RBC, гемоглобин HGB, средний объем MCV, среднее содержание гемоглобина в эритроците MCH, средняя концентрация гемоглобина в эритроците MCHC, показатель распределения RDW, тромбоциты PLT, ретикулоциты Ret
Гемостаз, оценка микроциркуляции	Фибриноген, тромбиновое и протромбиновое время, антитромбин III, АЧТВ, растворимые комплексы фибрин-мономеров (РКФМ), Д-димер, фибринолитическая активность
Углеводный обмен	Глюкоза, инсулин
Липидный обмен	Холестерин, ЛВП, ЛНП, триглицериды
Белковый обмен, степень повреждения мышечной ткани	Общий белок, альбумин, глобулин, белковые фракции, креатинин, КФК, миоглобин
Функция печени и поджелудочной железы	Билирубин, АСТ, АЛТ, ЩФ, ЛДГ, альфа-амилаза
Эритропоэз	Сывороточное железо, ферритин, эритропоэтин
Минеральный обмен	Паратиреоидный гормон, кальцитонин, Mg, Ca, K, Cr, Zn, Se, Cu
Гормональный профиль	тестостерон, кортизол, ТТГ, Т4, соматотропин, стероидсвязывающий гормон, инсулиноподобный фактор роста, катехоламины (адреналин, норадреналин, дофамин)

*Методология комплексной оценки адаптационного потенциала спортсмена к нагрузке /А. А. Спасский, М. А. Мягкова, А. И. Левашова [и др.].

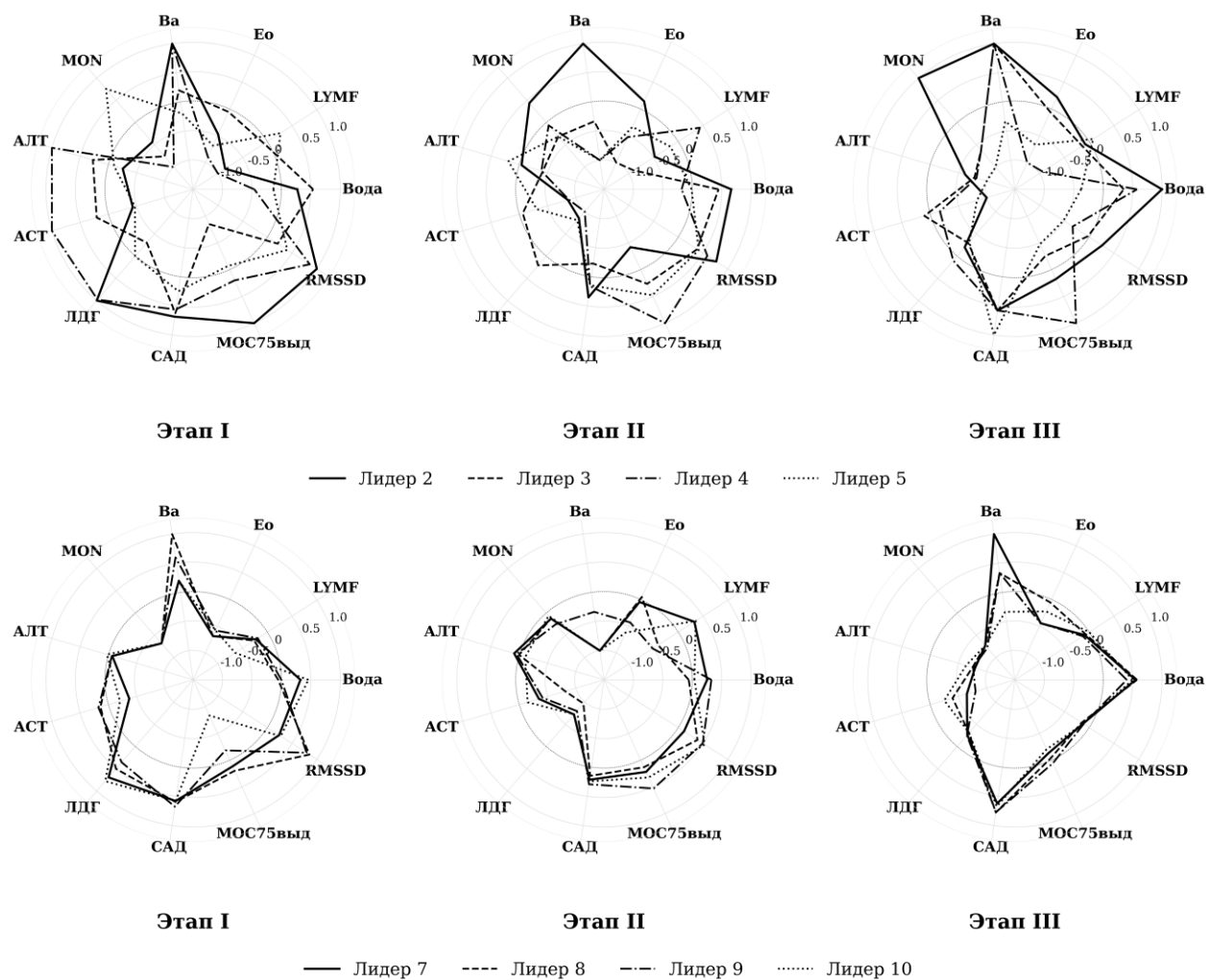


Рисунок 1 – Персонифицированные профили функционально-метаболического обеспечения адаптации у лыжников-гонщиков группы лидеров с различными типами вегетативной регуляции на этапах подготовительного периода (нормализация «min-max» в интервал [-1; 1])

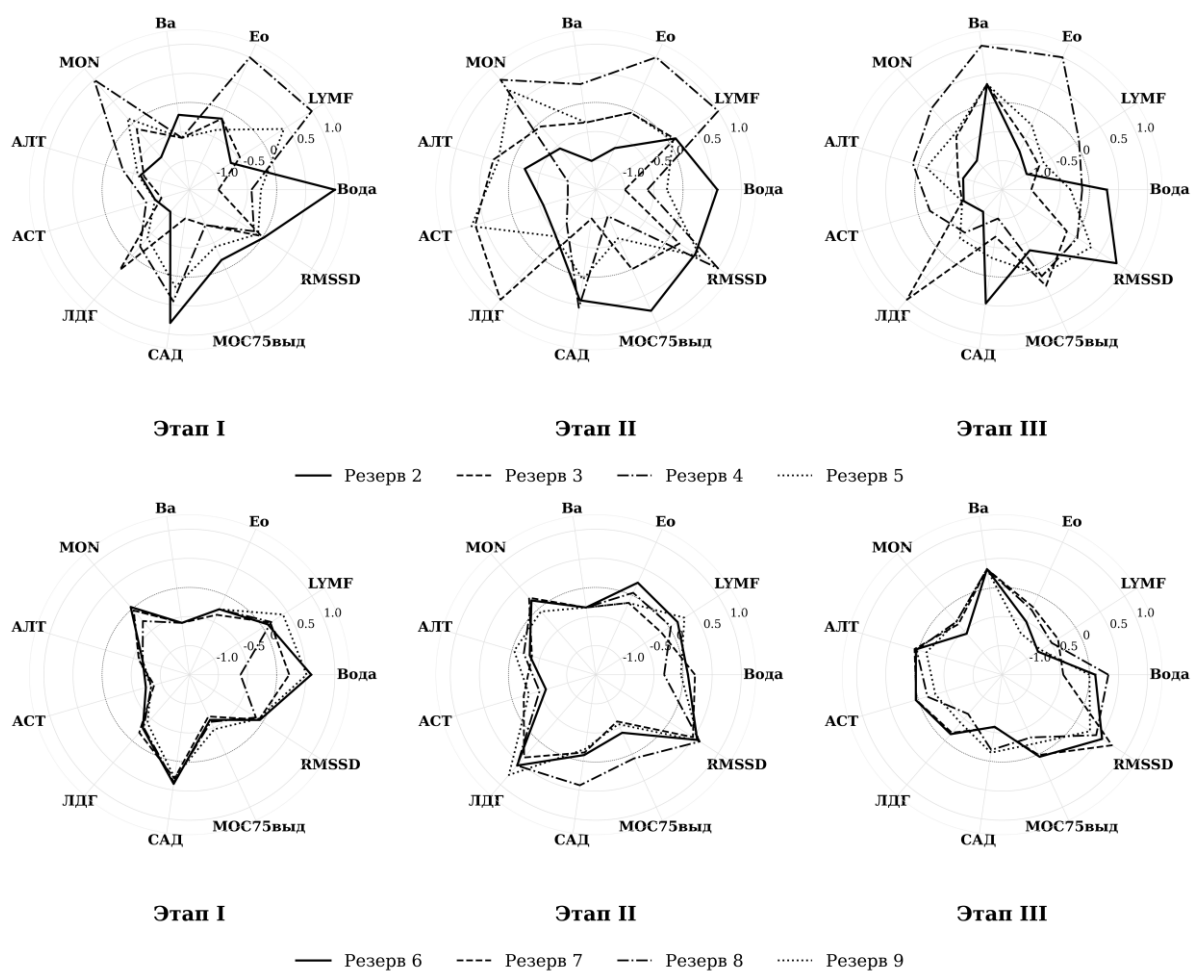


Рисунок 2 – Персонализированные профили функционально-метаболического обеспечения адаптации у лыжников-гонщиков группы резерва с различными типами вегетативной регуляции на этапах подготовительного периода (нормализация «min-max» в интервал [-1; 1])