



МИНИСТЕРСТВО СПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ФИЗИЧЕСКОЙ
КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СПОРТА

ПОДГОТОВКА БИАТЛОНИСТОВ ВЫСОКОГО КЛАССА: междисциплинарные решения



Коллективная монография

Под общей редакцией
А.С. Крючкова

Москва 2025 г.

МИНИСТЕРСТВО СПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА»
(ФГБУ ФНЦ ВНИИФК)
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СПОРТА

**ПОДГОТОВКА БИАТЛONИСТОВ ВЫСОКОГО КЛАССА:
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ РЕШЕНИЯ**

Коллективная монография

Под общей редакцией А.С. Крючкова

Москва
2025

УДК 796.922.093.642
ББК 75.719.59
П441

Авторский коллектив:
А.С. Крючков, Е.В. Федотова, М.А. Дикунец, Г.А. Дудко, Е.Б. Мякинченко

Рецензенты:

В.С. Якимович, ректор ФГБОУ ВО «Волгоградская государственная академия физической культуры и спорта», профессор, доктор педагогических наук.

С.А. Парастаев, профессор кафедры реабилитации, спортивной медицины и физической культуры ИПМ им. З.П. Соловьева ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, профессор, доктор медицинских наук.

А.А. Архипкин, заведующий клинико-диагностической лабораторией, врач КЛД ООО «Научный Центр ЭФиС», кандидат биологических наук.

Крючков А.С.

П441 **Подготовка биатлонистов высокого класса: междисциплинарные решения: коллективная монография / А.С. Крючков, Е.В. Федотова, М.А. Дикунец, Г.А. Дудко, Е.Б. Мякинченко; под общ. ред. А.С. Крючкова; ФГБУ ФНЦ ВНИИФК. – М., 2025. – 1 CD-ROM. – Текст: электронный.**

Монография подготовлена по результатам научно-исследовательских работ ФГБУ ФНЦ ВНИИФК в рамках государственных заданий № 777-00001-24 (№ 001-22/3), № 777-00001-25 (№ 001-25/9).

Данная монография представляет собой комплексное междисциплинарное исследование процесса подготовки высококвалифицированных биатлонистов в подготовительном периоде годичного макроцикла. В работе детально анализируется взаимосвязь между параметрами тренировочных нагрузок, динамикой биохимических маркеров в крови спортсменов и изменением кинематических характеристик соревновательных локомоций. На основе полученных данных разработаны научно обоснованные методические рекомендации по планированию и управлению тренировочным процессом, направленные на оптимизацию взаимодействия средств физической и технической подготовки, минимизацию интерференционного эффекта и объективизацию контроля за функциональным состоянием спортсменов.

Книга адресована тренерам, спортивным врачам, биохимикам, физиологам, а также научным работникам в области теории и методики спорта высших достижений.

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования: процессор Intel® или AMD с частотой не менее 1,5 ГГц, оперативная память 512 Мб, разрешение экрана 1024×768, привод оптических дисков, программное обеспечение, поддерживающее просмотр файлов в формате PDF.

Нелегальное использование данного продукта запрещено.

ISBN 978-5-94634-092-2

© Крючков А.С., Федотова Е.В.,
Дикунец М.А., Дудко Г.А.,
Мякинченко Е.Б., 2025
© ФГБУ ФНЦ ВНИИФК, 2025

Авторский коллектив

Крючков Андрей Сергеевич – кандидат педагогических наук, руководитель Национального центра спорта ФГБУ ФНЦ ВНИИФК – введение, гл. 4, заключение.

Федотова Елена Викторовна – доктор педагогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Лаборатории биохимии ФГБУ ФНЦ ВНИИФК – гл. 1.

Дикунец Марина Александровна – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории биохимии ФГБУ ФНЦ ВНИИФК – гл. 2.

Дудко Григорий Алексеевич – старший научный сотрудник Лаборатории биохимии ФГБУ ФНЦ ВНИИФК – гл. 2.

Мякинченко Евгений Борисович – доктор педагогических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории проблем спортивной подготовки ФГБУ ФНЦ ВНИИФК – гл. 3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	6
1 Периодизация тренировочных нагрузок в подготовительном периоде годичного макроцикла у высококвалифицированных биатлонистов.....	13
1.1 Динамика параметров циклической нагрузки и распределение основных средств подготовки циклического характера на этапах подготовительного периода	14
1.2 Динамика параметров силовой нагрузки и распределение средств силовой подготовки на этапах подготовительного периода	23
1.3 Эффект интерференции при одновременном использовании «конкурирующих» циклических и силовых нагрузок в рамках периодизированного тренировочного процесса.....	39
2 Особенности динамики биохимических маркеров под воздействием нагрузок различной направленности и интенсивности.....	50
2.1 Текущий контроль	54
2.2.1 Маркеры повреждения скелетных мышц.....	54
2.2.2 Маркеры гормонального статуса	60
2.2.3 Маркеры кислородтранспортной системы	65
2.2.4 Маркеры энергообеспечения мышечной деятельности.....	68
2.2.5 Маркеры микро- и макроэлементного обмена	76
2.2 Этапный комплексный контроль	80
2.2.1 Маркеры повреждения скелетных мышц и миокарда	80
2.2.2 Маркеры метаболизма костной ткани	89
2.2.3 Маркеры гормонального статуса	95
2.2.4 Маркеры иммунной системы	105
2.2.5 Маркеры активности центральной нервной системы	114
2.2.6 Маркеры кислородтранспортной системы	120
2.2.7 Маркеры энергообеспечения мышечной деятельности.....	128
2.2.8 Маркеры микро- и макроэлементного обмена	136
3 Особенности динамики кинематических характеристик специализированных локомоций у биатлонистов высокого класса в рамках подготовительного периода	146
3.1 Анализ динамики нагрузок и кинематических характеристик и параметров специализированных локомоций у биатлонистов в рамках подготовительного периода	148
3.2 Особенности динамики кинематических характеристик специализированных локомоций у биатлонистов высокого класса в рамках подготовительного периода	153
3.2.1 Общеподготовительный этап	156
3.2.2 Специально-подготовительный этап.....	162
3.2.3 Предсоревновательный этап.....	167
4 Методические рекомендации по планированию тренировочного процесса высококвалифицированных биатлонистов в рамках подготовительного периода ..	176
4.1 Методические рекомендации по организации и содержанию тренировочных нагрузок	176
4.2 Методические рекомендации по управлению силой и специфичностью тренировочных нагрузок, исходя из особенностей стресс-реакций различных систем организма высококвалифицированных биатлонистов в рамках подготовительного периода	186
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	199
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	205

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

- 1 ПМ – один повторный максимум
- АЛТ – аланинаминотрансфераза
- АнП – анаэробный вентиляторный (второй) порог
- АСТ – аспартатаминотрансфераза
- АэП – аэробного вентиляторный (первый) порог
- ГС – голеностопный сустав
- ДГТ – 5 α -дигидротестостероном
- ДГЭА – дегидроэпиандростерон
- ДГЭА-С – дегидроэпиандростерон-сульфат
- ДИ – доверительный интервал
- КС – коленный сустав
- КФК – креатинфосфокиназа
- МАМ – максимальная алактатная мощность
- МПК – максимальное потребление кислорода
- ООКХ – одновременный одношажный коньковый ход
- ОПЭ – общеподготовительный этап
- ОЦМТ – общий центр массы тела
- ПМ – повторный максимум
- ПС – плечевой сустав
- ПСЭ – предсоревновательный этап
- СПЭ – специально-подготовительный этап
- СРБ – С-реактивный белок
- ССС – сердечно-сосудистая система
- СФП – специальная физическая подготовка
- Т/К – отношение концентраций тестостерона к кортизолу
- ТБС – тазобедренный сустав
- ЦНС – центральная нервная система
- ЧСС – частота сердечных сокращений
- ЭРС – этап ранних стартов

ВВЕДЕНИЕ

Подготовка биатлонистов высокого класса призвана обеспечить готовность спортсменов к демонстрации максимально высокого спортивного результата на международной арене. Спортивный результат представляет собой продукт специально организованных двигательных действий, в рамках которых проявляются различные двигательные способности, то есть совокупность морфологических и психофизиологических свойств, определяющих целевую направленность, качественные признаки и рабочую эффективность мышечной деятельности человека [1]. Соответственно, система соревновательных двигательных действий должна выступать в качестве основного объекта всех тренирующих воздействий, организуемых в рамках как годичного, так и многолетнего процесса подготовки биатлонистов на этапе высшего спортивного мастерства. В связи с вышеизложенным подготовку биатлонистов высокого класса следует рассматривать как многосторонний, специально организованный педагогический процесс, направленный в первую очередь на качественное совершенствование и расширение функциональных возможностей соревновательной системы движений.

В качестве ведущего направления процесса подготовки биатлонистов высокого класса следует выделить специальную физическую подготовку, обеспечивающую морфофункциональную специализацию различных систем организма, лежащую в основе двигательных способностей спортсменов, благодаря которым расширяются функциональные возможности соревновательной системы движений или становится возможным овладеть новыми вариантами отдельных элементов техники специализированных локомоций. Другим важнейшим направлением подготовки выступает процесс совершенствования техники соревновательного движения, направленный либо на совершенствование способности к более полноценной реализации достигнутого уровня двигательных способностей, либо на изменение техники с учетом нового уровня развития двигательных способностей [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Таким образом, процесс специальной физической подготовки выступает не в качестве самостоятельного направления повышения эффективности мышечной работы, абстрактной по отношению к соревновательному движению и предметно-целевой по отношению к тренировочным средствам, в которых эти способности развиваются, а является обязательным условием направленного совершенствования соревновательного движения. В этой связи можно утверждать, что развитие двигательных способностей должно осуществляться таким образом, чтобы они выступали действенной основой для овладения необходимой техникой соревновательного движения и по мере своего развития

обеспечивали неуклонное расширение рабочих возможностей формируемого двигательного навыка [1, 7].

Все эти утверждения обобщены в сформулированном в литературе принципе «Единства и взаимосвязи структуры соревновательной деятельности и подготовленности», на который опираются специалисты и тренеры при программировании процесса подготовки в различных видах спорта [1, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Наличие взаимосвязи между морфофункциональной специализацией организма спортсмена, достигнутой в ходе специальной физической подготовки, и техникой специализированных локомоций позволяет целенаправленно влиять на сформированный двигательный стереотип, который принято называть динамическим [14, 15]. С другой стороны, возникает обусловленная самой природой целенаправленных двигательных действий человека методическая проблема, суть которой заключается в том, что сознательное движение является не простым внешним механическим отражением перемещения костных рычагов в результате сокращения скелетных мышц, а представляет собой психомоторную структуру, в рамках которой органично взаимосвязаны целевой, смысловой и моторный компоненты.

Выполнение любого упражнения требует управления ресурсами внимания, интерпретации эмоциональных реакций и эффективной регуляции мыслей, что осуществимо только при координации сложных психологических и физиологических реакций со стороны когнитивных структур головного мозга и их функциональным сетям [16, 17, 18, 19]. В этом случае изменение состояния внутренней среды спортсмена, эмоций и самочувствия непременно скажется на системе корковой организации и управления движением. Необходимо понимать, что движение «живое», оно является внешним проявлением (выражением) наших чувств, мыслей, состояния, не предусматривая внутренней личностной оторванности человека от своей телесности и двигательных проявлений. С этих позиций понимания двигательных действий человека, в том числе выполняемые биатлонистами высокого класса, возникает методическая проблема – развивая двигательные способности в рамках микроциклов подготовки, как непременного условия расширения рабочих возможностей соревновательной системы двигательных действий, наблюдается изменение текущего функционального состояния организма спортсменов, на фоне которого работа над моторным обучением или совершенствованием техники может являться малопродуктивной [1, 3].

Одним из проявлений функционального состояния организма, возникающего в ходе тренировочного процесса, выступает психоэмоциональная напряженность, под которой понимается временное снижение устойчивости психических и двигательных функций, выраженность вегетативных реакций и снижение работоспособности спортсмена [15].

Кроме того, большие по своему объему и интенсивности нагрузки выступают в роли основного фактора тренирующих воздействий, а для этапа высшего спортивного мастерства еще и непременным условием развития необходимого уровня морфофункциональной специализации систем организма. При этом метаболиты, образующиеся в процессе мышечной работы, функционируют в качестве индукторов послерабочего синтеза различного рода белковых структур [20]. В зависимости от специфики мышечной деятельности создается пул специфических метаболитов («метаболический след»), определяющих направленность и выраженность морфофункциональных перестроек в нагружаемых системах организма спортсменов. В результате чего создаются условия для постепенного повышения уровня работоспособности спортсменов в том режиме работы организма, который задается в ходе тренировочного воздействия [1].

Принципиально важно, что формируемый в ходе выполнения упражнений «метаболический след» оказывает влияние на зоны мозга ответственные за планирование и управление моторной стратегией двигательного поведения спортсменов. Это обусловлено тем, что одним из главных свойств нервных центров является изменение их фоновой активности, вызванной гуморальным влиянием биологически активных веществ в крови человека (спортсмена), в частности гормонов и микроэлементов, а также афферентной импульсацией от различных рецепторов организма. Сенсорные системы мозга, детектируя изменения состояния внутренней среды, передают сигналы в центры эмоционального и когнитивного контроля поведения спортсмена, чем влияют на пространственно-временную организацию спортивных локомоций, то есть на технику выполнения упражнений. Таким образом, предельные нагрузки, являясь источником физического и эмоционального стресса, способны на определенное время формировать такое функциональное состояние спортсмена, при котором работа над совершенствованием техники специализированных локомоций может быть не продуктивна.

Для устранения психоэмоциональной напряженности и завершения фазы реституционного процесса, в частности белкового синтеза, каждый нагрузочный мезоцикл подготовки продолжительностью, как правило, от 18 до 21 дня, заканчивается восстановительным микроциклом длительностью 5-7 дней. Задачей микроцикла является восстановление психики и завершение морфофункциональных перестроек в организме спортсменов, инициированных в ходе тренировочного процесса. В то же время необходимо понимать, что спортсмены высокого класса тренируются круглогодично, варьируя различными параметрами нагрузок (объемом, интенсивностью, специфичностью, продолжительностью и т.д.) в зависимости от периода (подготовительный,

соревновательный, переходный) и этапа подготовки (общеподготовительный, специально-подготовительный, этап ранних стартов). Соответственно, даже в рамках восстановительного микроцикла полного отказа от выполнения тренировочных нагрузок не происходит. Спортсмены в меньшем объеме и, как правило, с несколько меньшей интенсивностью и продолжительностью занятий, но продолжают тренироваться. В этом случае, если тренером были допущены методические просчеты и «восстановительные» нагрузки по своим параметрам обладают повышенной нагрузочной стоимостью, наблюдается замедление скорости постнагрузочного восстановления, и к началу очередного мезоцикла подготовки у спортсмена не наблюдается суперкомпенсации работоспособности.

Кроме того, в рамках самих нагрузочных мезоциклов у спортсменов не предусмотрены длительные восстановительные паузы. Как правило, в ходе 18-21-дневного тренировочного периода биатлонисты затрачивают суммарно 3.5-4 дня на восстановление, упорядоченных в мезоцикле, исходя из задач подготовки, специфики содержания и распределения нагрузок в рамках каждого тренировочного дня. В этом случае зачастую создаются условия, когда очередной тренировочный день спортсмен встречает в недовосстановленном от предшествующей тренировки состоянии организма. Таким образом, создается ситуация, при которой эффекты утомления, функционально взаимодействуя в течении микро- и мезоцикла, могут стимулировать последующее развитие двигательных способностей, но при этом снижать качество тренировок по совершенствованию техники специализированных движений и тем самым существенно рассинхронизировать по времени темп морфофункциональных перестроек и моторного обучения в рамках подготовительного периода.

Отмеченные противоречия позволяют сформулировать основные актуальные в настоящее время проблемы в области программирования, организации и управления тренировочным процессом биатлонистов на этапе высшего спортивного мастерства:

- проблема обеспечения рационального взаимодействия разнонаправленных средств физической и технической подготовки биатлонистов на различных этапах подготовительного периода;
- проблема объективизации контроля и количественных оценок силы тренирующих воздействий, применяемых на различных этапах подготовительного периода;
- проблема прогнозирования вероятностных изменений уровня физической и технической подготовленности биатлонистов высокого класса в зависимости от параметров применяемых нагрузок и текущего функционального состояния, оцениваемого в рамках

биохимического мониторинга по величине «метаболического следа» и уровню биологически активных веществ в крови спортсменов.

Решение поставленных проблем, на наш взгляд, может осуществляться на основе системного подхода, в рамках которого повышение рабочего эффекта соревновательного упражнения (скорости передвижения) выполняет роль системообразующего фактора, определяющего содержание и направленность средств физической подготовки, задачей которых является создание условий для овладения более совершенными вариантами техники и расширения рабочих возможностей соревновательной системы двигательных действий. При этом для организации тренировочного процесса требуется не просто понимать взаимосвязь характеристик техники специализированных локомоций и компонентов двигательных способностей, но и уметь контролировать характер и величину изменений «метаболического следа», создаваемого тренировочными нагрузками и влияющего на текущее функциональное состояние спортсменов. Понимание того факта, что в зависимости от специфики «метаболического следа» и уровня биологически активных веществ в крови спортсменов будет не только определяться направленность морфофункциональной специализации систем организма, но и изменяться качество «конструирования» специализированных двигательных действий, позволит рациональнее сочетать средства физической и технической подготовки в рамках микро- и мезоциклов.

Преследуя цель минимизации негативного взаимодействия эффектов средств физической и технической подготовки, многие тренеры разделяют во времени тренировочные нагрузки, направленные на развитие двигательных способностей, с одной стороны, и совершенствование техники специализированных двигательных действий – с другой. Такая концепция построения тренировочного процесса получила название «отставленного переноса тренированности». Данная методическая концепция, сформированная в условиях вышеотмеченных противоречий, предусматривает применение большого объема средств физической подготовки на общеподготовительном этапе (далее – ОПЭ) с последующей перестройкой или «подстройкой» («трансформацией») техники специализированных движений под достигнутый уровень физической подготовленности на специально-подготовительном (далее – СПЭ) и предсоревновательном (далее – ПСЭ) этапах [1].

Необходимо признать, что на современном уровне требований спорта высших достижений к организму биатлонистов помимо концепции «отставленного переноса тренированности» необходимо упомянуть концепцию «текущего переноса тренированности», заключающуюся в такой организации тренировочного процесса, при которой работа над совершенствованием техники специализированных локомоций и

развитие двигательных способностей в рамках микро- и мезоциклов осуществляются параллельно и не создают антагонистических тренировочных эффектов [1]. Идея данной концепции не нова, однако при ее реализации в практике подготовки биатлонистов высокого класса, по нашему мнению, пока слишком много субъективизма со стороны тренерского штаба и недостаточно научно обоснованных подходов к эффективному построению тренировочного процесса на ее основе.

Настоящая работа посвящена подготовке специалистов, осуществляющих подготовку биатлонистов высокого класса, к преодолению объективных и субъективных затруднений, возникающих при программировании и управлении процессом физической и технической подготовки спортсменов. При этом следует признать, что затрагиваемые в работе проблемы еще далеки от своего окончательного решения. Тем не менее, авторы взяли на себя смелость, применяя исключительно ту информацию, которой владеют тренеры национальной сборной команды России по биатлону, под несколько иным углом посмотреть на возможные подходы к решению обозначенных проблем, рассмотрев в единстве и взаимосвязи применяемые тренировочные нагрузки, биохимические реакции организма на нагрузки, а также динамику физической и технической подготовленности спортсменов. Хочется надеяться, что при таком подходе книга будет интересна не только специалистам в области спортивной медицины, физиологии или биохимии, но и тренерам, осуществляющим подготовку как спортивного резерва, так и основного состава сборной команды нашей страны.

Авторы выражают большую признательность специалистам Национального центра спорта ФГБУ ФНЦ ВНИИФК к.п.н. П.Е. Мякинченко и М.В. Волкову за статистическую обработку массива данных и консультационную поддержку при подготовке отдельных разделов данной рукописи, а также тренерам мужской сборной команды России по биатлону, специалистам КНГ и сотрудникам ООО «НЦ ЭФиС» (руководитель Костина Лидия Васильевна), без которых данная монография не смогла бы появиться, а также уважаемым рецензентам за ценные замечания при подготовке рукописи монографии.

Отдельно хотелось бы поблагодарить генерального директора ФГБУ ФНЦ ВНИИФК, д.п.н. А.Г. Абаяна как автора идеи написания книги, которая, несмотря на наличие большого количества фактологического материала из области физиологии и биохимии, по своему изложению ориентирована в первую очередь на тренерские кадры, осуществляющие подготовку спортивного резерва и основного состава сборной команды России по биатлону.

1 Периодизация тренировочных нагрузок в подготовительном периоде годичного макроцикла у высококвалифицированных биатлонистов

Основной целью этапного комплексного контроля является определение показателей подготовленности и функциональных возможностей спортсмена, характеризующих результат долговременной адаптации организма и позволяющих провести оценку эффективности конкретного этапа подготовки. Результаты мероприятий текущего контроля обеспечивают получение информации, позволяющей на уровне микро- и мезоциклов оценивать реакцию организма спортсмена на выполнение физических нагрузок разной величины, направленности и специфики, проводить оценку скорости восстановления, переносимости нагрузок, что, в свою очередь, является объективной основой для своевременной коррекции индивидуальных тренировочных планов. Одним из ключевых требований к обеспечению качественного контроля динамики адаптационных процессов к выполняемым тренировочным нагрузкам является использование адекватных и информативных методов исследования. В их число входят биохимические методы, в значительной степени отвечающие требованиям адекватности и информативности, занимающие одно из ведущих мест в комплексном контроле как неотъемлемой части системы подготовки спортсменов высокой квалификации и широко использующиеся при оценке воздействия физических нагрузок на организм спортсменов. Отличаясь высокой точностью и надежностью, они существенно расширяют и дополняют возможности оценки функционального состояния организма, позволяют объективно оценивать величину и направленность его изменений в ходе тренировочного процесса, комплексно отражают картину метаболических сдвигов в различных системах, органах и тканях под влиянием выполняемых физических нагрузок.

Основной принцип, который должен быть положен в основу системы использования биохимических маркеров в качестве средств контроля за текущим и этапным состоянием спортсмена, – это непрерывный мониторинг на протяжении всего годичного цикла подготовки [21]. При этом должны учитываться: специализация спортсмена, его индивидуальные особенности, предлагаемые нагрузки, этап подготовки и текущие тренировочные задачи. Использование межиндивидуальных сравнений допускается только в рамках гомогенных (по признакам пола, возраста, специализации и квалификации) групп спортсменов, а изменчивость показателей следует анализировать не изолированно, а в сочетании. Таким образом, целью изучения динамики биохимических маркеров в рамках этапного комплексного контроля является определение групповых и индивидуальных коридоров изменчивости при условии дифференцирования кумулятивных и этапных

изменений и их сопоставление со степенью переносимости организмом спортсменов нагрузок различной направленности.

В исследовании, одобренном этическим комитетом ФГБУ ФНЦ ВНИИФК и проведенном в соответствии с Хельсинской декларацией, приняли участие спортсмены, проходящих централизованную подготовку в составе мужской сборной команды России по биатлону. Все спортсмены добровольно подписывали информированное согласие на участие в исследовании, медицинское вмешательство, использование информации в научных целях и публикацию результатов при условии соблюдения анонимности. Каждый спортсмен был проинформирован о рисках и потенциальном дискомфорте в ходе исследования. Антропометрические характеристики биатлонистов высокого класса:

- возраст – 25.29 ± 3.20 лет;
- масса тела – 76.02 ± 7.60 кг;
- длина тела – 179.5 ± 6.7 см;
- индекс массы тела – 23.55 ± 1.38 кг/м²;
- МПК – 69.61 ± 6.65 мл/мин/кг.

1.1 Динамика параметров циклической нагрузки и распределение основных средств подготовки циклического характера на этапах подготовительного периода

В связи с тем, что изучение влияния естественного тренировочного процесса на динамику биохимических маркеров у спортсменов невозможно без одновременного учета влияния нагрузок аэробной и силовой направленности, для целей этого исследования мониторинг нагрузок циклической направленности осуществляли с использованием нагрудных датчиков сердечного ритма Polar и специализированного программного обеспечения Polar Flow.

Параметры объема нагрузки оценивались по времени тренировочного воздействия. Интенсивность тренировочного занятия определялась на основе программного алгоритма Polar Flow посредством измерения времени (абсолютного – в минутах и секундах и относительного – в %) нахождения спортсмена в каждой из индивидуальных пульсовых тренировочных зон (рисунок 1.1).

Индивидуальная пульсовая тренировочная зона – это диапазон значений ЧСС, используемый для совершенствования конкретного физического качества, определенного вида функциональных возможностей спортсмена. Совокупная последовательность этих зон выглядит как непрерывная шкала от ЧСС_{покоя} до ЧСС_{макс}: верхняя граница одной зоны является нижней границей последующей, характеризующейся более интенсивной нагрузкой. Такое деление построено на принятой в теории спорта и спортивной практике классификации тренировочных нагрузок, основанной на их зависимости от интенсивности

и характера физиологических сдвигов в организме спортсмена при выполнении соответствующей нагрузки [22]. Для каждого участника исследования на основе результатов ранее пройденного функционального тестирования были рассчитаны границы зон, зафиксированные в индивидуальных мониторах сердечного ритма.



Рисунок 1.1 – Распределение тренировочных нагрузок разной модальности по зонам интенсивности (справа от каждого графика-пульсограммы) с использованием алгоритма расчета программного обеспечения Polar Flow и подхода «время нахождения в зоне»

В представленной классификации интенсивности нагрузки учитывался и уровень лактата. Его количественная оценка в рамках текущего контроля предоставляет тренеру информацию не только о функциональном состоянии спортсмена, протекании срочных адаптационных процессов и развертывании механизмов энергообеспечения, но и может служить основанием для коррекции тренировочного процесса, например, снижения или повышения интенсивности используемых тренирующих средств с целью повышения энергетического потенциала мышечных волокон. Схема распределения нагрузок циклической направленности по интенсивности представлена на рисунке 1.2.

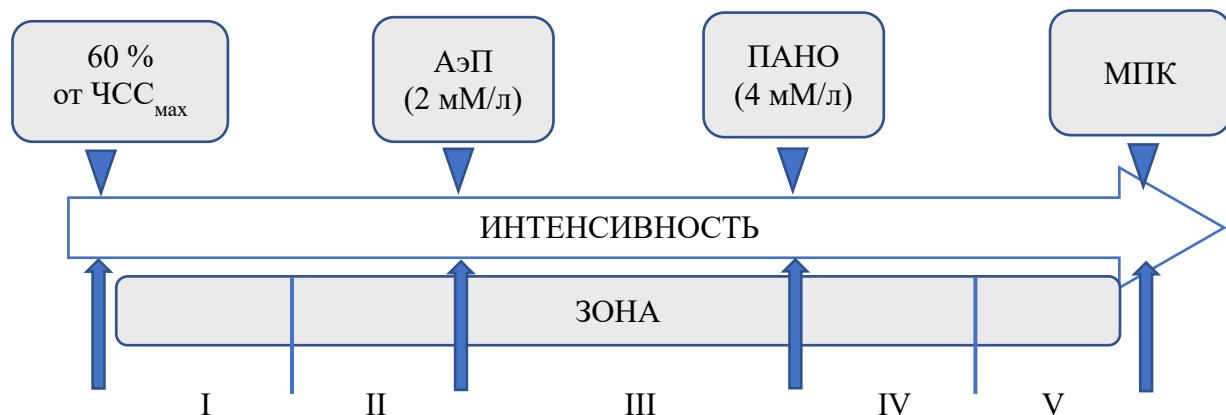


Рисунок 1.2 – Схема распределения циклических средств подготовки по интенсивности

Используемые в тренировочном процессе биатлонистов циклические средства подготовки (ходьба, бег, велосипед, плавание, лыжероллеры, лыжи и кросс-походы) по интенсивности нагрузки были классифицированы следующим образом:

- нагрузка низкой интенсивности – I-II зоны интенсивности по ЧСС (интенсивность физической нагрузки ниже аэробного порога (далее – АэП), концентрация лактата в крови $< 2 \text{ мМ/л}$);
- нагрузка средней интенсивности – III зона интенсивности по ЧСС (от АэП до порога анаэробного обмена (далее – АнП), концентрация лактата 2-4 мМ/л);
- нагрузка высокой интенсивности – IV-V зоны интенсивности по ЧСС (выше АнП, концентрация лактата $> 4 \text{ мМ/л}$).

Результаты многочисленных исследований последних лет подтверждают, что большой объем низкоинтенсивной работы является неотъемлемой составляющей подготовки спортсменов высокой квалификации в циклических видах спорта [22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30]. В зависимости от конкретного подхода к количественной оценке (то есть распределения тренировочных занятий относительно времени нахождения в той или иной зоне интенсивности), около 80-90 % упражнений на выносливость выполняются с низкой интенсивностью (ниже АэП), а оставшиеся 10-20 % – с более высокой [28, 31, 32, 33, 34, 35]. Основной тренировочный эффект низкоинтенсивных циклических нагрузок обусловлен их воздействием на такие факторы, способствующие повышению уровня аэробных возможностей спортсменов, как увеличение ударного объема сердца, объема митохондриальной массы, повышение эффективности митохондрий и активности аэробных ферментов, рост капилляризации, гипертрофия окислительных мышечных волокон, совершенствование механизмов транспорта лактата. Необходимо отметить и такую адаптационную реакцию на тренировки с использованием низкоинтенсивных упражнений, как повышение способности мышц к утилизации (мобилизации и использованию) жирных кислот, приводящее к меньшему накоплению внутриклеточных метаболитов (лактата, ионов водорода, неорганического фосфора, аденоzinинфосфата и аденоzinмонофосфата) и сохранению запасов гликогена [22].

Нагрузки средней интенсивности включали в себя упражнения с дополнительным внешним сопротивлением с использованием интервального или переменного метода с передвижением по сложному рельефу. Тренировочный эффект среднеинтенсивных циклических нагрузок заключается в повышении аэробных возможностей медленносокращающихся и быстросокращающихся окислительных мышечных волокон, совершенствовании процессов сопряжения креатинфосфатного механизма и

окислительного фосфорилирования, а также снижении активности АТФ-зы миозина в быстросокращающихся мышечных волокнах.

К нагрузкам высокой интенсивности относились спринтерские интервальные и повторные тренировки, основной тренировочный эффект которых направлен на увеличение потенциала нервно-мышечного аппарата с целью повышения соревновательной скорости, сократительных возможностей скелетных мышц, аэробных возможностей быстрых окислительно-гликолитических мышечных волокон, мощностей алактатного и анаэробно-гликолитического механизмов энергообеспечения в быстросокращающихся мышечных волокнах, эффективности выведения из них лактата и резистентности мышечных волокон к лактацидному ацидозу. Кроме того, данные нагрузки позволяют увеличить выталкивающую силу сердца и активизировать нейрональный механизм предельного повышения ЧСС. Интенсивность используемой тренировочной нагрузки обусловливает тип физиологической адаптации к аэробным тренировкам – по мере увеличения интенсивности тренировок направленность адаптации смещается от центральной к периферической.

Общий объем нагрузок циклической направленности, выполненный биатлонистами за подготовительный период, составил $361:30\pm45:18$ ч:мин, из них доля нагрузок низкой интенсивности составила 94.4 %, средней – 3.7 %, высокой – 1.9 %. В таблице 1.1 представлено распределение циклических средств подготовки по интенсивности на каждом этапе подготовительного периода годичного макроцикла.

Таблица 1.1 – Объемы работы циклической направленности, выполненные биатлонистами высокого класса (n=23) на различных этапах подготовительного периода годичного макроцикла

Параметр	Интенсивность по ЧСС (зона)	Этап подготовки		
		ОПЭ	СПЭ	ПСЭ
Объем циклической работы, ч:мин	I, II	116:04±22:42	170:20±21:40	55:11±23:45
	III	2:56±1:24	8:05±1:29	2:18±1:22
	IV, V	00:32±00:12	04:55±00:37	01:04±00:28
	Всего	119:47±15:00	183:31±13:56	58:40±12:20
Объем циклической работы, %	I, II	97.1	92.9	94.2
	III	2.5	4.4	3.9
	IV, V	0.5	2.7	1.8
	Всего	100	100	100

Данные, полученные с использованием подхода «время в зоне», приведены как в абсолютном выражении (в часах и минутах), так и в виде парциального объема – в % от общего времени циклической нагрузки. На ОПЭ в тренировочном процессе биатлонистов практически отсутствуют циклические нагрузки высокой интенсивности, соответствующие

уровню IV-V-ой пульсовых зон. Наибольший объем работы средней и высокой интенсивности локализован на СПЭ – 4.4 и 2.7 %, соответственно.

Изменение показателей суммарного времени циклической нагрузки и времени работы в зонах интенсивности в ходе подготовительного периода представлено на рисунке 1.3. Графики наглядно отражают волнобразный характер динамики общего объема циклических упражнений: с максимумом в июне, последовательным снижением до сентября (на 18 ч относительно июня) и ростом в октябре. Схожая тенденция отмечена и при анализе динамики объема низкоинтенсивной нагрузки – общий объем циклической работы и объем низкоинтенсивной аэробной тренировки имеют двухпиковую динамику с преобладанием первой волны. Динамика циклических средств подготовки средней интенсивности по месяцам подготовительного периода годичного макроцикла биатлонистов имела аналогичный вид, однако максимальный объем был зафиксирован в июле. Необходимо отметить, что объемы низко- и среднеинтенсивной аэробной нагрузки повышаются постепенно, начиная с короткого втягивающего этапа в мае и достигая максимальных значений в июне-июле.

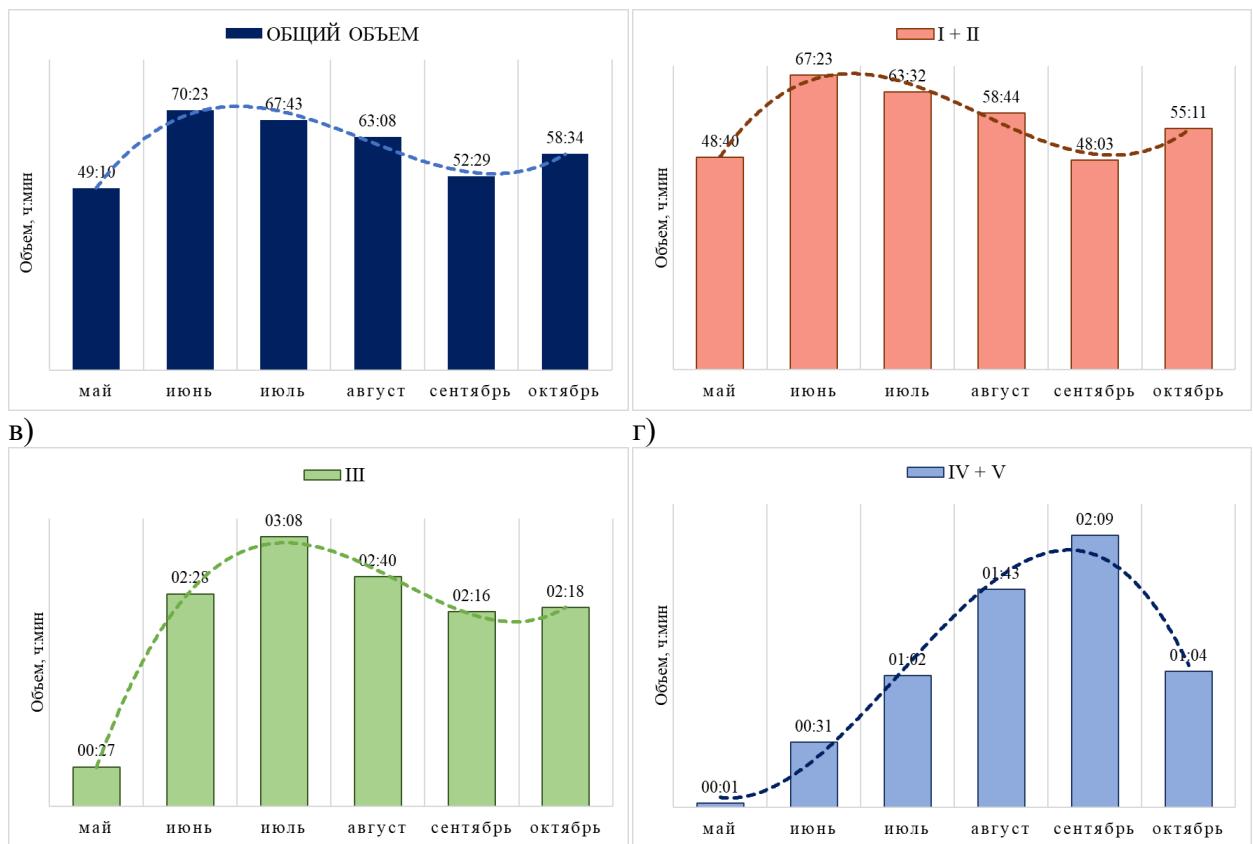


Рисунок 1.3 – Распределение циклических средств подготовки по интенсивности в подготовительном периоде годичного макроцикла биатлонистов высокого класса (n=23):
а) общий объем циклической нагрузки, б) низкоинтенсивные нагрузки (I-II зоны), в) нагрузки средней интенсивности (III зона), г) высокоинтенсивные нагрузки (IV-V зоны)

Характер динамики объема высокоинтенсивной нагрузки циклической направленности отличается от вышерассмотренных наличием одного пика. Циклические нагрузки высокой интенсивности биатлонисты начинают использовать только в конце ОПЭ (июнь), их доля от общего объема составляет 0.7 %. В июле и августе объем высокоинтенсивных нагрузок увеличивается, максимум был зафиксирован в сентябре – 4.1 %, а в октябре нагрузка снижалась в ~2 раза (1.8 %). Необходимо подчеркнуть, что нагрузки высокой интенсивности включаются в тренировочный процесс подготовки спортсменов только после необходимой адаптационной перестройки нервно-мышечного аппарата, морфофункциональных структур организма и повышения аэробной мощности, поскольку выраженная стресс-реакция организма на данные упражнения создает благоприятные условия для развертывания долговременных адаптационных процессов. Высокоинтенсивные нагрузки на ПСЭ, когда цикл адаптационных перестроек в нагружаемых системах завершается, используются для их стабилизации на новом, более высоком уровне развития и функционирования. Кроме того, интервальные тренировки с использованием максимально интенсивных интервалов с течением временем являются нерациональными, поскольку в краткосрочной перспективе подход к выполнению интервалов с максимальным усилием может привести к нежелательному и несвоевременному пиковому ответу (при условии достаточного восстановления между такими «жесткими» подходами), а в долгосрочной – ограничить накопленную при выполнении тренировок средней и высокой интенсивности нагрузку путем сокращения времени выполнения одиночных тренировок и более длительных периодов восстановления после них. Также увеличивается риск возникновения перетренированности и эмоционального выгорания по причине умственного и физического напряжения, вызванного такими изнуряющими тренировками. По этой причине тренеры проявляют особую осторожность с назначением спортсменам тренировочных нагрузок на максимуме возможностей или стараются не вводить их слишком рано в рамках годового цикла подготовки [28, 29, 36, 37, 38] в соответствии с традиционной концепцией периодизации тренировок [9].

Специалисты, как правило, применяют ограниченный набор упражнений в каждой зоне интенсивности. Таким образом, каждое ключевое тренировочное задание выступает в роли теста, в ходе которого от недели к неделе сравниваются ЧСС, уровень лактата в крови, скорость/мощность и тяжесть нагрузки/утомление. Принцип контроля – фундаментальная особенность спорта высших достижений, позволяющая определить адаптируемость спортсменов к тренировкам, выявить индивидуальные реакции, осуществлять мониторинг состояния утомления и соответствующую потребность в восстановлении, а также свести к

минимуму риск нефункциональных перегрузок, заболеваний и травм [39, 40]. Также разумно предположить, что внедрение хорошо изученных моделей тренировок увеличивает вероятность повышения качества обучения. Тренеры в первую очередь адаптируют модели тренировок под индивидуальные особенности спортсмена и требования вида спорта, а не основываются исключительно на половой принадлежности, как это было ранее описано в литературе [41].

Отличительной особенностью проанализированных в настоящем исследовании протоколов регистрации планируемых физических нагрузок и фактически выполненных биатлонистами в рамках одного учебно-тренировочного мероприятия подготовительного периода является чередование тяжелых и легких нагрузок. Разработанная Л.П. Матвеевым [9] модель периодизации тесно связана с принципом стимула и реакции (также известным как принцип суперкомпенсации или тренировочной адаптации), суть которого заключается в том, что тренировочный стресс вызывает острое утомление и повреждение физиологических структур, а во время последующей фазы восстановления организм не только возвращается к исходному состоянию, но и компенсирует последствия стресса с избытком для того, чтобы лучше подготовиться к последующим тренировочным сессиям. Чем больше тренировочный стресс, тем большее количество времени требуется на восстановление [66]. Тренеры рассматривают тренировочный день (а не только каждое отдельное занятие) в качестве единицы управления стрессом, поэтому увеличение интенсивности нагрузки во время планового «высокострессового» тренировочного дня более целесообразно, нежели чем добавление в микроцикл дополнительного тренировочного дня с высокой нагрузкой. Средне- и высокоинтенсивная нагрузка в сочетании с фактически выполненной общей продолжительностью работы инициируют сильный стресс, усиливаемый высокой абсолютной интенсивностью и связанным с ней метаболическим потоком. В данной работе и недавно опубликованных исследованиях [28, 29, 36, 37, 41] показано, что несколько подряд идущих тяжелых тренировочных дней редко планируются тренерами. Напротив, для современных спортсменов высокого класса, занимающихся видами спорта на выносливость, характерна периодичность чередования тяжелых и легких тренировок, которые, по-видимому, стимулируют комплексный набор частично совпадающих и взаимодополняющих адаптаций [42, 43], что оправдывает систематическое изменение интенсивности таких занятий для совершенствования работоспособности в видах спорта на выносливость. В целом, тренеры высокого класса применяют вышеописанный подход на ежедневной основе, чтобы точечно управлять и в значительной степени «поляризовать» тренировочный стресс, а не интенсивность работы, обеспечив тем самым необходимое восстановление. Тренерская работа экстра-класса

заключается в управлении системными ресурсами, затрачиваемыми на поддержание высокой частоты и объема тренировок и, следовательно, высокого адаптивного сигнала. Во всех видах спорта успех высококлассных тренеров измеряется с точки зрения долгосрочного мышления и сохранения здоровья и способности выполнять работу, необходимую для достижения высоких результатов.

Периодизация процесса подготовки биатлонистов на этапах подготовительного периода затрагивает не только параметры объема и интенсивности используемых циклических средств, но и уровень их специфичности, соответствия кинематико-временным параметрам соревновательной деятельности. К основным видам специфичных циклических средств, используемых биатлонистами, относятся передвижение на лыжах, лыжероллерах и имитация (шаговая и прыжковая), к основным неспецифическим средствам – ходьба, бег, бег с палками и велоподготовка. Тенденции изменения объема суммарного времени специфических и неспецифических циклических средств подготовки биатлонистов в ходе подготовительного периода представлены на рисунке 1.4.

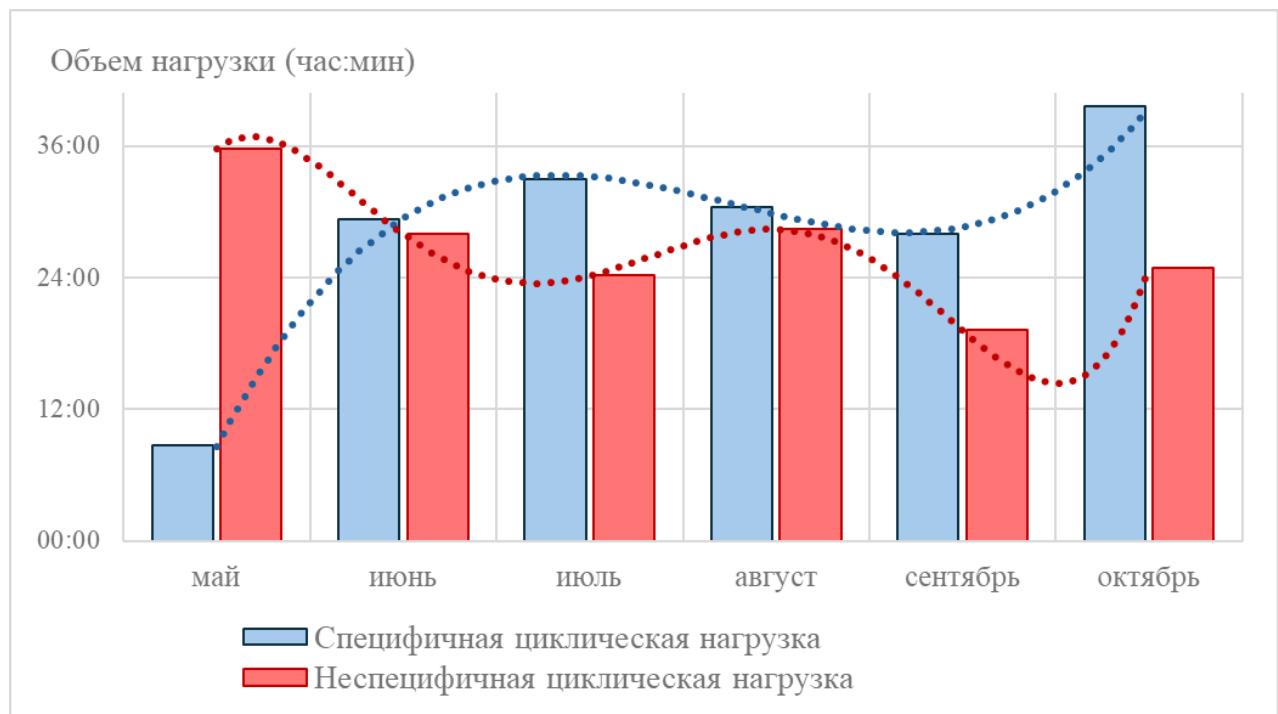


Рисунок 1.4 – Распределение объемов циклических средств подготовки по степени специфичности в подготовительном периоде годичного макроцикла биатлонистов высокого класса (средние данные группы, n=23)

В динамике специфических циклических нагрузок отмечается более чем двукратный прирост объема во второй половине ОПЭ, затем после некоторой стабилизации на СПЭ объем нагрузки данной направленности достигает максимума на ПСЭ. Причем в этот период такой существенный прирост достигается за счет лыжероллерахной подготовки,

полностью отсутствующей на предыдущих этапах подготовки. В тенденции изменения показателей объема неспецифических циклических средств отмечается обратная динамика с постепенным, волнообразным снижением суммарного количества часов и некоторым приростом на ПСЭ.

На протяжении всех этапов подготовительного периода наиболее активно выполняются лыжероллерные и беговые нагрузки, данные представлены на рисунке 1.5. Остальные циклические средства используются в существенно меньшем объеме, применение некоторых из них в значительной степени ограничено конкретными временными отрезками. Это, в частности, относится к велоподготовке, наиболее активное использование которой отмечается в начале ОПЭ (май), прыжковой имитации, неиспользуемой на ОПЭ (май-июнь), и лыжегоночной подготовке, начинающейся только в октябре.

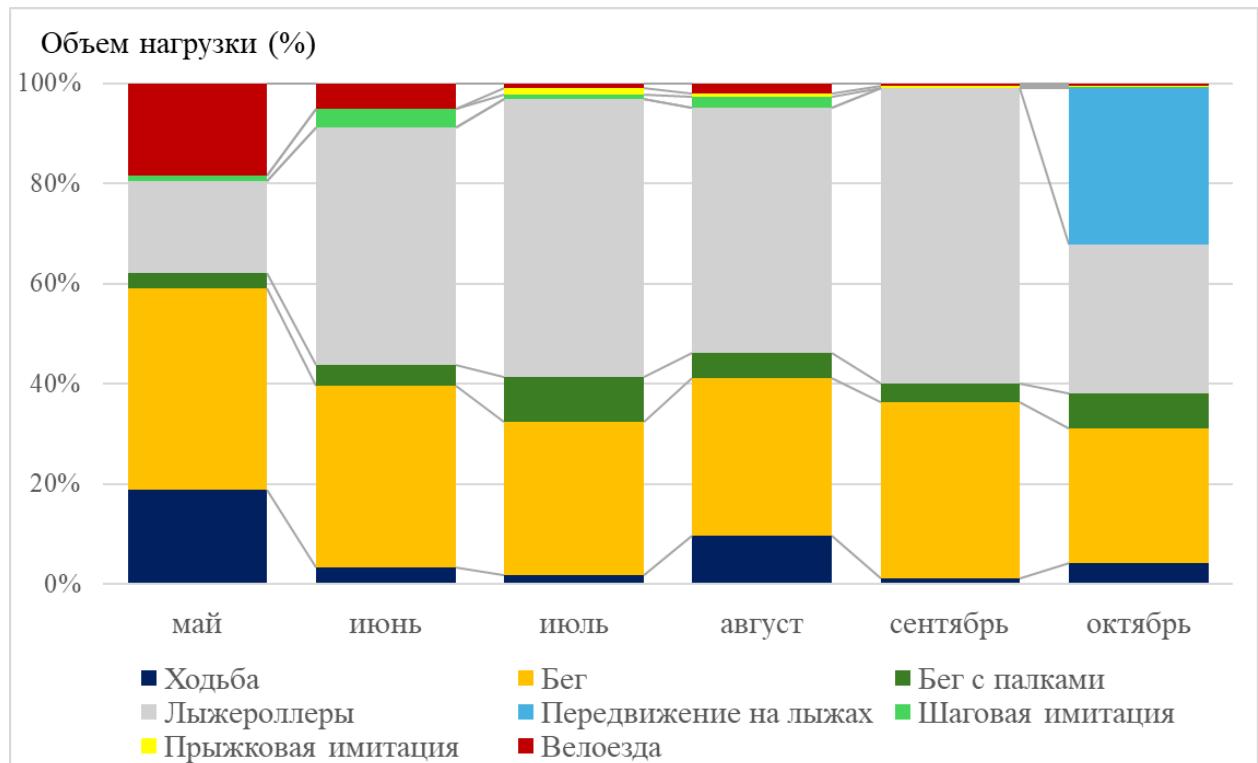


Рисунок 1.5 – Изменение парциальных объемов нагрузки специфического и неспецифического характера относительно общего объема циклических нагрузок в подготовительном периоде годичного макроцикла биатлонистов высокого класса (средние данные группы, n=23)

Значительный объем велонагрузки, используемой в самом начале подготовительного периода, необходим для выполнения большого объема низкоинтенсивной циклической работы. Именно велонагрузка, как наиболее щадящая для опорно-двигательного аппарата спортсменов, позволяет значительно увеличить количество часов низкоинтенсивной циклической работы в тот период, когда задачи анатомической

адаптации еще не решены. Важно и само разнообразие средств циклической работы, позволяющее снизить уровень монотонности нагрузки, являющейся одним из существенных факторов, способствующих возникновению синдрома перетренированности у спортсменов в видах на выносливость.

Таким образом, используемые при программировании тренировочного процесса биатлонистов высокого класса циклические нагрузки разной интенсивности позволяют комплексно воздействовать на ключевые факторы обеспечения роста аэробных возможностей спортсменов – высокоинтенсивные циклические нагрузки обеспечивают мощный стимул для центральной сердечно-сосудистой адаптации и метаболического стресса, а нагрузки низкой и средней интенсивности преимущественно запускают периферическую адаптацию, способствующую экстракции мышечного кислорода и метаболической эффективности. При более высоком уровне интенсивности циклической нагрузки происходит преимущественное рекрутирование быстрых окислительно-гликолитических мышечных волокон типа IIb. Такие нагрузки обеспечивают улучшение их окислительной способности, важной для повышения аэробной производительности, мощности и эффективности аэробного механизма энергообеспечения.

Одним из факторов, ограничивающих возможности использования циклических средств подготовки и влияющих на их выбор и распределение на начальном этапе подготовительного периода, является необходимость решения задач анатомической адаптации и достижения моррофункциональных изменений в тканях опорно-двигательного аппарата, обеспечивающих их готовность к последующему выполнению планируемого объема высокоинтенсивных, в том числе, околопредельных нагрузок без функционального перенапряжения опорно-двигательного аппарата.

1.2 Динамика параметров силовой нагрузки и распределение средств силовой подготовки на этапах подготовительного периода

Силовая подготовка, учитывающая специфику соревновательной деятельности, – важная составляющая часть современной подготовки спортсменов в видах спорта с преимущественным проявлением выносливости, к которым относится биатлон. Преимущества силовых тренировок, проводимых с учетом требований тренировочно-соревновательной деятельности, для спортсменов видов спорта на выносливость подтверждены многочисленными научными исследованиями. В частности показано, что силовые тренировки приводят к нервно-мышечным улучшениям [44] и увеличивают жесткость мышечно-сухожильного комплекса [45, 46, 47, 48]. Это приводит к повышенной способности накапливать энергию упругой деформации при эксцентрических мышечных сокращениях, что, в свою очередь, увеличивает концентрическую мышечную силу.

Считается, что это одна из причин, способствующих повышению экономичности движений, в том числе при передвижении спортсменов на лыжах [49, 50, 51], которые наблюдаются после периода силовых тренировок и тренировок на выносливость.

В экспериментальных исследованиях [52, 53] было выявлено увеличение доли мышечных волокон типа IIa (быстрые окислительно-гликогенитические волокна, отличающиеся более высоким уровнем устойчивости к утомлению, чем тип IIb), при одновременном коррелированном снижении относительного содержания менее выносливых волокон типа IIb. Потенциальные механизмы повышения выносливости включают отсроченную активацию (включение в работу при более высокой мощности нагрузки или скорости передвижения спортсмена) менее эффективных мышечных волокон типа II, преобразование волокон типа II в более устойчивые к утомлению волокна типа IIa, а также увеличение мышечной массы и скорости развития силы [54, 55, 56]. Данные физиологические адаптации способствуют улучшению ключевых факторов, связанных с выполнением упражнений на выносливость [57]. Механизмы, способствующие повышению результатов спортсменов на выносливость при дополнении аэробных тренировок силовыми, схематично показаны на рисунке 1.6.

Таким образом, большинство из вышерассмотренных улучшений связаны с совершенствованием нервно-мышечной координации, повышением силовых возможностей, мощности работы и скорости передвижения на уровне лактатного порога и индуцированным силовой тренировкой преобразованием типов мышечных волокон. Важно отметить, что эти адаптации происходят у спортсменов, тренирующихся на выносливость, без влияния на массу тела [58], и, что также подтверждено результатами исследований [59], за счет увеличения доли энергии, получаемой от аэробных энергетических систем.

При силовой направленности подготовки также присутствуют центральный и периферийный механизмы адаптации. Однако, в отличие от тренировок с циклическими нагрузками, влияние интенсивности, которая в силовой подготовке определяется величиной отягощения/сопротивления, на данные механизмы обратное: при высокой интенсивности нагрузка направлена на центральные механизмы – нервно-мышечную адаптацию, позволяющую увеличить силу и частоту импульсов, идущих от центральной нервной системы (далее – ЦНС) к двигательным единицам; при низкой интенсивности основные изменения смещаются в работающие мышцы («на периферию») и связаны в первую очередь с построением мышечной ткани и гипертрофией.



Сплошные линии – стимулирующий эффект; пунктирные линии – предполагаемые потенциальные взаимодействия, нуждающиеся в экспериментальной проверке с одновременными тренировками силы и выносливости; знак вопроса – потенциальный эффект, нуждающийся в общей экспериментальной проверке.

Рисунок 1.6 – Схема механизма улучшения спортивных результатов квалифицированных спортсменов видов спорта на выносливость за счет силовой тренировки (переработано [60, 61])

Несмотря на то, что основным видом подготовки в циклических видах спорта с проявлением выносливости является аэробная, а силовая носит «вспомогательный» характер, последняя применяется в качестве средства адаптации и обеспечения высокой специфичности свойств нервно-мышечного аппарата соревновательным режимам его функционирования. Силовая тренировка способствует улучшению сократительных возможностей мышечных волокон, положительным адаптационным изменениям механизмов их активации, что приводит к увеличению силы и скорости сокращения скелетных мышц, повышает их способность генерировать большую мощность выполнения механической работы в различных диапазонах зависимостей «сила – скорость» и «сила – длина» в различных начальных условиях и при функционировании мышц в реальных условиях спортивных локомоций. К основным адаптационным изменениям, происходящим в мышечной системе в процессе силовой подготовки и ведущим к повышению силовых возможностей спортсмена, относятся гипертрофия и повышение внутримышечной координации, то есть совершенствования процессов управления активностью мышцы, способствующей повышению силы сокращения без изменения

размеров мышечных волокон. Выбор тренером стратегии практического использования силовых упражнений должен быть нацелен на повышение рабочего эффекта соревновательного движения, выражющегося в скорости перемещения спортсмена по дистанции.

Силовая тренировка позволяет увеличивать аэробные возможности, что выражается в повышении экономичности или эффективности выполняемого упражнения и более высокой сопротивляемостью организма к утомлению. Для успешной долговременной адаптации силы с целью оптимизации аэробных возможностей необходимо придерживаться оптимального варианта периодизации, дозировки нагрузок и типов упражнений. В этой связи нами был проанализирован спектр основных средств силовой подготовки, позволяющих направленно решать конкретные задачи адаптации, изучена динамика объема силовых нагрузок, направленных на улучшение сократительных свойств мышц биатлонистов высокого класса, и выявлены особенности распределения и соотношения используемых средств и нагрузок на этапах подготовительного периода годичных макроциклов 2021-2022 и 2022-2023 гг.

К основным факторам, определяющим силу мышечного сокращения и обязательным к учету при программировании силовой подготовки и подборе средств для решения задач, связанных с достижением конкретных адаптационных перестроек, относятся:

- интенсивность активации мотонейронного пула спинного мозга конкретной мышцы (частота нервных импульсов), определяемая поставленной «двигательной задачей»;
- количество активированных (рекрутированных) двигательных единиц и мышечных волокон;
- количество миофибрилл в каждом мышечном волокне;
- скорость сокращения миофибрилл, зависящая от активности миозиновой АТФ-азы и величины внешнего сопротивления;
- законы механики мышечного сокращения (сила – длина мышцы, сила – скорость сокращения), форма и тип сокращения;
- исходное состояние «исполнительного» аппарата», так как утомленные мышцы продуцируют меньшую силу [62, 63].

С учетом вышеперечисленных факторов предложена следующая классификация основных средств силовой подготовки, применяемых в тренировочном процессе биатлонистов высокого класса (таблица 1.2) [64].

Таблица 1.2 – Классификация основных средств силовой подготовки, применяющихся в подготовке биатлонистов высокого класса

Направление тренировочной нагрузки	Величина внешнего сопротивления, % от 1 ПМ	Количество повторений в 1 подходе	Тип усилия	Темп выполнения
Силовая выносливость	низкая (30-70)	15 и более	—	—
Гипертрофия	высокая (80-85)	~8-10 (до утомления)	жимовое	средний / высокий
	средняя (70-75)	~12-15 (до отказа)		
		~10-12 (до утомления)		
Быстрая сила	низкая (20-60)	~8-10	взрывное	высокий
Взрывная сила	средняя (60-80)	~6	взрывное	низкий
Максимальная сила	высокая (> 85)	~5	жимовое	низкая

Примечание – ПМ – повторный максимум.

Под силовой выносливостью подразумевается способность спортсмена поддерживать необходимую амплитуду движения максимально длительное время за счет проявления оптимальной величины быстрой силы [65]. Одним из важнейших качеств проявления силовой выносливости спортсменов циклических видов спорта является возможность сохранения рационального отношения между мощностью рабочих усилий, определяющих длину шага, и скоростью движений. Упражнения, направленные на развитие силовой выносливости, выполняются с низкой и средней скоростью движения с использованием незначительной величиной внешнего сопротивления – 30-70 % от одного повторного максимума (далее – 1 ПМ). Основным отличием данной группы средств силовой подготовки от других является отсутствие фазы расслабления тренируемых мышц. К данной группе средств силовой подготовки относятся статодинамические, динамические, статические и круговые упражнения, а также многоповторные силовые ненапряженные упражнения, выполняемые не в рамках основной силовой тренировки, а в качестве разминки или неосновной части тренировок другой направленности. Развитие силовой выносливости происходит и в ходе выполнения циклической работы (ходьба, бег, имитация, лыжи, лыжероллеры, велосипед, гребля) при ее проведении в затрудненных условиях с использованием рельефа, отягощений, передвижения с сопротивлением.

В качестве отдельной группы тренировочных средств данной адаптационной направленности, используемых в современной подготовке биатлонистов высокого класса, следует отметить упражнения с использованием неустойчивых поверхностей, приспособлений и отягощений, способствующих совершенствованию нервно-мышечного контроля постуральной устойчивости и «стабильности кора» (корпуса), считающейся ключевым фактором обеспечения эффективной биомеханической функции, позволяющей максимизировать генерацию силы и минимизировать нагрузки на суставы [66].

Слабость постуральных мышц и нестабильность пояснично-тазового комплекса существенно снижают эффективность движений, не позволяя в полной мере реализовать скоростно-силовой потенциал спортсмена, а также приводят к снижению экономичности работы, так как часть энергии спортсмен вынужден направлять на компенсаторные движения, обеспечивающие устойчивость тела. Такие спортсмены нередко отличаются существенными ошибками в технике передвижения, кроме того, для них характерен повышенный риск травматизма, связанного с перенапряжением [67]. Целенаправленная тренировка способствует нейромышечной адаптации, помогает снизить «порог активации» постуральных мышц и мышц-стабилизаторов, сокращая время их включения в работу [68]. Важный эффект тренировки с использованием неустойчивых (нестабильных) поверхностей, приспособлений и отягощений – увеличение силы за счет более эффективных паттернов мышечных сокращений, улучшение постуральной устойчивости, «стабильности кора» и создание «жесткой основы» для генерации силы и реализации скоростно-силового потенциала спортсмена, позволяющей уменьшить нагрузку на суставы при выполнении двигательных действий, обеспечивающей более высокую экономичность работы.

Весьма значимым направлением силовой подготовки современных биатлонистов высокого класса является гипертрофия скелетных мышц, проявляющаяся в увеличении мышечной массы, толщины, площади мышц, и отражающая накопленные адаптационные структурные изменения в мышце вследствие увеличения числа миофибрилл и размера мышечных волокон [69, 70].

Основываясь на результатах исследований, проведенных с использованием различных методов оценки гипертрофии скелетных мышц в ответ на тренировочное воздействие с отягощениями, а также с учетом макроскопических, микроскопических, молекулярных и ультраструктурных адаптаций к тренировкам с отягощениями авторы работы [70] постулируют возможность трех типов гипертрофии скелетных мышц, каждый из которых обусловлен использованием в тренировочном процессе конкретных методических подходов:

– гипертрофия соединительной ткани – увеличение объема внеклеточного матрикса скелетной мускулатуры, сопровождающееся повышением содержания минералов или белков;

– саркоплазматическая гипертрофия – увеличение объема сарколеммы и/или саркоплазмы, сопровождающееся увеличением объема митохондрий, саркоплазматического ретикулума, Т-канальцев и/или содержания саркоплазматического фермента или субстрата;

– миофибриллярная гипертрофия – увеличение размера и/или количества миофибрилл, сопровождающееся увеличением количества саркомеров или плотности саркомерных белков, непосредственно связанных со структурой, или генерацией сократительной силы саркомера.

Последний из перечисленных видов гипертрофии приводит к повышению силовых показателей спортсмена во всех режимах, а, следовательно, и мощности, даже если скорость ненагруженного сокращения мышцы остается неизменной. В перистых мышцах увеличивается угол перистости, приводя к проигрышу в силе, но выигрышу в скорости сокращения [71]. Для повышения гипертрофии скелетных мышц, то есть увеличения плотности миофибрилл в мышечных волокнах и трансформации быстросокращающихся гликолитических мышечных волокон типа IIb в быстросокращающиеся окислительные типа Ia, упражнения могут выполняться с высокой (80-85 % от 1 ПМ) и средней (70-75 % от 1 ПМ) величиной внешнего сопротивления. При использовании значительной величины внешнего отягощения работа должна выполняться до утомления (8-10 повторов), а не «до отказа». В этом случае высокое механическое напряжение в быстрых мышечных волокнах создается за счет медленного выполнения эксцентрической и концентрической фаз движения, а отсутствие изометрической паузы после эксцентрической фазы движения позволяет снизить закисление медленных мышечных волокон. В то же время снижение величины «закисления» скелетных мышц, вызванного механическим или метаболическим напряжением мышечных волокон, достигается за счет изометрической паузы (1-2 с) после концентрической фазы движения.

При выполнении работы, направленной на развитие гипертрофии с использованием незначительной величины внешнего сопротивления (70-75 % от 1 ПМ), задействованы преимущественно медленные и промежуточные мышечные волокна. Основная задача таких упражнений – создание условий внутри скелетной мышцы для включения в работу быстрых мышечных волокон, тогда как создаваемое ими механическое напряжение направлено на стимуляцию в них адаптационных процессов гипертрофического типа. Основными лимитирующими факторами активации быстрых мышечных волокон являются силовые и аэробные возможности медленных и промежуточных мышечных волокон. Низкая скорость эксцентрической и концентрической фаз движения при выполнении упражнений на гипертрофию скелетных мышц с использованием величины внешнего сопротивления 70-75 % от 1 ПМ позволяет создать высокое механическое напряжение в быстрых мышечных волокнах. Минимизация возможности потребления кислорода медленными и промежуточными мышечными волокнами достигается за счет изометрической паузы (1-5 с) после эксцентрической фазы движения и ее отсутствием

после концентрической, способствуя увеличению рекрутования высокопороговых двигательных единиц за счет ускоренного утомления аэробных мышечных волокон. Увеличение доли вовлечения быстрых мышечных волокон достигается за счет выполнения упражнений с величиной внешнего сопротивления 70-75 % от 1 ПМ «до отказа» (12-15 повторов), создающее в течение выполнения всего движения непрерывное напряжение скелетных мышц. Иное, «традиционное», выполнение упражнений с таким уровнем внешнего сопротивления ведет к саркоплазматической гипертрофии – увеличению объема саркоплазмы при небольшой плотности миофибрилл. Гипертрофия происходит за счет повышения метаболических резервов мышечных клеток: гликогена, креатинфосфата, миоглобина и безазотистых веществ, а повышение плотности капиллярной сети в результате тренировки вызывает увеличение объемов мышечных волокон. Объем мышц увеличивается, но без прироста силовых показателей. Хотя в результате такой тренировки и отмечается увеличение сопротивления утомлению для биатлона, как циклического вида на выносливость, в котором к характеристикам телосложения спортсмена высокого класса относятся сильные мышцы с высокими окислительными способностями, но минимальной массой, объем и периодизация использования таких тренировочных средств силовой подготовки должны быть оптимизированы.

Физические упражнения, рабочий эффект которых определяется способностью преодолевать незначительную величину внешнего сопротивления (20-60 % от 1 ПМ) с высокой скоростью, были отнесены к силовым средствам, направленным на развитие быстрой силы. Такие упражнения ориентированы на увеличение процента быстросокращающихся гликолитических мышечных волокон типа IIb, снижение порога рекрутования двигательных единиц, повышение частоты их импульсации в начале рабочего напряжения скелетных мышц, совершенствование механизма реципрокной иннервации мышц агонистов-антагонистов, а также формирование оптимального баланса между жесткостью мышц и сухожилия. Развитие быстрой силы скелетных мышц проявляется только при осуществлении воздействия на силовые способности, входящие в ее структуру, а именно на стартовую и ускоряющую силу. Для развития обоих этих компонентов используется величина внешнего сопротивления 40-60 % от 1 ПМ, а для увеличения только стартовой силы – 20-40 % от 1 ПМ. К последним упражнениям относят быстрые приседания со штангой или другими отягощениями.

Выполнение упражнений с высокой скоростью движения при использовании средней величины внешнего сопротивления – 60-80 % от 1 ПМ направлено на развитие взрывной силы. Тренировочные нагрузки такого рода ориентированы на повышение гипертрофии быстрых мышечных волокон и увеличение содержания

быстросокращающихся гликолитических мышечных волокон типа IIb, совершенствование механизма рекрутования, частоты импульсации двигательных единиц и реципрокной иннервации мышц агонистов-антагонистов, а также повышение жесткости сухожилия и количества костных морфогенетических белков, передающих мышечное напряжение на эндомизий, а затем на мышечно-сухожильный переход. Несмотря на то, что при выполнении упражнений на развитие быстрой и взрывной силы задействованы одни и те же механизмы локомоторного аппарата, морфофункциональная специализация упражнений на взрывную силу направлена на развитие трех компонентов – стартовую, ускоряющую и абсолютную силу.

Мышцы, испытывающие наиболее высокие пиковые нагрузки, требуют максимальной силы, увеличение которой достигается силовой работой с величиной внешнего сопротивления более 85 % от 1 ПМ с низкой скоростью выполнения. Такие упражнения направлены в первую очередь на гипертрофию медленных и быстрых мышечных волокон, тренировку механизмов нервно-мышечной активации всех типов мышечных волокон и совершенствование механизма рекрутования двигательных единиц. Максимальная сила имеет однокомпонентную структуру – абсолютная сила.

При подборе средств силовой подготовки биатлонистам высокого класса принимается во внимание то, что для достижения заданных адаптационных перестроек, обусловливающих повышение силовых возможностей спортсменов, важными являются не только величина внешнего сопротивления и интенсивность выполнения повторений, но и методически верное соблюдение формы и типа мышечного сокращения, определяющих то, как реализуется напряжение, развиваемое мышцей при сокращении. Так, когда мышечное сокращение включает значительную эксцентрическую фазу (величина приложенной к мышце силы превышает силу, производимую самой мышцей), снижение работоспособности мышц значительнее и требует более длительного периода восстановления, чем при концентрических и изометрических сокращениях. Разрушение миофибрилл и значительная сила, вызванная эксцентрическим сокращением, стимулируют субклеточные пути, участвующие в синтезе белка [72]. За счет повышения экспрессии андрогенных рецепторов, а также в следствие параллельного и последовательного увеличения общего количества саркомеров, приводящего к увеличению длины пучка и угла перистости, высокоинтенсивные эксцентрические упражнения с отягощениями являются эффективным методом индукции мышечной гипертрофии [72].

Выбор методических подходов, в частности, к гипертрофии мышечных волокон, определяется также необходимостью и возможностью избирательного воздействия на окислительные и гликолитические волокна (двигательные единицы), обусловленного

различиями в их свойствах (порог возбуждения, количество и плотность митохондрий, наличие или отсутствие катаболических явлений под влиянием силовой тренировки).

Окислительные мышечные волокна играют существенную роль практически на всех дистанциях в циклических видах спорта, и их работоспособность является решающей для обеспечения высокой аэробной производительности спортсмена в этих видах спорта [73]. Высокая работоспособность окислительных мышечных волокон обеспечивается их гипертрофией за счет накопления, главным образом, сократительных элементов и сопутствующих им органелл, одновременным повышением их окислительного потенциала за счет гиперплазии и гипертрофии митохондрий, капилляризации и накопления запасов гликогена [73]. Основным методическим условием при этом является выполнение упражнений без расслабления тренируемых мышц на протяжении всего подхода. При правильном выполнении статодинамического упражнения мышца должна быть все время напряжена, что проиллюстрировано на рисунке 1.7. Это резко затрудняет кровоток и ускоряет утомление мышечных волокон, необходимое для их гипертрофии [74].

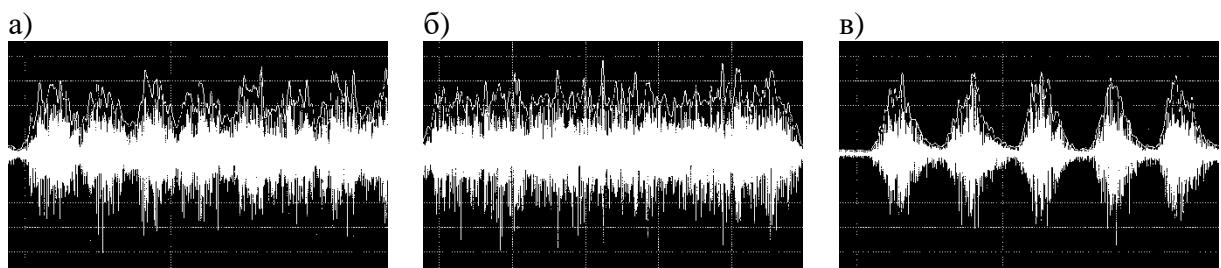


Рисунок 1.7 – Различия электромиографии латеральной широкой мышцы бедра (*m. vastus lateralis*) при выполнении приседаний в статодинамическом (а), статическом (б) и динамическом (в) режимах [75]

В ответ на такую нагрузку метаболический стресс и повышение концентрации гормона роста после тренировки, как правило, выше, чем при динамических упражнениях. Кроме того, при относительно низкой нагрузке и работе до отказа, включаются преимущественно медленные волокна, и в них возникают дополнительные метаболические факторы, приводящие к гипертрофии. А.И. Нетреба с соавторами [76] подтвердили, что статодинамическая тренировка приводила к почти 20 % гипертрофии медленных волокон при незначительной гипертрофии быстрых. Такие упражнения можно рассматривать как средство избирательной гипертрофии медленных волокон. Особенностью статодинамической тренировки является возможность снизить механическую напряженность работы при достижении сходных приростов максимальной произвольной силы для отдельных мышечных групп (например, мышц разгибателей и сгибателей коленного сустава) и в многосуставном движении. Кроме того, тренировки такого типа

минимизируют потери общей и локальной работоспособности работающих мышц, что является характерным эффектом классической силовой тренировки.

Изменение среднегрупповых параметров объема средств силовой подготовки на плечевой пояс и ноги по месяцам подготовительного периода годичного макроцикла биатлонистов представлено на рисунке 1.8.

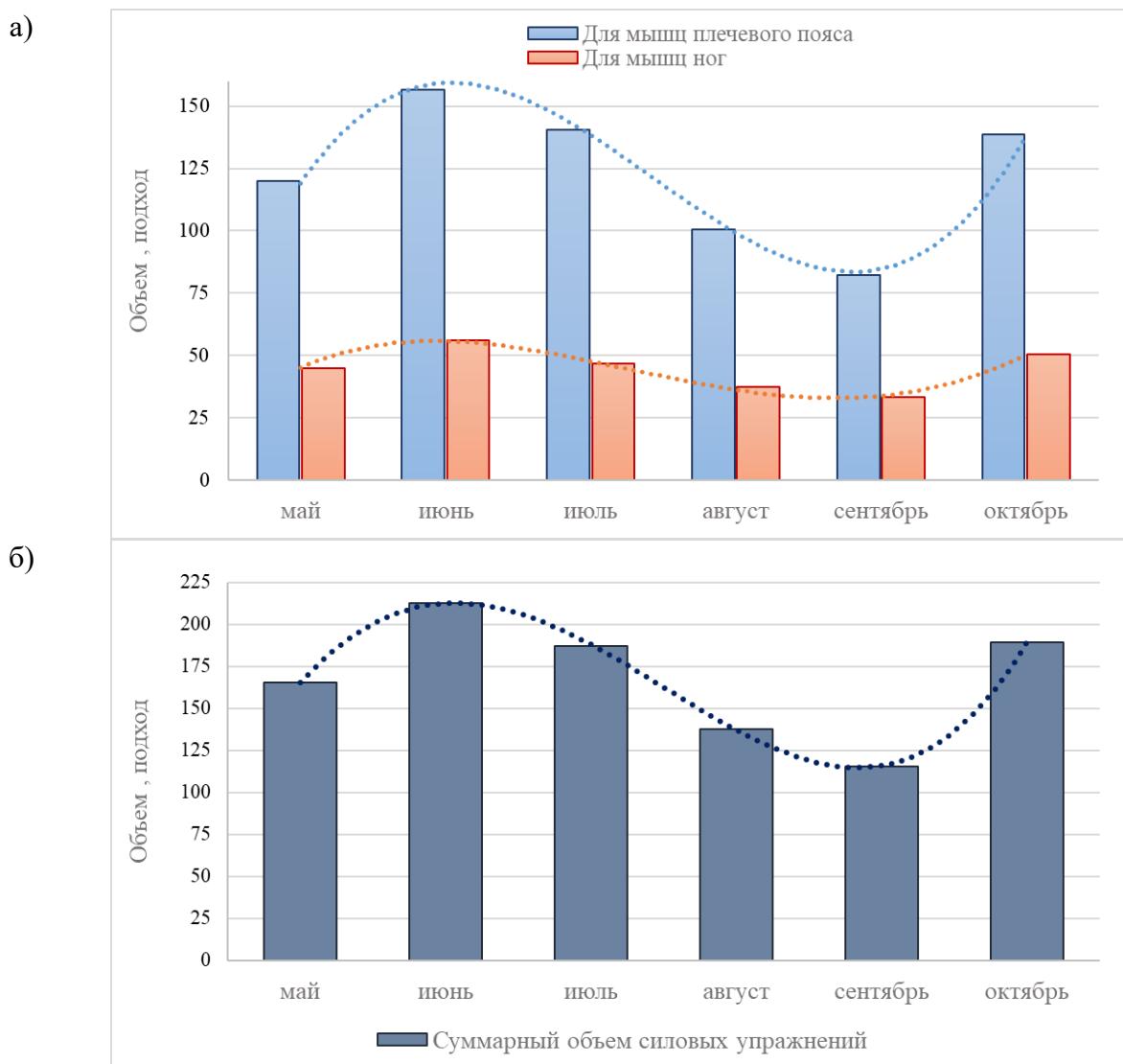


Рисунок 1.8 – Изменение объема средств силовой подготовки, направленных на развитие мышц плечевого пояса и ног (а) и суммарного объема (б) по месяцам подготовительного периода годичного макроцикла у высококвалифицированных биатлонистов (средние данные группы, n=23)

В подготовительном периоде отчетливо прослеживается «волнообразный» тип динамики параметров объема силовой нагрузки с преобладанием первой волны, характерный как для изменения суммарного объема, так и парциальных объемов силовых упражнений для мышц плечевого пояса и ног. Наибольший объем силовой нагрузки зафиксирован в конце ОПЭ и начале СПЭ (июнь-июль). К периоду летних соревнований,

проходящих в сентябре, силовая нагрузка снижалась почти в два раза, но в октябре общий объем средств силовой подготовки мышц плечевого пояса и ног вновь возрастал. Таким образом, характер динамики параметров объема средств силовой подготовки совпадает с распределением нагрузки циклического характера – она двухпиковая с преобладанием первой волны.

Анализ объемов используемых средств силовой подготовки показал, что акцент смещен на развитие сократительных возможностей мышц рук и плечевого пояса. Так, в среднем в группе биатлонистов количество подходов при выполнении силовых упражнений, направленных на развитие мышц плечевого пояса, в течение подготовительного периода годичного макроцикла было достоверно больше ($p < 0,05$) аналогичного показателя в упражнениях для мышц ног, их отношение незначительно менялось в процессе подготовки и составляло от 2.47 до 3.01, соответственно, в сентябре и июле. Такое превалирование силовой нагрузки для повышения силовых возможностей мышц плечевого пояса объясняется тем, что в отличие от других видов спорта, связанных с проявлением выносливости, особенностью лыжных циклических видов является существенный вклад мышц плечевого пояса, рук и туловища в генерацию пропульсивных сил, а также необходимость выполнения отталкивания как скользящей поверхностью лыж, так и лыжными палками от нестабильной (скользкой) опоры. Мышцы туловища выполняют функцию поддержания его в вертикальном положении, а также разворот таза в сторону маховой ноги вдоль вертикальной оси. Основными мышцами плечевого пояса являются те, которые выполняют движения в плечевых суставах. Такие движения обеспечивают противодействие сведению ног на опоре (в противном случае спортсмена закрутило бы вдоль вертикальной оси), а активный реципрокный мах двух рук создает дополнительную загрузку упругим элементам опорной ноги в первой (амортизационной) половине опоры, облегчая разгибание ноги в фазе отталкивания от опоры. Кроме того, при всем многообразии лыжных ходов в тренировочно-соревновательной деятельности биатлонистов используются только виды конькового хода: одновременный одношажный (с отталкиваниями руками на каждый шаг), одновременный двухшажный (с отталкиваниями руками через шаг) и попаременный двухшажный. В связи с тем, что в отталкивании участвуют практически все мышцы, выполняющие разгибание в суставах рук, вполне закономерно, что биатлонисты уделяют гораздо больше внимания силовым тренировкам, направленным на развитие максимальной силы плечевого пояса/гипертрофии и стабилизации мышц туловища. Кроме того, важно учитывать необходимость биатлонисту перемещаться с винтовкой на спине, что безусловно влияет на биомеханику бега на лыжах и обуславливает дополнительные биомеханические требования к силовым способностям

мышц верхней части тела. Такой методический подход способствует не только увеличению максимальной силы, но, что более важно, повышает функциональные возможности нервно-мышечного аппарата и мощность метаболических процессов в соответствии с требованиями, определяемыми спецификой соревновательных движений биатлонистов.

Среднегрупповое распределение объемов силовой нагрузки с и без использования силовых тренажеров по месяцам подготовительного периода представлено на рисунке 1.9. На протяжении всего подготовительного периода, за исключением августа, объем силовых упражнений, выполняемых без использования тренажеров, достоверно превышал таковой с их использованием ($p < 0,05$). В подготовительном периоде динамика изменения общего объема упражнений, выполняемых без силовых тренажеров, как и динамика общего объема, имеют отчетливый «волнообразный» характер: максимум количества подходов приходится на июнь, в период летних соревнований (сентябрь) объем нагрузок последовательно снижается в ~2 раза, а в октябре вновь возрастает. В мае объем силовой нагрузки с применением тренажеров невысок, его пик наблюдается в августе, минимум – в сентябре с последующим незначительным увеличением в октябре. Таким образом, силовая подготовка имеет двухпиковую динамику с преобладанием первой волны.

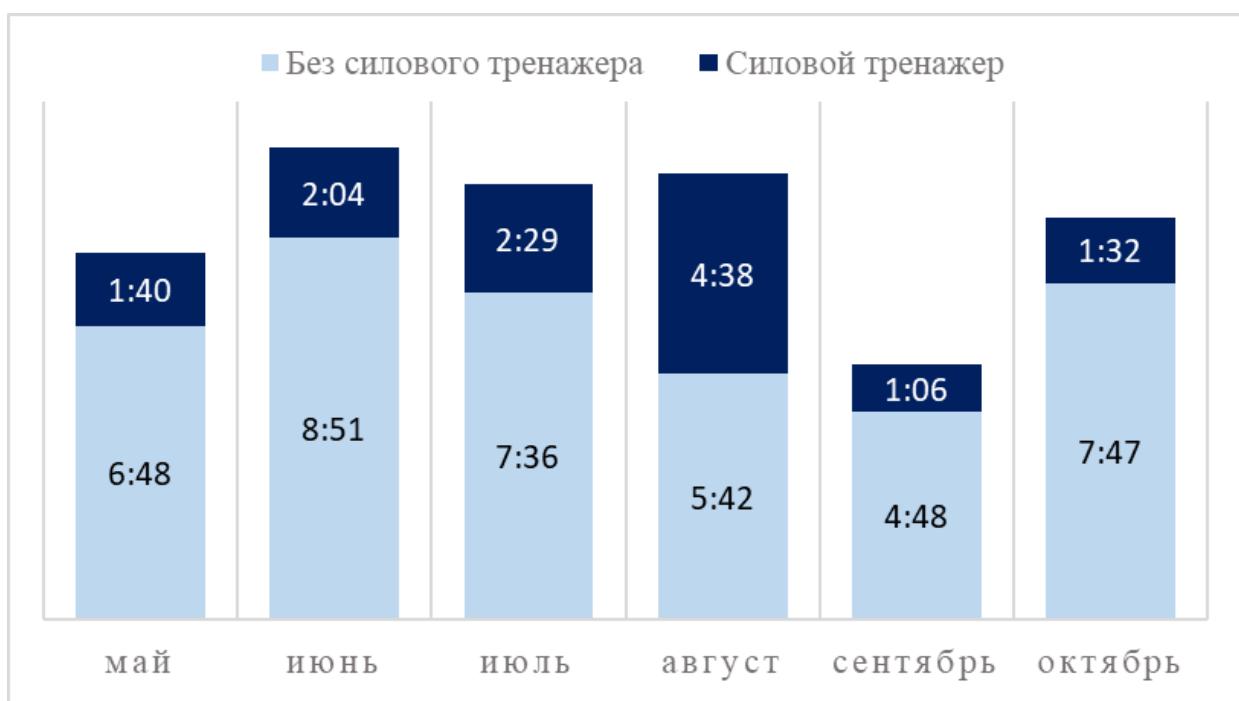


Рисунок 1.9 – Изменение объемов средств силовой подготовки, выполняемых с и без использования тренажеров, и их отношения в общем объеме силовой нагрузки по месяцам подготовительного периода годичного макроцикла биатлонистов высокого класса (средние данные группы, $n=23$)

При анализе периодизации использования силовых упражнений с применением тренажеров (как специализированных, так и для развития общей силы) и без них заметно логическое увязывание с необходимостью решения задач совершенствования

внутримышечной и межмышечной координации, выражающееся в чередовании разнонаправленных изменений, в ряде случаев находящихся в противофазе (рисунок 1.10).

Внутримышечная координация является механизмом регулирования мощности сокращения скелетных мышц через рекрутование, синхронизацию и частоту импульсации двигательных единиц [64]. Задачи совершенствования внутримышечной координации решаются в ходе тренировки с большими весами и числом повторений 2-4 до отказа или, что используется приоритетно в циклических видах спорта, упражнений взрывного характера с числом повторений до 10, позволяющие включить в работу дополнительные двигательные единицы, которые обычно не работают. Важно, однако, что метаболические и гормональные факторы роста при этом активизируются относительно мало, в связи с чем такие тренировки не приводят к заметному повышению мышечной массы, несмотря на существенный прирост силы. В результате такого рода адаптаций в работу могут дополнительно включаться высокопороговые двигательные единицы, состоящие из сильных, но быстро утомляемых гликолитических мышечных волокон. Происходит изменение соотношения фаз напряжения и расслабления во время движения, более сильные и «взрывные» мышцы позволяют делать толчок короче, а fazu расслабления – длиннее. Тем самым улучшается доставка кислорода и элиминация лактата из работающих мышц. В тренировочном процессе биатлонистов такие тренировки приводят к повышению экономичности.

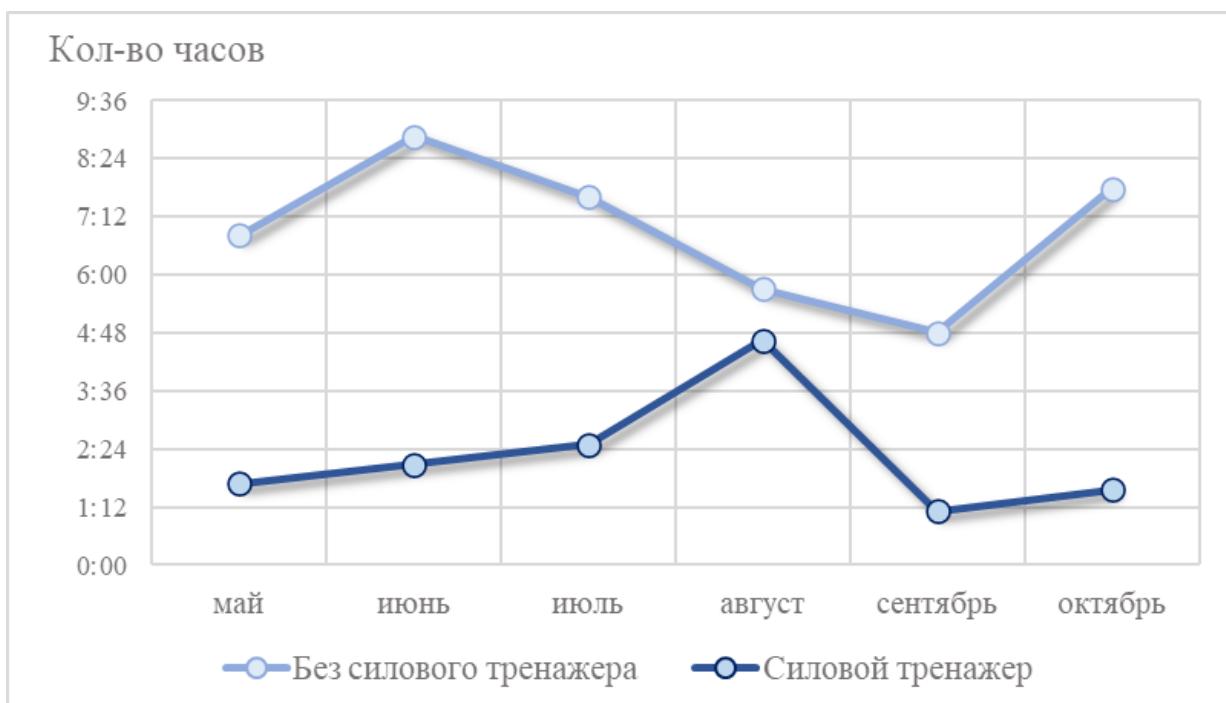


Рисунок 1.10 – Отношение тенденций изменения объемов средств силовой подготовки, выполняемых с и без использования тренажеров, по месяцам подготовительного периода годичного макроцикла биатлонистов высокого класса (средние данные группы, n=23)

При подборе тренировочных средств для совершенствования межмышечной координации, как механизма упорядочивания усилий мышц агонистов-антагонистов посредством коактивации и реципрокной иннервации агонистов/антагонистов [64], учитывается, что она всегда связана с определенным видом движения и не может переноситься с одного движения на другое. Особое значение имеет согласованность в работе мышц, реализующих определенное движение, – агонистов и мышц-антагонистов. Кроме того, межмышечная координация улучшается лишь в натренированном движении. В тех случаях, когда движение характеризуется лишь похожей пространственно-временной и динамико-временной структурой, улучшение переносится частично, а на движение с иной структурой – не переносится вовсе. В связи с этим целесообразным представляется использование специализированных тренажеров, объем работы на которых в подготовке биатлонистов значительно возрастает на СПЭ. Эффективным практическим подходом в реализации таких нагрузок является метод сопряженных воздействий, позволяющий комплексно решать задачи специальной физической и технической подготовки, проводя одновременное воздействие на силовой потенциал и, не искажая при этом структуру движения, совершенствование технических навыков биатлонистов.

Тенденции изменения объемов основных средств силовой подготовки разной направленности, используемых в подготовке высококвалифицированных биатлонистов по месяцам и этапам подготовительного периода годичного макроцикла, представлены на рисунках 1.11 и 1.12.

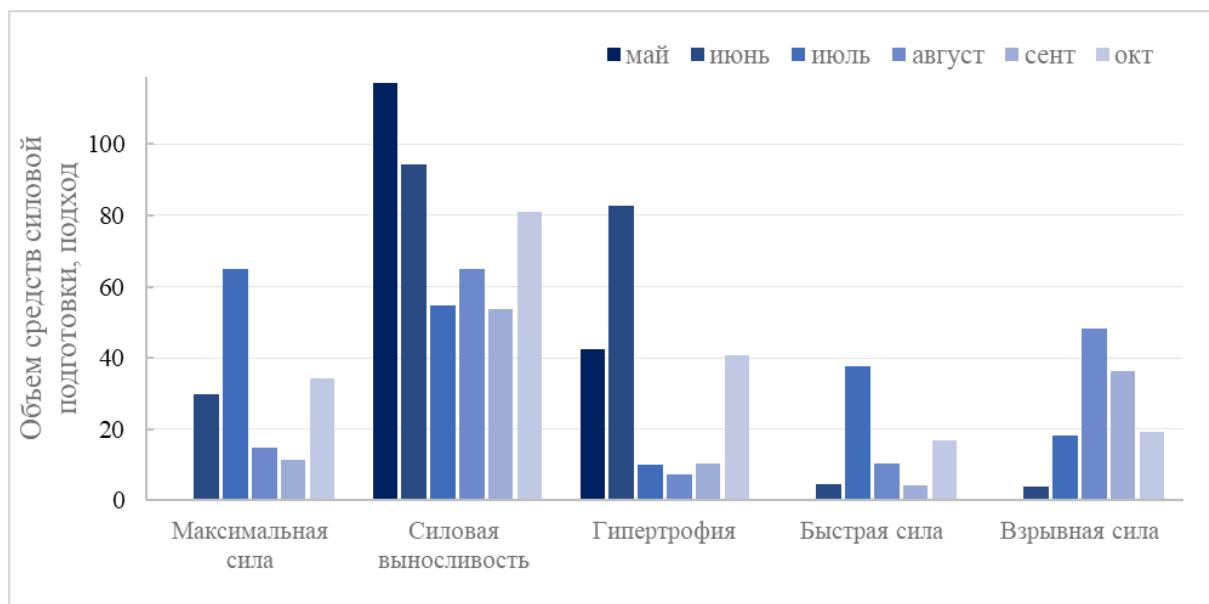


Рисунок 1.11 – Изменение объемов основных средств силовой подготовки по месяцам подготовительного периода годичного макроцикла у биатлонистов высокого класса (в среднем по группе, n=23)

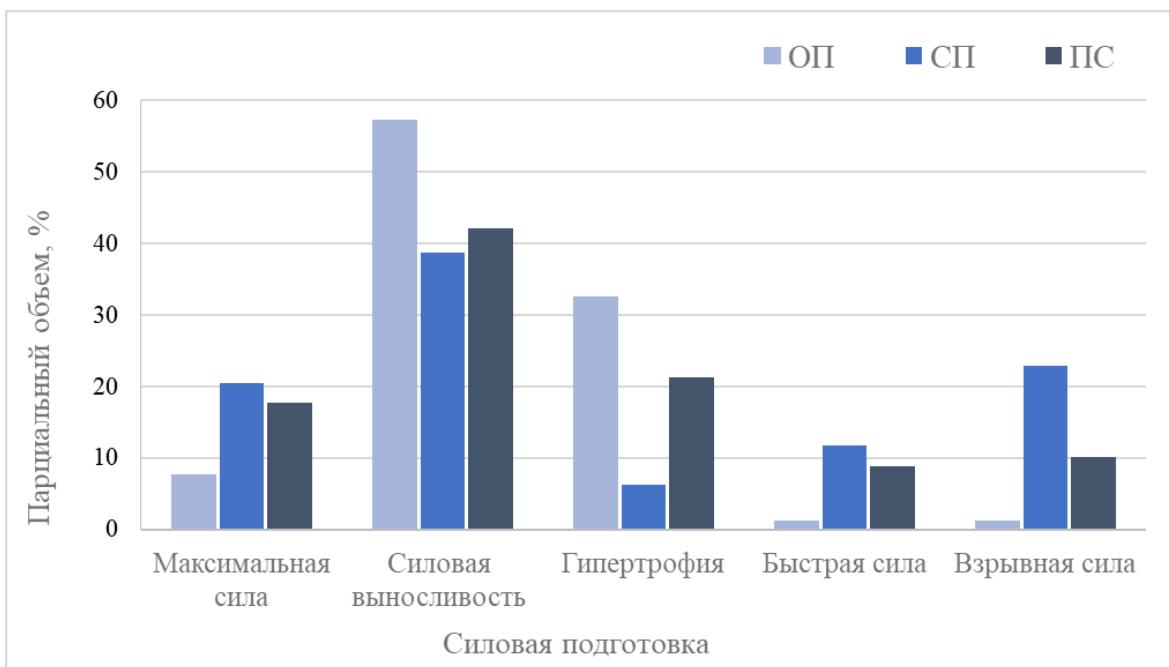


Рисунок 1.12 – Распределение (в %) основных средств силовой подготовки на этапах подготовительного периода годичного макроцикла у биатлонистов высокого класса (в среднем по группе, $n=23$), где ОП – общеподготовительный этап, СП – специально-подготовительный этап, ПС – предсоревновательный этап

Анализ распределения нагрузок биатлонистов показывает, что в подготовительном периоде применяется широкий спектр силовых тренировок, однако основной акцент направлен на развитие силовой выносливости, в то время как упражнения на максимальную, быструю и взрывную силу применяются в значительно меньшем объеме. На ОПЭ (май-июнь) использование силовых средств направлено на анатомическую адаптацию и гипертрофию мышечных волокон, в июле – на развитие максимальной и быстрой силы, с августа по сентябрь акцент смещен на увеличение взрывной силы и совершенствование внутримышечной и межмышечной координации, а в октябре – на гипертрофию как средство предупреждения значительного снижения мышечной массы, развитие максимальной, быстрой и взрывной силы и совершенствование способности к реализации достигнутого силового потенциала в соревновательной деятельности биатлонистов. Околопредельная (субмаксимальная) нагрузка (85-95 % от 1 ПМ) биатлонистами применялась редко, поскольку она предназначена для тренировки механизмов активации мышц, повышения силовых и скоростно-силовых способностей, обеспечения жесткости биокинематической цепи, экономичности и механической эффективности движений, а не аэробной мощности.

Необходимость включения силовых нагрузок на всех этапах подготовки биатлонистов высокого класса связана с особенностями сохранения эффекта силовых тренировок после их прекращения. Поскольку в среднем через 8-12 недель удается

сохранить лишь незначительную часть достигнутого предыдущей силовой подготовкой прироста силы, что выражается, в частности, в уменьшении площади поперечного сечения мышц и снижении максимальной силы, включение как минимум поддерживающих силовых тренировок необходимо на всем протяжении годичного макроцикла. Требованиями к такой подготовке являются специализированность и направленность как на повышение мощности рабочего усилия, так и на сохранение развивающей мощности на протяжении всей соревновательной дистанции.

1.3 Эффект интерференции при одновременном использовании «конкурирующих» циклических и силовых нагрузок в рамках периодизированного тренировочного процесса

В спортивной подготовке в видах спорта с преимущественным проявлением выносливости значительное время отводится выполнению циклической нагрузки в разных зонах интенсивности, направленной в первую очередь на решение задач повышения аэробных возможностей организма спортсмена. Тем не менее, важную роль играет развитие силовых возможностей и поддержание относительно высокого, необходимого и достаточного уровня силы на протяжении соревновательного сезона. В связи с этим одним из актуальных аспектов повышения эффективности подготовки биатлонистов высокого класса, как представителей одного из циклических видов спорта на выносливость, является необходимость одновременного включения в тренировочную программу упражнений с отягощениями и упражнений на выносливость в рамках периодизированного тренировочного режима. Важной практической задачей является поиск такого отношения и подбор таких упражнений, которые бы способствовали долгосрочной оптимизации обоих факторов. Это один из самых сложных аспектов периодизации, как разделения тренировочного процесса на структурные образования разной продолжительности с различными целями, направленными на повышение подготовленности, функциональных возможностей, спортивной результативности и предотвращение чрезмерного утомления и перетренированности [77].

Сочетание упражнений с отягощениями и упражнений на выносливость является особенно сложной методической задачей, решение которой остается актуальным и сегодня, о чем свидетельствует значительное количество научных работ, выполненных в последние годы [78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86]. В ходе исследований с привлечением в качестве испытуемых представителей различных контингентов экспериментально выявлено, что мышечная гипертрофия, уровень прироста силы и мощности зачастую снижаются при включении в программу силовых тренировок упражнений на выносливость. Одновременные тренировки с целью повышения силы и выносливости приводят к

нарушению адаптации и являются менее эффективными по сравнению с тренировками, выполняемыми только для одного из режимов упражнений [87, 88]. Совместное выполнение тренировок с отягощениями и аэробных тренировок в течение одного дня или нескольких дней ингибирует развитие силы и мышечной гипертрофии по сравнению с тем эффектом, который обеспечивает только тренировка с отягощениями [89]. Это явление описывается в литературе как эффект интерференции или эффект параллельной («конкурирующей») тренировки [90, 91]. Так, одновременные тренировки («выносливость+сила»), по сравнению с только силовыми тренировками, приводят к снижению силы [92, 93], гипертрофии [94] и показателей мощности [95].

Тренировки с отягощениями, напротив, практически не оказывают негативного влияния на выносливость и уровень аэробной мощности [90, 96], хотя некоторые авторы сообщали о некотором снижении прироста аэробных возможностей при одновременных («конкурирующих») тренировках по сравнению с результатами тренировок на выносливость [97]. В то же время, выявлено, что сочетание силовых и аэробных тренировок может повысить выносливость к выполнению как краткосрочной, так и длительной нагрузки, преимущественно за счет улучшения нервно-мышечной функции и повышения экономичности [53, 61]. Авторы [98] к числу возможных нервных и клеточных механизмов адаптации относят изменение характера рекрутования мышечных волокон, способствующее более позднему наступлению утомления мышц при длительной работе и приводящее к более длительному поддержанию запасов гликогена, возможное увеличение доли волокон типа IIa, отличающихся одновременно высоким уровнем силы и выносливости, более высокую скорость развития силы, стимулирующую приток крови к работающим мышцам, улучшение доставки кислорода и субстратов во время выполнения физической нагрузки, а также повышенную жесткость мышечных сухожилий при выполнении движений.

В работе [99], ставшей первым контролируемым исследованием данной проблематики с участием высококвалифицированных спортсменов, экспериментально показано, что большой объем тренировок на выносливость ухудшает адаптацию к 12-недельным силовым тренировкам спортсменов в видах спорта на выносливость. Продемонстрировано, что адаптационный отклик на силовые тренировки, характеризующийся показателями мышечной гипертрофии, силы (по показателю 1 ПМ), результатов в прыжке вверх из приседа и пиковым значениям градиента силы, у тренированных спортсменов ослабляется при одновременном выполнении силовой подготовки и тренировок на выносливость. Рассматривая принцип специфичности, подкрепляемый объемом, интенсивностью, частотой и режимом сократительной

активности, как один из основных принципов тренировки, способствующий желаемой адаптации для максимизации спортивных результатов, авторы постулировали, что, силовые тренировки и тренировки на выносливость индуцируют разные мышечные адаптации.

D. Docherty с соавторами [89], основывая свой подход на учете физиологических адаптаций, возникающих в результате различных тренировочных протоколов, используемых для повышения силы и аэробной мощности, предложили модель, обеспечивающую понимание и системный подход к изучению вопроса о «феномене интерференции» и конфликтных механизмах адаптации (рисунок 1.13), и позволяющую разрабатывать тренировочные протоколы, которые будут минимизировать или максимизировать интерференционный эффект при одновременной тренировке на силу и аэробную мощность. В соответствии с данной моделью, сочетание аэробных интервальных тренировок с высокоинтенсивными (от 3 до 6 повторений) силовыми, обеспечивает меньший уровень интерференции, поскольку тренировочный стимул для увеличения силы будет нагружать нервную систему и не предъявлять метаболических требований к мышцам. Такой подход будет увеличивать окислительную способность мышц, не оказывая негативного влияния на нервно-мышечную адаптацию, включающую увеличение частоты импульсации, более эффективную синхронизацию двигательных единиц, снижение уровня ингибирования и противодействия со стороны мышц-антагонистов. Обзор и мета-анализ результатов исследований, выполненных в развитие этих идей проведен в работе [100].

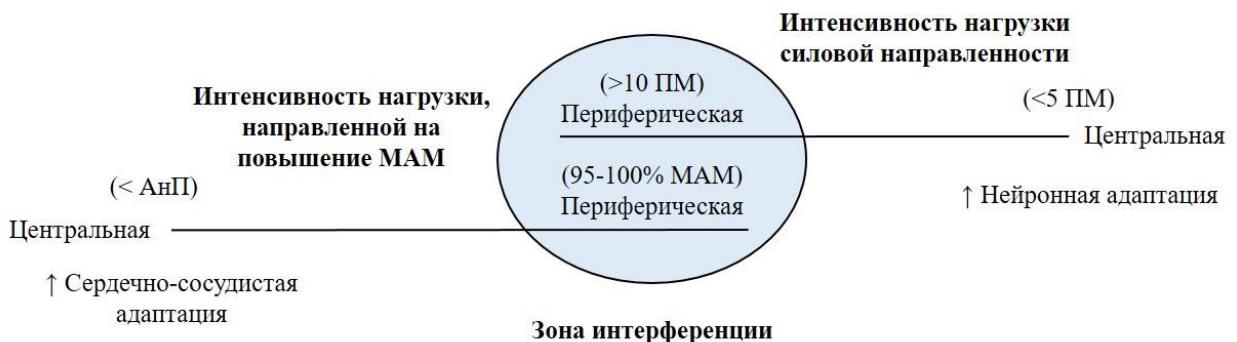


Рисунок 1.13 – Отношение континуумов (непрерывных спектров) интенсивностей разнонаправленных нагрузок с локализацией соответствующих адаптаций. Зона интерференции – область возможного перекрытия интенсивности при сочетании двух режимов тренировок, где АнП – анаэробный порог; ПМ – повторный максимум; ↑ = увеличение / улучшение [89]

Механизмы, лежащие в основе интерференционного эффекта, включают в себя комбинацию факторов, влияющих как на острую, так и на хроническую усталость, а также на анаболическую реакцию, вызванную физической нагрузкой [101]. Примерами таких

факторов являются снижение нейронной активации, накопление неорганических фосфатов, ионов водорода и аммония, истощение АТФ, креатинфосфата и мышечного гликогена [95].

В ходе исследований последних десятилетий выявлены различающиеся межклеточные сигнальные пути мышечных клеток, активируемые силовыми и аэробными тренировками. Силовые тренировки инициируют повышение активности сигнальных субстратов, включая протеинкиназу B (АКТ) и мишень рапамицина млекопитающих комплекс 1 (mammalian target of rapamycin complex 1, далее – mTORC1), стимулирующие синтез белка и рост мышц. Молекулярные сигнальные пути, участвующие в адаптации к нагрузкам, направленным на развитие выносливости, и тренировкам с отягощениями, представлены на рисунке 1.14. mTORC1 активируется в скелетных мышцах тремя механизмами: (1) аминокислоты с разветвленной цепью (BCAA), (2) механическая нагрузка (MECH) и (3) стимуляция фактора роста (GF). За счет фосфорилирования нижележащих мишеней S6K1 и 4E-BP1 mTORC1 увеличивает синтез белка и биогенез рибосом, что в конечном итоге приводит к гипертрофии. Напротив, адаптация к тренировкам, направленном на развитие выносливости, инициируется за счет увеличения производства АМФ, Ca^{2+} и NAD^+ , активирующих чувствительные белки аденозинмонофосфатактивируемой протеинкиназы (далее – AMPK), p38 МАРК (p38 митоген-активируемая протеинкиназа) и SIRT1 (Сиртуин 1). Эти белки запускают программу митохондриального биогенеза посредством активации транскрипционного коактиватора PGC-1 α , который в свою очередь управляет транскрипцией митохондриальных генов через подмножество транскрипционных факторов. Было высказано предположение, что интерференционный эффект упражнений на выносливость происходит через AMPK-опосредованное фосфорилирование TSC2 Ser 1345 и Raptor Ser 792, которые служат для притупления механической и питательной активации mTORC1. Аэробная тренировка связана с сигнальными путями, участвующими, среди прочего, в регенерации митохондрий, что способствует увеличению мощности аэробных упражнений (например, AMPK-сигнализация). Активация AMPK аэробными тренировками может ингибировать mTOR-сигнализацию и, таким образом, подавлять образование белка, индуцированное силовыми тренировками. Модели внутриклеточных сигнальных путей представлены в публикациях [102, 103, 104, 105].

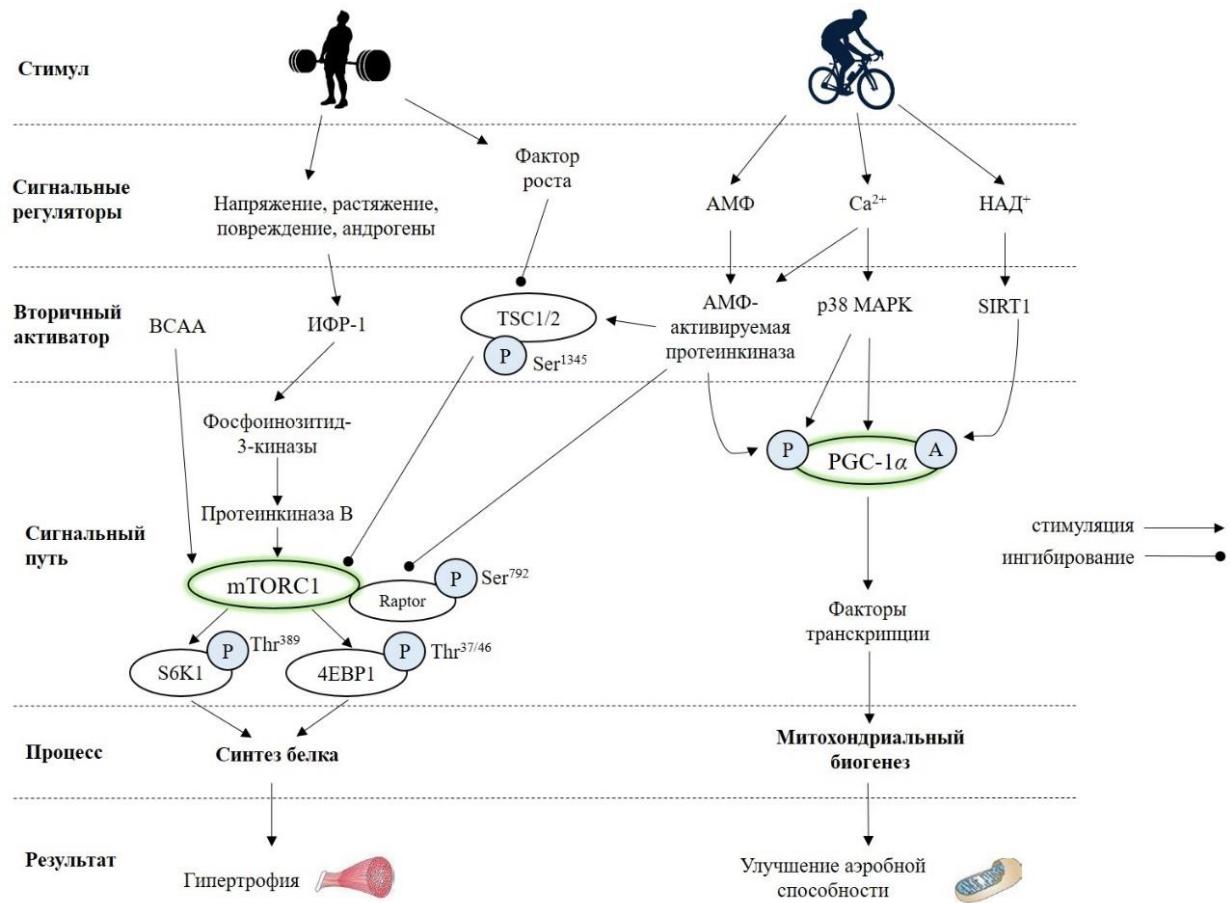


Рисунок 1.14 – Молекулярные сигнальные пути, участвующие в адаптации к тренировкам на выносливость и тренировкам с отягощениями, где Р – фосфорилирование, А – ацетилирование (переработано [103, 105])

К ключевым факторам, влияющим на адаптационный отклик на одновременное включение в тренировочный процесс силовых и аэробных нагрузок, относятся уровень подготовленности спортсмена, различия в фенотипе скелетных мышц и связанных с ними способностями к работоспособности у подготовленных спортсменов на выносливость по сравнению со спортсменами, тренирующимися с отягощениями [101]. Эти фенотипы являются результатами адаптации в ответ на кумулятивную перегрузку, вызванную индивидуальными упражнениями, повторяющимися в течение многолетних тренировок [101, 106]. На рисунке 1.15 проиллюстрировано влияние предшествующего опыта тренировок и уровня подготовленности спортсменов на интерференционный эффект в рамках одной тренировочной программы силовых тренировок и тренировок на выносливость, где потенциал тренировок на выносливость (для стимуляции умеренной гипертрофии) и тренировок с отягощениями (для повышения окислительной способности в нетренированном состоянии) представлены в виде синего и красного столбцов, соответственно.

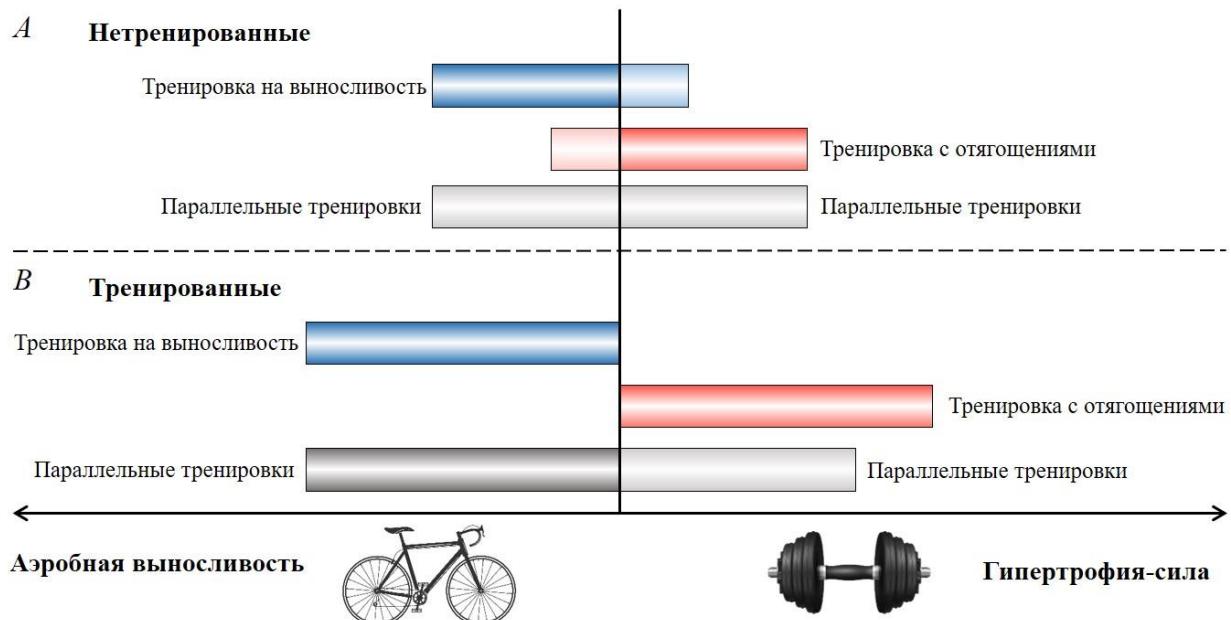


Рисунок 1.15 – Влияние предшествующего опыта тренировок и уровня подготовленности спортсменов на интерференционный эффект в рамках одной тренировочной программы силовых тренировок и тренировок на выносливость [101]

Способность различных режимов упражнений стимулировать адаптивные реакции, связанные с «противодействующими» упражнениями, также способствует отсутствию значимой интерференции во время параллельной тренировки (светло-серый столбец) с краткосрочными тренировками у нетренированных или рекреационно активных людей. Специфичность адаптации при длительных, интенсивных тренировках у хорошо подготовленных спортсменов не проявляет существенных эффектов «переноса» между режимами упражнений. Тренировки с отягощениями не ухудшают дальнейшее развитие окислительного метаболизма и выносливости, тогда как тренировки на выносливость ставят под угрозу прирост гипертрофии и силы при одновременной тренировке (темно-светло-серый столбцы).

Следующим фактором, определяющим реакцию организма на комбинацию аэробных и силовых тренировок, является тип локомоций, используемый при проведении тренировок на выносливость [82, 98]. Авторы работы [98] отмечают высокую вероятность того, что большая частота тренировок (> 3 дней в неделю в независимости от режима тренировок) и беговой режим упражнений увеличивают риск нарушения гипертрофической реакции на силовые тренировки по сравнению с меньшей частотой тренировок и модальностью занятий на велосипеде. В обзорном материале [82] авторы приходят к выводу, что, поскольку бег вызывает гораздо большее утомление и повреждение мышц в единицу времени, чем такие виды локомоций с меньшей ударной нагрузкой на опорно-двигательный аппарат, как езда на велосипеде, гребля, передвижение на лыжах, при сочетании силовых нагрузок с беговыми наблюдается гораздо более выраженный

интерференционный эффект, по крайней мере, для волокон типа I. Кроме того, существенную роль играют суммарная тренировочная нагрузка и общий тренировочный стресс, учет которых необходим для снижения кумулятивного утомления и ослабления потенциального негативного влияния аэробной циклической нагрузки на силовую адаптацию через ослабление гипертрофических реакций [107].

Таким образом, задачи оптимизации планирования и периодизации при необходимости сочетания в программе спортивной подготовки биатлонистов нагрузок силовой и аэробной направленности требуют учета ряда сложно взаимодействующих переменных, который позволит минимизировать интерференционный эффект и максимизировать адаптационный отклик. Такая оптимизация необходима на уровне отдельных тренировочных дней, микроциклов и мезоструктуры, рассматриваемой в нашем исследовании.

При анализе и оценке сочетания параметров нагрузок, направленных на совершенствование силовых качеств и повышение уровня выносливости биатлонистов высокой квалификации на этапах подготовительного периода, были использованы результаты ранее проведенных исследований, а также сформулированные на их основе методические положения и рекомендации по оптимизации одновременных «конкурирующих» тренировок в рамках структурных образований тренировочного процесса от микро- до макроцикла подготовки [98, 108, 109, 110, 111, 112] и другие. Анализ отношения динамики параметров суммарного объема циклической и силовой нагрузок показал, что пиковые значения обоих параметров совпадают и приходятся на июнь, то есть на конец ОПЭ (рисунок 1.16).

Июнь характеризуется как период использования длительных циклических низкоинтенсивных тренировок на выносливость, с наименьшей вероятностью влияющих на максимальную силу, в то время как пиковый объем тренировок с отягощениями, приближенными к максимально возможным для конкретного спортсмена, отмечается в июле (рисунок 1.17). На начало ОПЭ также приходится пиковый объем силовой работы, способствующей гипертрофии мышц несмотря на то, что именно такие нагрузки способствуют возникновению интерференционного эффекта. К факторам, потенциально (при неоптимальной периодизации) снижающим эффективность одновременного (в рамках микро- и мезоциклов) использования силовых нагрузок и циклических нагрузок с целью совершенствования аэробных возможностей биатлонистов, в данном случае можно отнести высокую квалификацию спортсменов. Хотя силовые тренировки не оказывают негативного влияния на дальнейшее развитие окислительного метаболизма и повышение уровня выносливости, одновременное использование большого объема циклических средств в

подготовке этой категории спортсменов отрицательно сказывается на гипертрофии и повышении силовых возможностей.

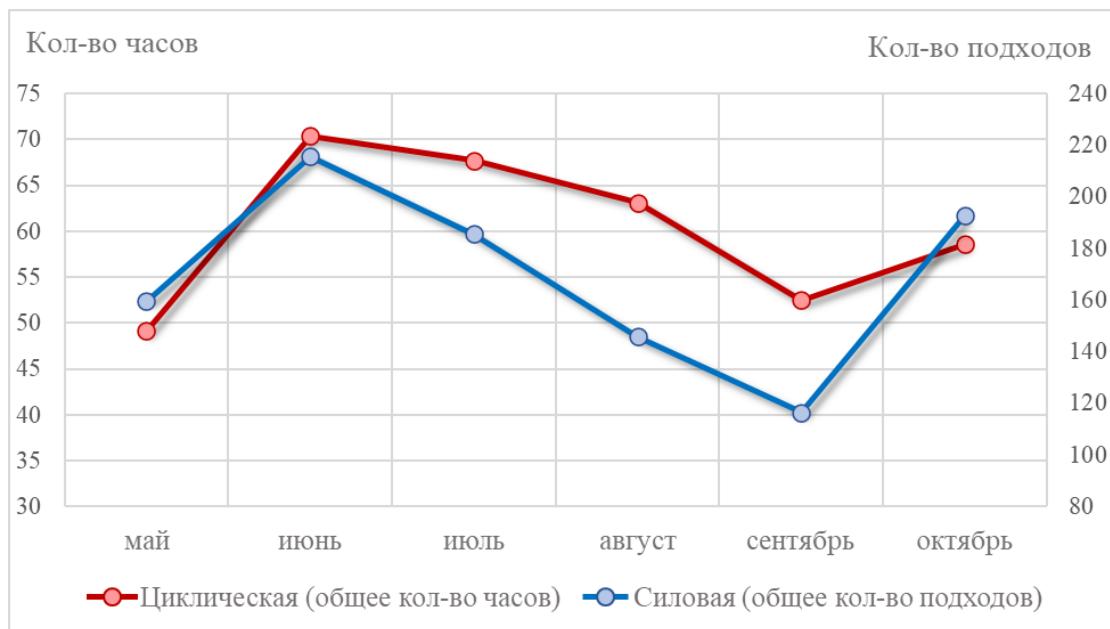


Рисунок 1.16 – Тенденции изменения общего объема циклической нагрузки и нагрузки силовой направленности в подготовительном периоде годичного макроцикла подготовки биатлонистов высокого класса (в среднем по группе, n=23)

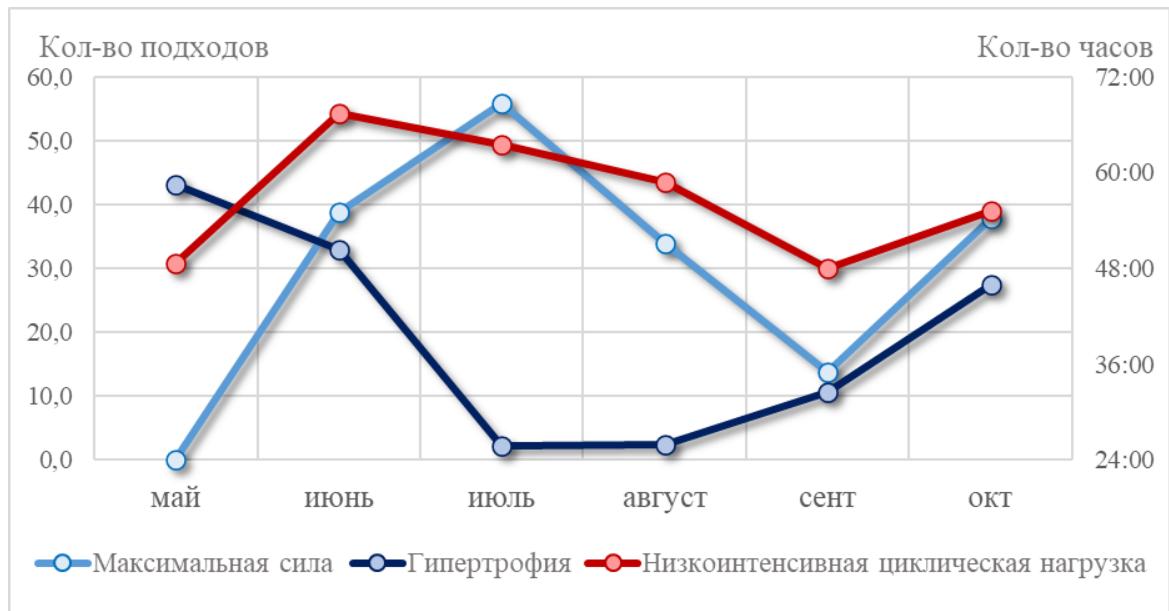


Рисунок 1.17 – Тенденции изменения объемов низкоинтенсивной циклической нагрузки и силовой нагрузки, направленной на гипертрофию и повышение максимальной силы, в подготовительном периоде годичного макроцикла биатлонистов высокого класса (в среднем по группе, n=23)

Следующим нуждающимся в оптимизации аспектом периодизации тренировки является значительная доля (%) беговых нагрузок, при сочетании которых с силовыми

наблюдается гораздо более выраженный интерференционный эффект, в общем объеме циклической нагрузки на начальном этапе подготовительного периода. На рисунке 1.18 представлены доли беговых нагрузок в общем объеме циклических средств подготовки на этапах подготовительного периода биатлонистов.

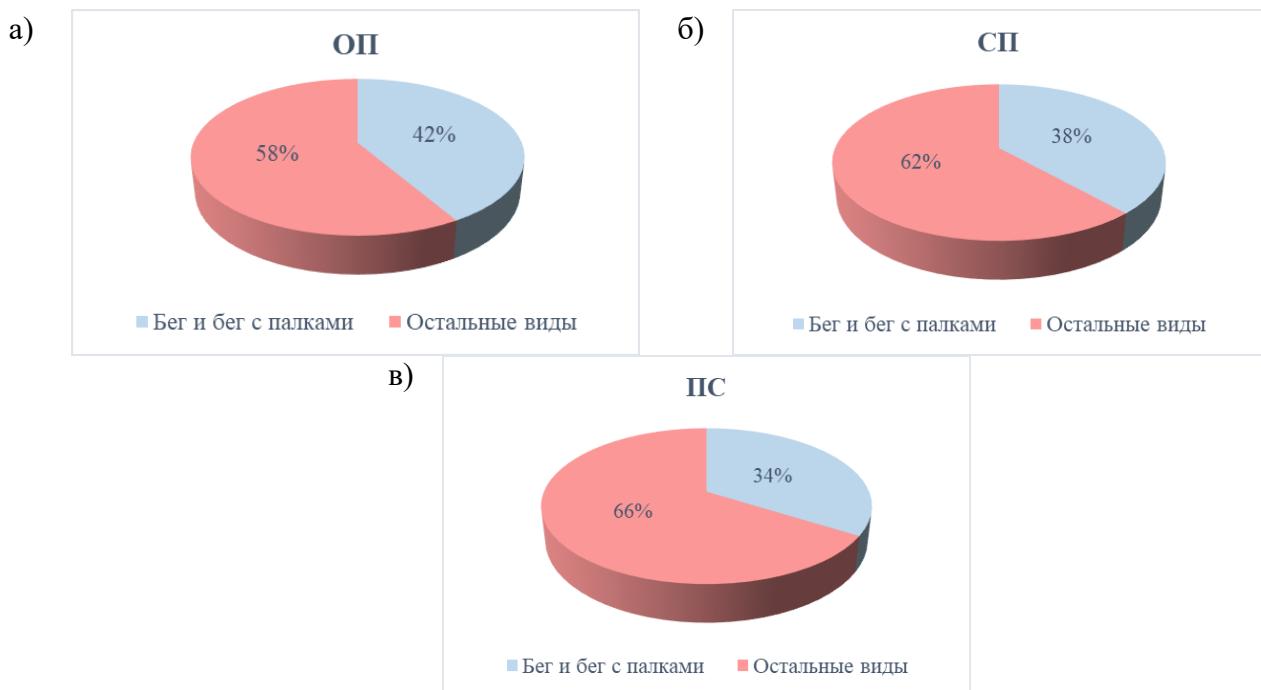


Рисунок 1.18 – Доля беговых нагрузок в общем объеме циклических средств подготовки на общеподготовительном (а), специально-подготовительном (б) и предсоревновательном (в) этапах подготовительного периода биатлонистов высокого класса (в среднем по группе, n=23)

По времени вопрос высокого относительного объема беговых нагрузок совпадает с необходимостью решения задачи гипертрофии в силовой подготовке, однако неоптимальность сочетания используемых средств существенно снижает эффективность решаемых задач. На рисунке 1.19 продемонстрирована динамика средних значений абсолютной мышечной массы, а также приростов тощей (безжировой) массы нижней и верхней части тела по месяцам подготовительного периода.

Как было установлено ранее, большие объемы циклических нагрузок на выносливость могут отрицательно повлиять на внутриклеточные пути, важные для синтеза миофибриллярного белка, поэтому оптимальное планирование силовых тренировок является особенно важным для биатлонистов в периоды подготовки, преследующие цель гипертрофии. Кроме того, на первый план выходит необходимость достаточного количества силовых тренировок для поддержания мышечной массы и силы в периоды с большим объемом тренировок на выносливость или соревновательный период.

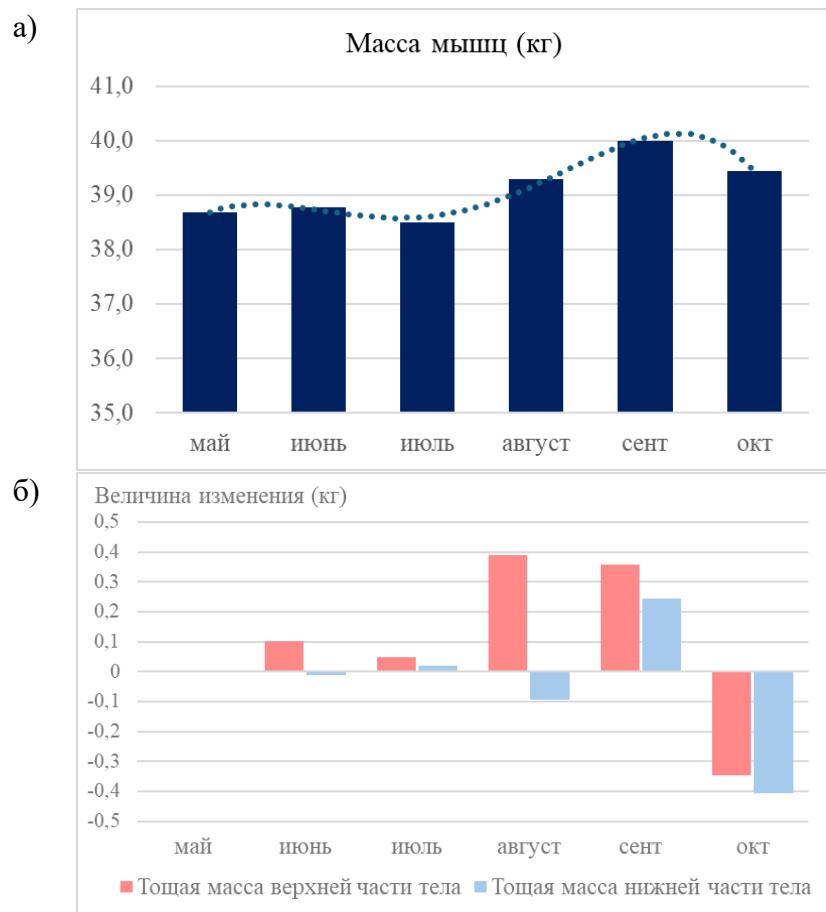


Рисунок 1.19 – Динамика средних значений абсолютной мышечной массы (а) и приростов (в кг) тощей массы нижней и верхней части тела (б) по месяцам подготовительного периода годичного макроцикла у биатлонистов высокого класса (n=23)

Таким образом, на основании результатов анализа содержания, распределения и сочетания основных параметров циклических нагрузок и средств силовой подготовки в исследуемый период можно сделать вывод о том, что наиболее обобщенной характеристикой периодизации тренировочной нагрузки у высококвалифицированных биатлонистов является постепенное увеличение интенсивности циклических и силовых нагрузок, что, в свою очередь, обусловливает смещение преимущественной направленности тренировочных эффектов от гипертрофии, повышения сократительных способностей и аэробных возможностей мышц в направлении улучшения производительности сердечно-сосудистой системы (далее – ССС), совершенствования механизмов транспорта лактата, внутримышечной и межмышечной координации, повышения быстрой и взрывной силы.

Повышение общего объема тренировочных нагрузок, парциальных объемов нагрузок на выносливость низкой и средней интенсивности, силовых тренировок со средними и высокими нагрузками, скоростно-силовых нагрузок до пиковых (для данного сезона) значений происходит уже на ОПЭ. Пик объемов нагрузок высокой интенсивности

достигается в конце СПЭ (сентябрь). На ПСЭ (то есть к началу соревновательного периода) происходит снижение объемов нагрузки на выносливость низкой и средней интенсивности и объема используемых неспецифических средств, что сопровождается существенным приростом количества часов, отводимых на специфические упражнения (лыжная и лыжероллерная подготовка) и высокоинтенсивные тренировки.

2 Особенности динамики биохимических маркеров под воздействием нагрузок различной направленности и интенсивности

Важным фактором планирования тренировочного процесса, оценки результатов соревновательной деятельности, а также мониторинга протекания адаптационных процессов является контроль функционального состояния спортсмена, предъявляющий высокие требования к информативности и доступности используемых диагностических подходов. Для оценки функционального состояния спортсменов применяются морфологические, физиологические, биохимические и педагогические методы наблюдения, позволяющие регистрировать тренировочные эффекты на всех уровнях организма, от молекулярного до системного. С точки зрения физиологии целью тренировки является достижение в организме спортсмена морфологических перестроек, обеспечивающих вывод нервно-мышечного аппарата и его ведущих систем на максимально высокий уровень и позволяющих в сочетании с совершенствованием техники, тактического мастерства и психологической подготовленности, показать наивысший спортивный результат. С целью максимизации работоспособности профессиональных спортсменов и недопущения травм и болезней крайне важно оптимизировать баланс между тренировочной нагрузкой и восстановлением. Однако если характер акцентов тренирующих воздействий не совпадает с процессами изменения физического потенциала спортсмена и его текущей готовностью к восприятию тренирующей информации определенного типа, возникает угроза истощения адаптационных ресурсов в нагружаемых системах организма и создаются условия, провоцирующие срыв адаптации с последующим ухудшением различных аспектов работоспособности.

Положительный вектор адаптации организма спортсмена достигается за счет варьирования объема, интенсивности и специфики физических упражнений. При этом «избыточность» нагрузки является одним из факторов, способствующих нефункциональному перенапряжению, ведущему к стагнации работоспособности спортсмена [113], болезням и травмам [114], а нагрузки с недостаточной продолжительностью и интенсивностью не способны генерировать необходимые для улучшения физических показателей адаптации [113].

Для получения полноценной картины адаптационных изменений в организме спортсмена необходимо осуществлять комплексный анализ биохимических маркеров. Основополагающим практическим аспектом организации биохимического мониторинга, преследующего цель оценки текущего функционального состояния спортсменов в различных условиях тренировочного процесса, является выбор наиболее информативных и прогностически значимых маркеров или их комплексов. При этом учитываются различные

отклики физиологических систем и органов на многократное воздействие алlostатической нагрузки.

Объективная оценка результатов любого тестирования, в том числе лабораторного биохимического обследования, возможна только при наличии системы и критериев оценки. Обоснованность вышеуказанных инструментов определяет целесообразность и возможность использования биомаркеров (и других показателей комплексного контроля) в качестве основы для принятия решений в рамках управления тренировочным процессом. С целью дифференциации и объективной оценки гомеостатических и морффункциональных перестроек в нагружаемых системах организма спортсмена под воздействием физических нагрузок, его адаптационных возможностей, переносимости нагрузок, баланса между процессами восстановления и утомления и раннего выявления состояния стойкого снижения работоспособности особое внимание уделяется разработке референтных интервалов биохимических маркеров [115, 116, 117], являющихся неотъемлемой частью процесса корректной интерпретации результатов лабораторных исследований [118].

Важно учитывать, что диапазоны референтных значений одного и того же биомаркера, установленные в различных диагностических лабораториях, могут существенно различаться, поэтому говорить о «едином» референтном диапазоне некорректно. Лаборатории используют различные виды оборудования, реагенты разных производителей, а кроме того, могут использовать иные, отличные от других лабораторий, технологии и методы исследований. В соответствии с требованиями Международного стандарта по аккредитации клинических лабораторий ISO 15189 [119] каждая лаборатория должна не только устанавливать, но и периодически пересматривать ранее разработанные референтные интервалы. Поэтому с целью обеспечения корректной интерпретации результатов и их сопоставимости, особенно в случае длительного мониторинга, целесообразно проводить исследования в одной лаборатории в стандартизованных условиях.

Сложность определения пределов референтных значений применительно к спортсменам связана и с тем, что на изучаемые параметры оказывает влияние комплекс факторов различной природы, в частности: объем, интенсивность и направленность тренировочных нагрузок, их психологическая и координационная сложность. Таким образом, референтные интервалы могут рассматриваться в качестве объективных критериев адекватности реакции организма на физическую нагрузку только с учетом специфики тренировочно-соревновательной деятельности спортсменов высокого класса. Более того, в большинстве случаев в каждой лаборатории следует устанавливать собственные референтные интервалы для отдельных групп спортсменов. Данный подход с

одновременным анализом предшествующей обследованию физической нагрузки в рамках учебно-тренировочного мероприятия предоставляет возможность оценки ее стрессогенности, что может помочь тренеру определить дальнейший вектор организации тренировочных нагрузок с целью формирования адекватных морффункциональных перестроек в нагружаемых системах организма в зависимости от этапа подготовки.

В контексте биохимического контроля в подготовке биатлонистов высокого класса данный подход был реализован нами посредством разработки референтных интервалов для этапов и периодов годичного макроцикла подготовки, определяющих различия в адаптационном отклике и функциональном состоянии спортсменов. Биохимические маркеры оценки функционального состояния спортсменов были объединены в следующие подгруппы:

- маркеры повреждения скелетных мышц и миокарда,
- маркеры метаболизма костной ткани,
- маркеры энергообеспечения мышечной деятельности,
- маркеры кислородтранспортной системы,
- маркеры гормонального статуса,
- маркеры активности ЦНС,
- маркеры иммунной системы,
- маркеры макро- и микроэлементного обмена.

Основная цель обследования в лабораторных условиях заключается в комплексной оценке функциональных возможностей систем организма спортсмена и его метаболической адаптации под воздействием физических нагрузок, являющихся ведущим триггером, обуславливающим адаптивные реакции в организме. Спортсмены должны приходить на обследование восстановленными, и накануне проведения комплексной оценки им запрещается выполнение развивающих нагрузок циклического и силового характера.

Для определения референтных интервалов биохимических показателей в крови спортсменов сборной команды России по биатлону нами проанализированы результаты биохимического мониторинга 23 высококвалифицированных биатлонистов, полученных в рамках годичных циклов подготовки в условиях учебно-тренировочных мероприятий (текущий контроль) и при проведении лабораторных обследований (этапный комплексный контроль). Всего в исследование включены и статистически обработаны результаты 4 131 человек-обследований, из них 1 888 гематологических и 2 243 биохимических тестов, полученных в рамках:

- подготовительного периода:
 - 1) ОПЭ (апрель, май, июнь);

2) СПЭ (июль, август, сентябрь);

3) ПСЭ (октябрь);

– соревновательного периода: этапа ранних стартов (ноябрь-декабрь) (далее – ЭРС).

На основании результатов биохимического контроля биатлонистов высокой квалификации и изученных особенностей динамики биохимических и иммунологических маркеров спортсменов в тренировочном процессе нами рассчитаны референтные интервалы биомаркеров, отражающие выполненную спортсменами нагрузку в рамках подготовительного периода подготовки. Для этапов подготовительного периода референтные интервалы рассчитывались методом bootstrap с построением 90 %-го доверительного интервала. Такая конкретизация позволяет проводить точную оценку уровня и особенностей динамики биохимических маркеров под воздействием нагрузок различной направленности, то есть с учетом параметров силы тренировочного воздействия: интенсивности, продолжительности и направленности.

В данной главе представлены результаты изучения особенностей и закономерностей динамики биохимических и иммунологических маркеров, количественно измеренных в крови спортсменов в рамках тренировочного процесса, на основании которых и с учетом вида спорта и предшествующей тестированию нагрузки различной интенсивности и специфики были рассчитаны референтные интервалы биохимических показателей. Интерпретация результатов и принятие на их основе решений по коррекции тренировочного процесса требуют обязательной контекстуализации полученных данных и учета возможного влияния тренировочных и нетренировочных факторов. Изучаемые показатели должны рассматриваться:

– совместно с прочими биомаркерами;

– в комплексе с результатами мониторинга состояния спортсмена, полученными с использованием других методов;

– с учетом влияния параметров объема, интенсивности, направленности тренировочной нагрузки, а также уровня ее координационной и психической сложности на этапах подготовительного периода.

При альтернативном подходе существенно возрастает риск принятия неверного управленческого решения: либо к необоснованному снижению нагрузки, что не позволит спортсмену выйти на уровень запланированных результатов к главным стартам, либо к ее необоснованному завышению, что увеличивает риск травматизма и возникновения синдрома перетренированности.

2.1 Текущий контроль

2.2.1 Маркеры повреждения скелетных мышц

Повреждение мышц является необходимым стимулом для адаптации, однако длительное повреждение мышц может снизить эффективность тренировки за счет положительной взаимосвязи между степенью повреждения мышц и временем восстановления. Вызванное чрезмерным физическим стрессом повреждение скелетных мышц является наиболее распространенным явлением у спортсменов различных видов спорта, а его эффекты существенно влияют на работоспособность спортсмена и затрудняют выполнение ежедневных физических задач, поставленных тренером. В ряде исследований показано, что повреждение мышц может быть вызвано механическими, метаболическими и/или ионными факторами [120, 121, 122, 123] в зависимости от режима, интенсивности и продолжительности упражнений, а также тренировочного статуса спортсмена. Кроме того, к повреждению мышц могут приводить некорректно составленные программы тренировок с недостаточным периодом восстановления.

Спровоцированное физической нагрузкой повреждение мышц можно разделить на начальную фазу повреждения, возникающую во время выполнения физических упражнений, и фазу вторичного повреждения, связанную с отсроченной воспалительной реакцией, за которыми следует процесс ремоделирования мышц [124]. Определенное повреждение мышц является положительным стимулом для мышечной реструктуризации, гипертрофии и увеличения силы, однако в редких случаях непривычные напряженные упражнения могут привести к рабдомиолизу, характеризующемуся некрозом мышечных волокон. Несмотря на то, что механизмы, лежащие в основе повреждения скелетных мышц доподлинно не установлены, снижение мышечной функции вследствие повреждения мышц объясняется нарушением высокоупорядоченной структуры саркомеров скелетных мышц. Повреждение мышц может ослабить высвобождение ионов кальция из саркоплазматического ретикулума в цитозоль, тем самым уменьшив связывание миофибриллярных нитей, приводящее к сокращению мышц. При повреждении внешней оболочки мышечного волокна через микротрещины в интерстициальную жидкость, а затем через лимфатическую систему в кровоток поступают ферменты или легкие изоформы миозина. При серьезном повреждении поперечнополосатой скелетной мускулатуры наблюдается утечка ряда сократительных белков и внутриклеточных субстанций из миоцитов.

В качестве маркеров состояния мышечной ткани и протекающих в организме спортсмена адаптационных процессов под воздействием тренировочных нагрузок используются ферменты скелетных мышц (креатинфосфокиназа, далее – КФК), а также

аминотрансферазы (аланинаминотрансфераза (далее – АЛТ), аспартатаминотрансфераза (далее – АСТ)), повышенные уровни которых в сыворотке связаны с их высвобождением из мышечных клеток и коррелируют с интенсивностью и продолжительностью физического воздействия. В результате исследований, направленных на изучение изменения активности КФК после физического воздействия, обнаружено, при изометрическом сокращении мышц пик ферментативной активности фермента в сыворотке наблюдается через 24-48 ч после тренировки, при выполнении упражнений с эксцентрическим сокращением – спустя 3-7 дней, а при силовых тренировках наблюдается двухфазный паттерн [125]. Периоды полуыведения АЛТ и АСТ составляют около 47 и 17 ч, соответственно [126].

Статистические параметры выборки результатов определения активности КФК в крови биатлонистов, измеренной на различных этапах тренировочного процесса, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Статистические параметры выборки активностей КФК (Ед/л), измеренных в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса (ОПЭ – общеподготовительный, СПЭ – специально-подготовительный, ПСЭ – предсоревновательный, ЭРС – ранние старты, ДИ – доверительный интервал)

Параметр	Этап подготовки			
	ОПЭ*	СПЭ*	ПСЭ*	ЭРС*
Медиана	261	222	203	184
Минимальное значение	74	119	98	96
Максимальное значение	481	331	325	274
Референтный интервал	100-465	129-323	108-314	104-263
90 % ДИ	нижнее значение	81-120	123-135	95-121
	верхнее значение	446-485	317-329	301-327
Оптимальный референтный интервал	120-453	135-314	124-312	112-258

Примечание – * различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

У спортсменов наблюдается достоверное снижение среднегрупповых активностей КФК между всеми этапами подготовительного периода ($p < 0,05$), а также при переходе от ПСЭ к ЭРС ($p < 0,05$). Достоверно более высокие значения активности КФК в крови биатлонистов на ОПЭ являются следствием метаболических перестроек, связанных с интенсификацией тренировочного процесса, предусматривающего функционирование нервно-мышечного аппарата в условиях высокого механического и метаболического стресса. На протяжении данного этапа подготовительного периода объем низкоскоростных и неспецифических по биомеханике упражнений преобладает над низкоскоростными упражнениями, но специфичными по биомеханике (лыжероллеры), что сопровождается повреждением клеток скелетных мышц. Кроме того, на данном этапе одной из задач

подготовки биатлонистов является укрепление сухожильной части мышцы с целью профилактика травм и повышению экономичности циклических локомоций.

Достоверно более высокие среднегрупповые значения активности КФК у биатлонистов на ОПЭ ($p < 0,05$) и СПЭ ($p < 0,05$) по сравнению с ПСЭ и ЭРС связаны со структурой силовой подготовки этих спортсменов. В первую очередь речь идет о применение повышенного количества разнонаправленных силовых нагрузок в рамках отдельных мезоциклов, в том числе на фоне постепенного увеличения объема высокоскоростных дистанционных средств подготовки. Достоверное снижение активности КФК у биатлонистов от подготовительного периода к соревновательному ($p < 0,05$) связано не только с функциональных возможностей нервно-мышечного аппарата, но и с увеличением доли упражнений на лыжероллерах, обладающих меньшим травмирующим эффектом на мышечные волокна, относительно неспециализированных беговых и прыжковых локомоций.

Для повышения уровня мышечной работоспособности требуется создавать механический или метаболический стресс, что зачастую вызывает определенный уровень повреждений скелетных мышц. В связи с этим ферментативная активность КФК у биатлонистов во многих случаях превышает верхнюю границу соответствующих общепопуляционных значений, полученных для здоровой контрольной популяции мужского пола (200 Ед/л).

В процессе расчета среднегрупповых референтных интервалов активности КФК в крови биатлонистов нами были зафиксированы и проанализированы случаи превышения верхних границ диапазонов, рассчитанных на протяжении этапов тренировочного процесса. Выявленные факты свидетельствуют о высокой степени перенапряжения мышечной системы в следствии повышения проницаемости мембран мышечных клеток, индуцированного метаболическим или механическим стрессом. Данные представлены на рисунке 2.1.

Наибольшую частоту встречаемости выхода значений активности КФК за верхнюю границу референтного интервала наблюдали на СПЭ (29.8 %), что связано как с применением повышенного количества разнонаправленных силовых нагрузок, так и с выполнением большого объема не специфических циклических упражнений, выполняемых с соревновательной и сверхсоревновательной скоростью.

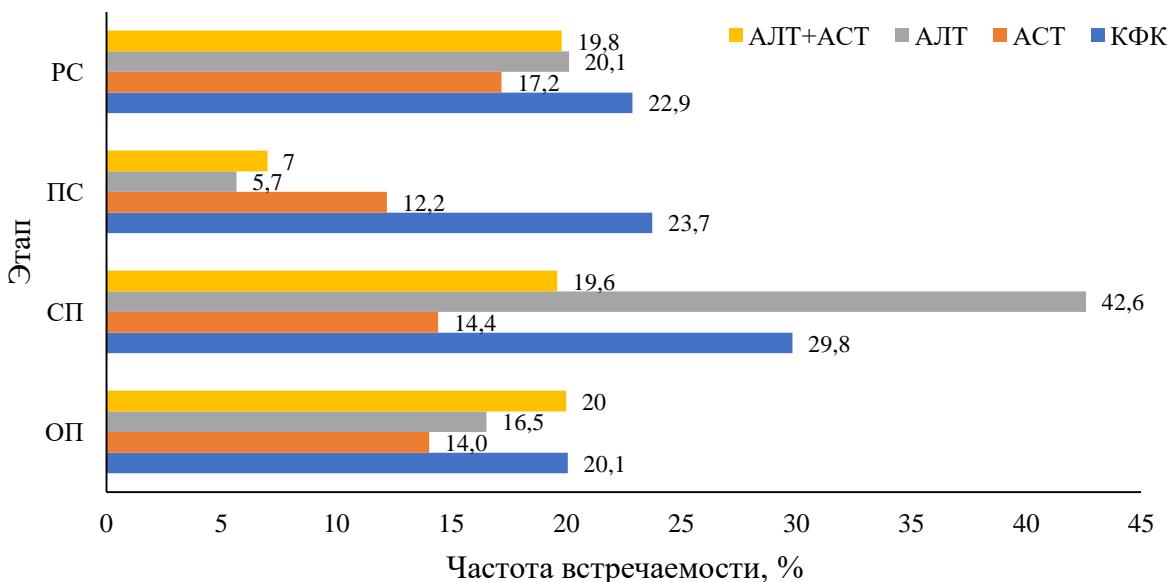


Рисунок 2.1 – Частота встречаемости превышения активностей ферментов верхних границ соответствующих референтных интервалов в крови биатлонистов на различных этапах подготовки, где ОП – общеподготовительный, СП – специально-подготовительный, ПС – предсоревновательный, РС – ранние старты

Статистические параметры выборки результатов определения активностей АСТ и АЛТ в крови биатлонистов на различных этапах подготовки представлены в таблицах 2.2 и 2.3, соответственно. Тренд изменения среднегрупповых активностей АСТ в рамках тренировочного процесса не отличается существенным образом от такого для АЛТ. Одновременное повышение ферментативных активностей АЛТ и АСТ, как правило, связано с вовлечением печени в метаболический синдром.

Таблица 2.2 – Статистические параметры выборки активностей АСТ (Ед/л), измеренных в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса

Параметр	Этап подготовки			
	ОПЭ*	СПЭ*	ПСЭ*	ЭРС*
Медиана	35.0	40.0	34.0	32.0
Минимальное значение	21.6	25.4	22.4	25.0
Максимальное значение	48.0	46.0	44.0	39.0
Референтный интервал	22.3-48.0	27.0-46.0	23.7-43.0	25.0-39.0
90 % ДИ	нижнее значение	21.0-23.6	26.4-27.6	22.5-24.9
	верхнее значение	46.7-49.3	45.4-46.6	41.8-44.2
Оптимальный референтный интервал	23.6-46.0	27.0-45.0	24.0-43.0	26.0-38.0

Примечание – * различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Анализ среднегрупповых значений ферментативной активности АСТ и АЛТ в крови биатлонистов показал, что при переходе от ОПЭ к СПЭ наблюдается достоверное увеличение среднегрупповых содержаний аминотрансфераз ($p < 0,05$), что связано с использованием на протяжении СПЭ упражнений, выполняемых с соревновательной и сверхсоревновательной скоростью. Кроме того, доминирующей направленностью силовых

упражнений, выполняемых на СПЭ, является гипертрофия скелетных мышц, развитие максимальной силы и силовой выносливости, приводящие к повреждению скелетных мышц. Среднегрупповые значения активностей АСТ и АЛТ достоверно ниже в соревновательном периоде (ЭРС) по сравнению со всеми этапами подготовительного ($p < 0,05$). При переходе от подготовительного периода к соревновательному отмечается сужение ширины референтного интервала активностей обоих ферментов.

Таблица 2.3 – Статистические параметры выборки активностей АЛТ (Ед/л), измеренных в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного

Параметр	Этап подготовки			
	ОПЭ*	СПЭ*	ПСЭ*	ЭРС*
Медиана	22.0	23.0	22.0	21.0
Минимальное значение	11.7	15.5	13.1	16.0
Максимальное значение	33.2	30.0	31.1	27.0
Референтный интервал	12.5-32.0	16.0-30.0	14.0-30.0	16.0-27.0
90 % ДИ	нижнее значение	11.4-13.6	15.5-16.5	13.6-15.8
	верхнее значение	30.9-33.1	29.5-30.5	28.9-31.1
Оптимальный референтный интервал	13.9-31.0	17.0-29.0	15.0-29.2	17.0-26.0

Примечание – * различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Как и в случае КФК, наибольшая частота встречаемости выхода значений ферментативной активности АЛТ за верхнюю границу референтного интервала отмечена на СПЭ (42.6 %), в то время как применительно к АСТ она наблюдалась на ЭРС (17.2 %), данные проиллюстрированы на рисунке 2.1. Максимальные активности АЛТ (146.0 Ед/л), АСТ (164.2 Ед/л) и КФК (4457 Ед/л) были зафиксированы в апреле, что свидетельствует об отсутствии адаптации организма спортсмена к воздействию тренировочного стимула, высокой степени напряженности метаболических процессов и повреждения гепатоцитов под воздействием нагрузок с преобладанием гликолитических механизмов энергообеспечения, характеризующихся интенсивным повреждением мембран работающих клеток. Статистические параметры выборки суммарной активности АЛТ и АСТ, отражающей общую интенсивность метаболических потоков разной направленности и являющейся важнейшим индикатором интенсивности обмена веществ и состояния гомеостаза, измеренных в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса приведены в таблице 2.4.

Анализ среднегрупповых суммарных значений активностей трансаминаз показал, что при переходе от ОПЭ к СПЭ наблюдается их достоверное увеличение ($p < 0,05$), что отражает напряженность метаболических процессов, протекающих в организме под воздействием тренировочного стимула. На следующем этапе подготовительного периода среднегрупповая суммарная активность ферментов достоверно снижается ($p < 0,05$), а на

ЭРС сумма она достоверно ниже, чем на ПСЭ ($p < 0,05$). Ширина референтного интервала суммарной активности АСТ и АЛТ на каждом последующем этапе подготовки уменьшается. Частота встречаемости превышения суммарной активности аминотрансфераз верхней границы соответствующего референтного интервала с учетом этапа подготовки составила: на ОПЭ – 20.0 %, СПЭ – 19.6 %, ПСЭ – 7.0 %, ЭРС – 19.8 %. Коэффициент линейной корреляции Спирмена между концентрациями АСТ и АЛТ составил 0.73.

Таблица 2.4 – Статистические параметры выборки суммы активностей АЛТ и АСТ (Ед/л), измеренных в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса

Параметр	Этап подготовки			
	ОПЭ*	СПЭ*	ПСЭ*	РС*
Медиана	54.2	58.0	55.0	53.0
Минимальное значение	32.7	42.8	37.4	42.0
Максимальное значение	77.0	73.0	74.0	64.0
Референтный интервал	33.8-75.0	44.5-72.0	39.0-72.1	43.0-63.0
90 % ДИ	нижнее значение	31.4-36.2	43.4-45.6	36.7-41.3
	верхнее значение	72.6-77.4	70.9-73.1	69.8-74.4
Оптимальный референтный интервал	36.2-73.0	45.6-71.0	40.6-71.0	44.0-63.0

Примечание – * различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

В спортивной практике и клинической диагностике наряду с индивидуальными ферментативными активностями аминотрансфераз широкое признание получил коэффициент де Ритиса, равный отношению активностей АСТ и АЛТ. Общепопуляционный референтный интервал этого коэффициента в здоровой популяции варьируется от 1.2 до 1.6. Среднегрупповые значения коэффициента де Ритиса, рассчитанного на основании индивидуальных активностей аминотрансфераз, измеренных в крови биатлонистов на разных этапах подготовки, были следующими:

- 1.43 ± 0.27 на ОПЭ;
- 1.45 ± 0.20 на СПЭ;
- 1.50 ± 0.20 на ПСЭ;
- 1.46 ± 0.19 на ЭРС.

Референтный интервал коэффициента де Ритиса, рассчитанного на основании индивидуальных активностей аминотрансфераз, измеренных в крови биатлонистов на разных этапах подготовки, находился в диапазоне:

- на ОПЭ 0.97 (90 % ДИ 0.92-1.02) – 1.92 (90 % ДИ 1.87-1.97);
- на СПЭ 1.10 (90 % ДИ 1.07-1.13) – 1.82 (90 % ДИ 1.79-1.85);
- на ПСЭ 1.17 (90 % ДИ 1.12-1.22) – 1.84 (90 % ДИ 1.79-1.85);
- на ЭРС 1.11 (90 % ДИ 1.08-1.14) – 1.81 (90 % ДИ 1.78-1.84).

В случае если значения активностей трансаминаз превышают верхние границы соответствующих референтных диапазонов, то выход коэффициента де Ритиса за верхний предел референтного интервала ассоциируется с механическими повреждениями кардиомиоцитов под воздействием физических нагрузок, а за нижний – с повреждением клеток печени. Основным недостатком АЛТ и АСТ как биохимических маркеров, наряду с их отношением, является их низкая тканевая специфичность. Вследствие слабой чувствительности к функциональной перегрузке миокарда трансаминазы не позволяют с достаточной достоверностью характеризовать предпатологическое состояние сердечной мышцы и самостоятельно использоваться в качестве прогностических маркеров оценки адаптации сердца спортсмена к физическим нагрузкам той или иной направленности.

2.2.2 Маркеры гормонального статуса

Для физиологической адаптации к тренировочным нагрузкам необходима правильная гормональная сигнализация. В зависимости от величины физического стимула эндокринная система реагирует на физиологический стресс, запуская специфические адаптационные процессы.

На всех этапах подготовки в рамках текущего обследования концентрация кортизола, отражающая стрессогенность разнонаправленных нагрузок, варьировалась в широком диапазоне. У спортсменов наблюдалось достоверное повышение среднегрупповой концентрации кортизола при переходе от ОПЭ (230.1 ± 37.5 нг/мл) к СПЭ (247.5 ± 44.6 нг/мл) ($p < 0,05$), а его уровень на ПСЭ (238.4 ± 53.7 нг/мл) был достоверно ниже по сравнению с предшествующим ($p < 0,05$). Референтный интервал концентраций кортизола на ОПЭ составил 166.2 (90 % ДИ 158.8-173.5) – 289.9 (90 % ДИ 281.5-296.2) нг/мл, на СПЭ – 172.7 (90 % ДИ 167.7-177.7) – 328.0 (90 % ДИ 323.0-333.0) нг/мл, на ПСЭ – 143.7 (90 % ДИ 130.8-156.7) – 332.7 (90 % ДИ 319.7-345.6) нг/мл. Частота встречаемости превышения концентрации кортизола верхней границы общепопуляционного референтного интервала гормона для мужчин (206 нг/мл) составила на ОПЭ – 68.4 %, СПЭ – 71.9 %, ПСЭ – 60.5 %. Умеренное превышение концентрации кортизола верхней границы референтного интервала, наблюдаемое в рамках текущего биохимического контроля, является индикатором высокой тренированности спортсмена, в то время как снижение его уровня сигнализирует об утомлении и высокой стрессогенности нагрузки.

Среднегрупповой уровень тестостерона достоверно снижался при переходе от ОПЭ (6.29 ± 1.33 нг/мл) к СПЭ (6.09 ± 1.08 нг/мл) ($p < 0,05$). Статистически достоверных различий концентраций андрогена между СПЭ и ПСЭ (6.09 ± 1.13 нг/мл) этапами подготовки у

биатлонистов не выявлено. Референтные интервалы концентрации тестостерона, рассчитанные относительно этапов подготовки, составили:

- на ОПЭ 4.07 (90 % ДИ 3.80-4.33) – 8.67 (90 % ДИ 8.40-9.93) нг/мл;
- на СПЭ – 4.20 (90 % ДИ 4.08-4.33) – 8.05 (90 % ДИ 7.92-8.17) нг/мл;
- на ПСЭ 3.98 (90 % ДИ 3.73-4.23) – 8.13 (90 % ДИ 7.89-8.38) нг/мл.

Динамику ответа кортизола и тестостерона на физическую нагрузку необходимо анализировать только с учетом объема и направленности средств подготовки, а также индивидуальных особенностей спортсмена и специфики вида спорта, поскольку у спортсменов высокого класса вышеперечисленные переменные характеризуются высокой индивидуальной вариативностью. В качестве примеров на рисунках 2.2 и 2.3 приведена динамика концентраций кортизола и тестостерона, измеренные в крови двух биатлонистов на этапах подготовительного периода сезона 2022-2023 гг.

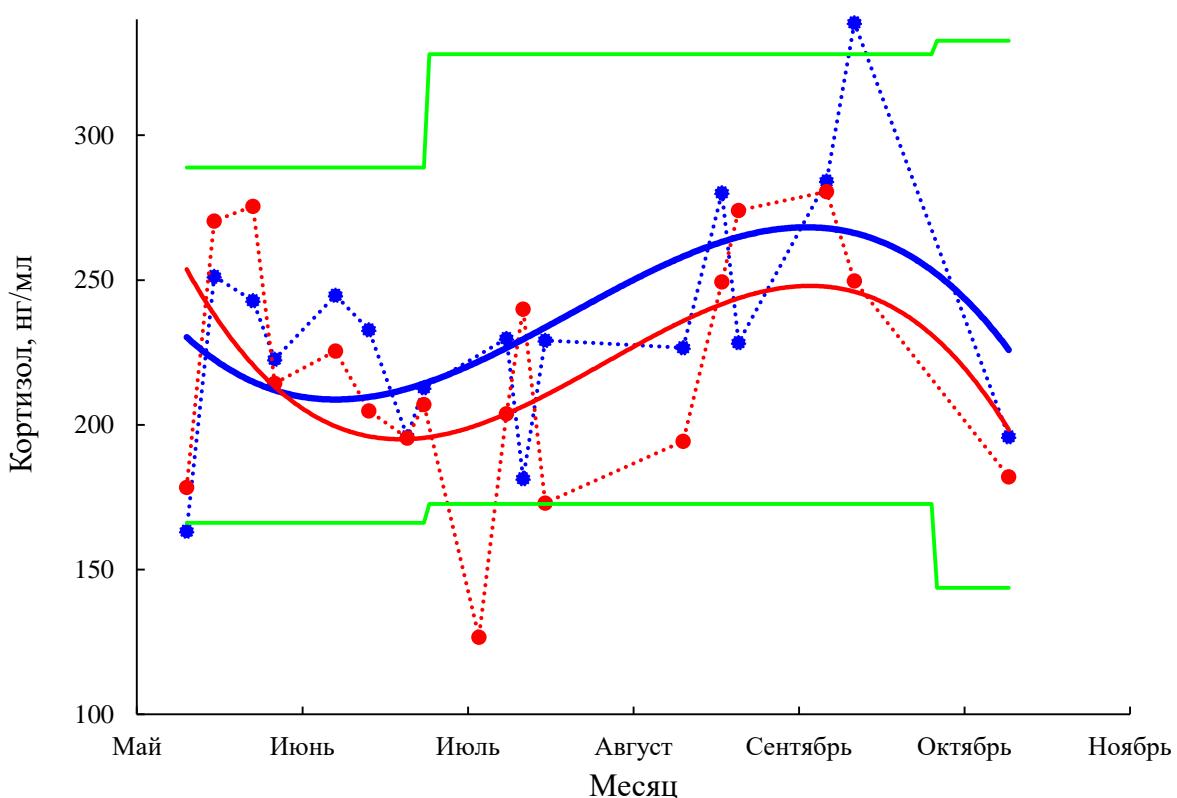


Рисунок 2.2 – Динамика концентраций кортизола, измеренных в крови биатлонистов на различных этапах подготовки

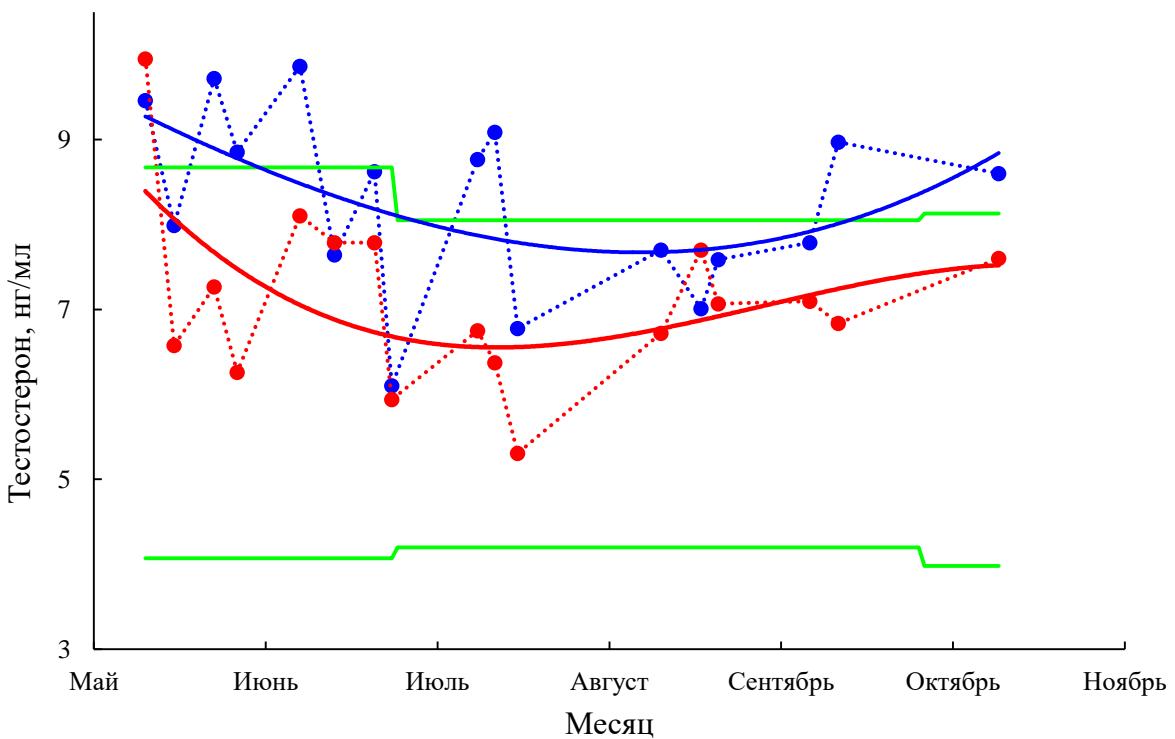


Рисунок 2.3 – Динамика концентраций тестостерона, измеренных в крови биатлонистов на различных этапах подготовки

В большинстве случаев концентрации кортизола у биатлонистов превышали верхнюю границу общепопуляционного референтного интервала концентраций гормона для мужчин (206 нг/мл), при этом всегда находясь в рамках референтных границ, рассчитанных для соответствующего этапа подготовки (—). Обращает на себя внимание схожая направленность изменения уровней кортизола у спортсменов, тренирующихся под руководством разных тренеров, на всем протяжении подготовки. Так, у обоих спортсменов на ОПЭ уровень кортизола был ниже, чем на СПЭ. Анализ распределения средств подготовки показал, что сочетание в июле низкоскоростных циклических упражнений и упражнений с повышенным силовым акцентом (бег в гору, жилет, волокуша) создает значительное напряжение нейроэндокринной системы, приводящие к увеличению секреции кортизола.

На протяжении одного мезоцикла (август) концентрации кортизола демонстрировали возрастающую динамику, что совпадает с периодом нахождения биатлонистов на учебно-тренировочных мероприятиях в условиях среднегорья. Например, в этот период времени спортсмен (—) находился в учебно-тренировочном центре «Семинский перевал», Алтай (1800 м над уровнем моря), а биатлонист (—) – на лыжно-биатлонном комплексе «Лаура», Красная Поляна (1500 м над уровнем моря). Такая общая закономерность динамики концентраций кортизола, измеренных в крови спортсменов, в рамках данного мезоцикла СПЭ связана как с фазами адаптации к гипоксическим условиям,

обусловленным высотой над уровнем моря, так и повышенной адренергической реакцией, вызывающей увеличение секреции кортизола. Снижение концентрации глюокортикоида после нагрузки преимущественно связано с утомлением, тогда как как умеренное повышение указывает на высокую тренированность спортсмена.

Динамика изменения концентрации тестостерона как одного из наиболее значимых маркеров оценки протекающих адаптационных процессов, достоверно влияющих на аэробную производительность и выносливость спортсменов, а также восстановительные процессы у биатлонистов, тренирующихся под руководством разных тренерских штабов, схожая. В рамках ОПЭ наблюдали стабильное снижение концентраций тестостерона, а начиная с СПЭ – увеличение уровня андрогена. При этом содержания тестостерона в крови обоих биатлонистов, измеренные в октябре, не превышали соответствующих значений, полученных в мае. Если снижение уровня андрогена, наблюдаемое в рамках ОПЭ, может указывать на преобладание в тренировочном процессе низкоскоростных нагрузок повышенного объема, то его увеличение во второй половине СПЭ вероятно связано с использованием спортсменами комбинации упражнений с повышенным сопротивлением и скоростных упражнений. В этом случае, возрастание уровня анаболических гормонов обусловлено повышенными требованиями к адаптации и расширению функциональных возможностей организма.

Динамика изменения отношения концентраций тестостерона к кортизолу (далее – Т/К) у биатлонистов, использующегося для оценки баланса анаболических и катаболических процессов в ответ на нагрузки, приведена на рисунке 2.4 и у обоих биатлонистов имеет волнообразный характер. Минимальные значения зафиксированы в начале мезоциклов, когда происходит изменение силы тренирующих воздействий. Увеличение объема и/или интенсивности нагрузки с постепенным повышением специфичности воздействия обладает наибольшей стрессогенностью, что приводит к истощению ресурсов нейроэндокринной системы. Однако именно такая стратегия необходима для развития устойчивых адаптационных перестроек и обеспечения динамики поступательного формирования морфофункциональной специализации всех систем организма спортсменов. Снижение напряжения нейроэндокринной системы сопровождалось постепенным ростом значений Т/К и достижением максимальных значений в конце мезоцикла. Наиболее низкие значения отношения стероидных гормонов в крови обоих спортсменов зафиксированы в фазе острой акклиматизации (август).

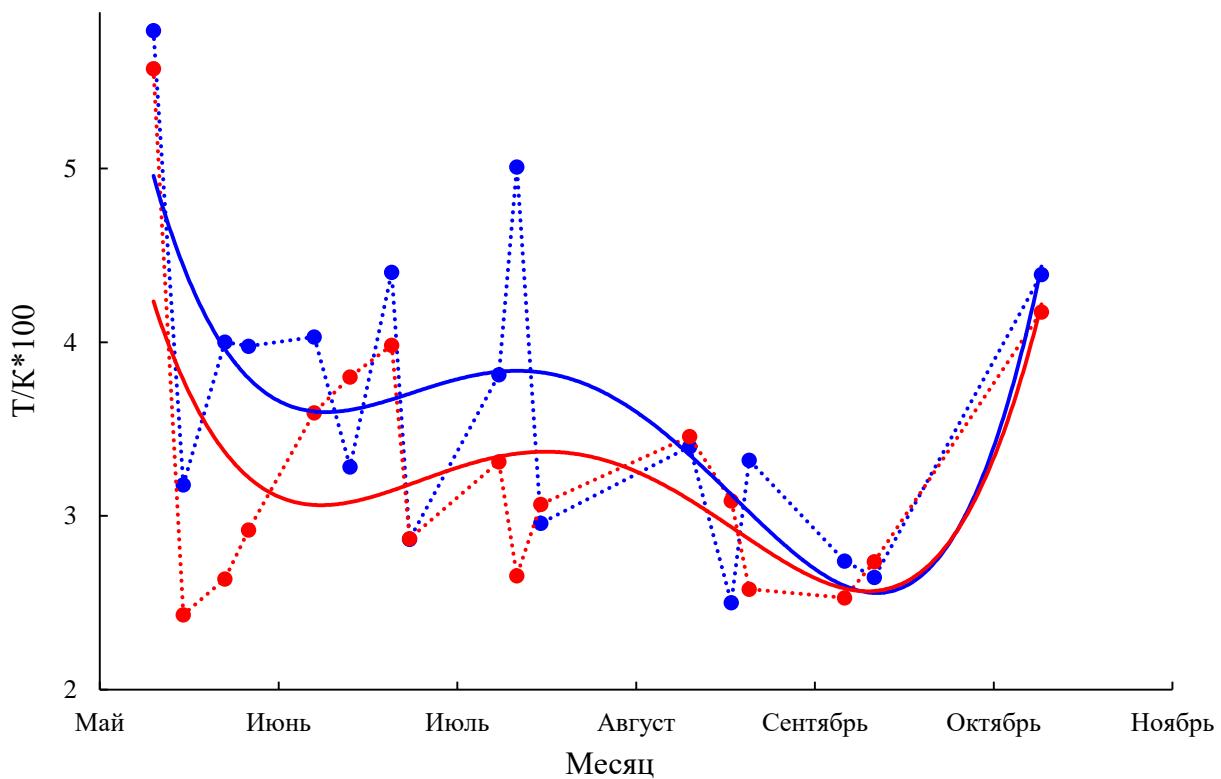


Рисунок 2.4 – Динамика Т/К у биатлонистов на различных этапах подготовки

Примечателен тот факт, что в отличие от уровней кортизола, измеренных в рамках текущего контроля, в рамках комплексной оценки функциональных возможностей систем и метаболической адаптации организма спортсменов под воздействием физических нагрузок, выполняемой в лабораторных условиях, концентрации кортизола в крови биатлонистов вне зависимости от этапа подготовки находились в пределах физиологической нормы. Среднегрупповые значения кортизола, измеренные в полевых и лабораторных условиях, достоверно отличались друг от друга ($p < 0,05$), в то время как достоверных различий между концентрациями тестостерона не выявлено. Отсутствие у спортсменов нагрузок циклического и силового характера перед лабораторным обследованием приводит к нормализации гормонального фона, в частности при сохранении выработки тестостерона секреция стресс-гормона уменьшается. На основании полученных данных можно сделать вывод, что несмотря на регулярную активацию нейроэндокринной системы спортсменов под действием циклических нагрузок высокой интенсивности, метаболические пути возвращаются к нормальному функционированию в течение 24-48 ч. В то же время анализ среднегрупповых значений Т/К показал, что баланс анаболических и катаболических процессов в ответ на нагрузки во временной перспективе этапов подготовительного периода смешался в сторону первого – среднегрупповые значения индекса анаболизма-катаболизма на ОПЭ и ПСЭ составили 6.03 ± 2.61 и 6.33 ± 2.65 ,

соответственно. Таким образом, индекс анаболизма в рамках подготовительного периода увеличился на 5 %.

2.2.3 Маркеры кислородтранспортной системы

В циклических видах спорта внутримышечная аэробная система является основным звеном механизма энергетического обеспечения мышечной работы, эффективность которой во многом зависит от мощности функционирования кислородтранспортной системы, определяемой составом гематологических компонентов крови.

Статистический анализ содержания гемоглобина и гематокрита, измеренных в капиллярной крови биатлонистов высокой квалификации в рамках годичных циклов подготовки в условиях учебно-тренировочных мероприятий, не выявил достоверных различий между этапами подготовки. Среднегрупповая концентрация гемоглобина в крови спортсменов находилась в диапазоне 153 ± 7 г/л, а референтный интервал составил от 140 (90 % ДИ 139-141) до 166 (90 % ДИ 165-167) г/л. Содержание гематокрита, использующегося в качестве показателя оценки дыхательных возможностей крови и ее реологических свойств, в группе биатлонистов находилось в диапазоне 46.1 ± 2.2 %, референтный интервал варьировался от 42.0 (90 % ДИ 41.8-42.2) до 50.0 (90 % ДИ 49.8-50.2) %. Среднегрупповые значения гемоглобина и гематокрита находились в диапазоне верхней половины клинической нормы для мужчин, что указывает на формирование высокого адаптационного потенциала кислородтранспортной системы под воздействием нагрузок, характерных для данного вида спорта. При переходе от ОПЭ к СПЭ и ПСЭ нами была отмечена тенденция к снижению среднегруппового содержания гематокрита у спортсменов, приводящему к уменьшению вязкости крови и нагрузки на сердечную мышцу и, следовательно, риску перегрузки миокарда. После проведения учебно-тренировочного мероприятия в условия среднегорья и высокогорья в крови биатлонистов, напротив, наблюдалось увеличение содержание гемоглобина и гематокрита. Такое изменение связано с тем, что использование полезных эффектов высоты улучшило газообмен в легких, митохондриальную функцию, периферический кровоток и увеличило уровень насыщения крови кислородом, влияющего на его транспорт и доступность тканям. Наличие умеренной достоверной взаимосвязи концентрации гемоглобина с его средним содержанием в эритроцитах ($r = 0.43$) указывает на дефицит пластических материалов, например, белка и/или железа, в организме спортсмена. Умеренная теснота корреляционной связи среднего содержания гемоглобина в эритроцитах с концентрацией эритроцитов ($r = 0.35$) свидетельствует о превышении скорости образования эритроцитов над скоростью синтеза гемоглобина.

В таблице 2.5 представлены результаты определения показателей, характеризующих кислородтранспортные и реологические свойства крови биатлонистов высокого класса, полученные в лабораторных условиях. На основании данных о концентрации гемоглобина и относительного количества ретикулоцитов в цельной крови произведен расчет индекса стимуляции (OFF-score), широко использующегося для выявления нарушения антидопинговых правил вследствие употребления эритропоэз-стимулирующих агентов (формула 1):

$$\text{OFF-score} = \text{Hgb} - 60\sqrt{\text{RET}}, \quad (1)$$

где

Hgb – концентрация гемоглобина, г/л;

RET – относительное количество ретикулоцитов, %.

Уровень гемоглобина в течение всего периода наблюдения оставался в пределах физиологической нормы для мужчин. Среднегрупповое содержание гемоглобина в крови биатлонистов достоверно снижалось при переходе от ОПЭ к СПЭ ($p < 0,05$). Изменения среднегрупповых количеств эритроцитов и концентраций гемоглобина в эритроците в рамках тренировочного процесса имели аналогичную тенденцию ($p < 0,05$). Средний объем эритроцитов, измеренный на ОПЭ, был достоверно ниже по сравнению с СПЭ и ПСЭ ($p < 0,05$). Относительное количество ретикулоцитов (RET%), отражающее эритропоетическую активность костного мозга, и молодых клеток эритроидного ряда (IRF#), измеренные в крови биатлонистов на ОПЭ, были достоверно выше по сравнению с ПСЭ ($p < 0,05$). Расчетный индекс OFF-score на СПЭ был достоверно ниже, чем на ОПЭ и ПСЭ ($p < 0,05$). Статистически достоверных различий гематокрита, измеренного в крови биатлонистов на различных этапах подготовительного периода, не выявлено.

Изменение относительного количества ретикулоцитов в крови умеренно коррелировало с изменением гемоглобина и эритроцитов. Коэффициент линейной корреляции Спирмена между количеством клеток эритроидного ряда и гемоглобином составил 0.45, а между ретикулоцитами и эритроцитами – 0.42. Необходимо отметить, что, во-первых, в течение всего периода наблюдения содержание гемоглобина, эритроцитов и ретикулоцитов имели флюктуации схожей направленности, а, во-вторых, изменения относительного количества ретикулоцитов, как и других параметров, находились в пределах общепопуляционных значений для мужчин. Достоверное уменьшение относительного количества клеток эритроидного ряда и их незрелых форм на ПСЭ может быть связано с увеличением скорости созревания ретикулоцитов и/или снижением скорости эритропоэза. Средний объем эритроцитов у высококвалифицированных

биатлонистов не выходил за пределы физиологической нормы для мужчин, однако референтный интервал представлен более узким диапазоном и смещен в область низких значений 83.1 (90 % 82.6-83.6) – 91.5 (90 % 91.0-92.0) фл, что указывает на высокую адаптированность спортсменов к физическим нагрузкам.

Таблица 2.5 – Сводная статистика результатов количественного определения маркеров кислородтранспортной системы, измеренных в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса

Этап	Маркер кислородтранспортной системы					Популяционная норма
	Среднее значение	Стандартное отклонение	Минимальное значение	Максимальное значение	Медиана	
Гемоглобин, г/л						
ОПЭ*	156	9	138	173	157	132-173
СПЭ	151	9	133	172	151	
ПСЭ	152	8	136	170	152	
Гематокрит, %						
ОПЭ	44.3	2.7	39.2	49.5	44.7	39-49
СПЭ	44.1	2.4	38.4	49.2	44.2	
ПСЭ	44.1	2.1	39.5	48.2	44.0	
Содержание эритроцитов, 10 ¹² /л						
ОПЭ*	5.14	0.32	4.51	5.71	5.12	4.3-5.7
СПЭ	4.98	0.31	4.32	5.66	4.96	
ПСЭ	5.01	0.28	4.55	5.78	4.97	
Средний объем эритроцита, фл						
ОПЭ*	86.3	2.5	80.6	91.4	86.1	80-100
СПЭ	88.7	2.8	82.8	93.9	88.5	
ПСЭ	88.4	2.9	82.9	94.4	88.6	
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/дл						
ОПЭ*	35.2	0.8	33.3	38.1	35.0	32-37
СПЭ	34.4	0.8	32.5	36.1	34.3	
ПСЭ	34.4	0.9	32.5	36.4	34.4	
Относительное содержание ретикулоцитов, %						
ОПЭ*	0.0670	0.0157	0.0246	0.1038	0.0648	0.67-1.92
СПЭ	0.0635	0.0136	0.0337	0.0940	0.0640	
ПСЭ	0.0592	0.0153	0.0358	0.0985	0.0560	
Относительное содержание незрелых ретикулоцитов, %						
ОПЭ*	6.4	2.3	1.9	12.9	6.2	2.3-13.4
СПЭ	6.3	2.4	1.1	12.2	6.0	
ПСЭ	5.5	2.1	1.4	10.4	5.8	
Относительное содержание зрелых ретикулоцитов, %						
ОПЭ	93.6	2.3	87.1	98.1	93.9	83-97
СПЭ	93.7	2.4	87.8	98.9	94.0	
ПСЭ	94.5	2.1	89.6	98.6	94.2	
Индекс стимуляции						
ОПЭ	88.1	10.9	67.8	112.5	85.4	<133
СПЭ*	84.4	10.2	60.8	108.6	83.9	
ПСЭ	87.8	8.1	63.3	105.0	88.2	

Примечание – * различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Физические нагрузки, выполняемые на ОПЭ в низкоскоростном и низкоинтенсивном режиме работы мышц, обладают большей стимуляцией продукции костного мозга, о чем свидетельствуют достоверно более высокие уровни гемоглобина, эритроцитов, ретикулоцитов и молодых клеток эритроидного ряда. Кроме того, в рамках ОПЭ в группе биатлонистов были зафиксированы максимальные концентрации андрогенов, способные оказывать положительное влияние на процесс эритропоэза за счет увеличения чувствительности костного мозга к эритропоэтину. Увеличение объема упражнений, выполняемых в высокоскоростном высокоинтенсивном режиме работы мышц, приводит к снижению пролиферативной активности костного мозга, а значительная активация процессов перекисного окисления липидов (антиоксидантной системы) может способствовать увеличению деформируемости клеток эритрона (ретикулоциты, эритробlastы и зрелые эритроциты) и повреждению их мембран. Снижение относительного количества ретикулоцитов на ПСЭ указывает на высокое напряжение кислородтранспортной системы.

2.2.4 Маркеры энергообеспечения мышечной деятельности

Основным источником энергообеспечения мышечной деятельности, накапливаемым в печени и скелетных мышцах, является гликоген, который под действием ферментов расщепляется с высвобождением глюкозы – исходного субстрата гликолитического пути. В отличие от жиров и белков, вовлекаемых в механизм энергообеспечения лишь при определенных условиях, глюкоза – единственный энергетический субстрат в организме человека, функционирующий исключительно для обеспечения клеток энергией. Концентрация глюкозы во время тренировок на выносливость зависит от энергетического статуса организма, количества потребляемых продуктов питания, интенсивности нагрузки и запасов гликогена в печени и скелетных мышцах.

Статистические параметры выборки результатов количественного определения глюкозы в крови биатлонистов, измеренной на различных этапах тренировочного процесса, приведены в таблице 2.6. Среднегрупповое содержание глюкозы на СПЭ достоверно ниже по сравнению ОПЭ ($p < 0,05$), а ее концентрация на ПСЭ достоверно выше, чем на СПЭ ($p < 0,05$). У биатлонистов выявлено снижение уровня глюкозы от ОПЭ (5.11 ± 0.27 мМ/л) к СПЭ (5.04 ± 0.39 мМ/л) и последующее возрастание к ПСЭ (5.14 ± 0.30 мМ/л).

В рамках ОПЭ доминирующими средствами тренирующих воздействий являются преобладающие по объему низкоскоростные и низкоинтенсивные нагрузки (1-2 зоны интенсивности по ЧСС), для которых характерна низкая скорость передвижения с невысокой интенсивностью развиваемого мышечного напряжения. Энергообеспечение

мышечной деятельности при выполнении такого рода упражнений осуществляется с участием гликогена, высвобождающегося в кровоток в форме глюкозы и используемого скелетными мышцами в качестве субстрата окисления. Выполнение таких нагрузок на ежедневной основе не приводит к истощению гликогена в мышцах, следовательно, между тренировками его запасы успевают восстанавливаться.

Таблица 2.6 – Статистические параметры выборки концентраций глюкозы (мМ/л), измеренных в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса

Параметр	Этап подготовки		
	ОПЭ*	СПЭ*	ПСЭ*
Медиана	5.10	5.00	5.10
Минимальное значение	4.60	4.30	4.60
Максимальное значение	5.60	5.80	5.70
Референтный интервал	4.60-5.59	4.40-5.78	4.60-5.67
90 % ДИ	нижнее значение	4.54-4.66	4.36-4.44
	верхнее значение	5.53-5.65	5.74-5.82
Оптимальный референтный интервал	4.69-5.50	4.40-5.70	4.70-5.63

Примечание – * различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Доминирующими и применяемыми для развития энергетики скелетных мышц на СПЭ, являются следующие режимы:

1) значительный объем циклической нагрузки, выполняемой на скорости, ниже соревновательной, но требующей акцентированного усилия мышц (3-я зона интенсивности по ЧСС) и направленной на повышение аэробных возможностей медленных и быстрых мышечных волокон (лактат в крови не превышает 3,5-4 ммоль/л);

2) околомаксимальный объем высокоскоростных нагрузок (4-5 зона по ЧСС) для повышения для повышения мощности и емкости гликолитического механизма энергообеспечения, а также повышение способности мышц выводить лактат в кровь;

Выполнение упражнений в 3-5 зонах ЧСС, не позволяет запасам гликогена полностью восстанавливаться между тренировками, что подтверждается сниженными результатами количественного определения глюкозы в крови спортсменов, отобранных в начале очередного тренировочного дня.

На ПСЭ относительно СПЭ подготовки используются средства тренирующих воздействий с аналогичными режимами работы мышц, однако на первом временном отрезке по мере роста аэробных и силовых возможностей мышц наблюдается постепенная экономизация двигательных усилий на фоне повышающейся мощности ресинтеза гликогена в печени и увеличение печеночного депо гликогена. В совокупности вышеприведенные факты обеспечивают постоянство достоверно высокого уровня глюкозы

в крови спортсменов в состоянии покоя на ПСЭ подготовки по сравнению со СПЭ ($p < 0,05$).

Побочным продуктом окисления глюкозы, образующимся в быстрых мышечных волокнах при участии гликолитических ферментов, является лактат. Его концентрация лежит в основе классификации зон энергообеспечения скелетных мышц и отражает интенсивность тренировочных упражнений. В рамках текущего контроля функционального состояния спортсмена фиксация концентраций лактата в крови позволяет проводить оценку протекания срочных адаптационных процессов и развертывания механизмов энергообеспечения. В рамках данного исследования измерение содержания лактата как предиктора метаболической адаптации организма биатлонистов к выполненным на предшествующем этапе подготовки нагрузкам в крови проводили в рамках лабораторного обследования спортсменов, прошедших период восстановления. Статистические параметры выборки результатов количественного определения лактата в крови биатлонистов, измеренных на различных этапах тренировочного процесса, приведены в таблице 2.7. Среднегрупповое содержание лактата на СПЭ достоверно ниже по сравнению с ОПЭ ($p < 0,05$), а его концентрация на ПСЭ достоверно выше, чем на СПЭ ($p < 0,05$).

Таблица 2.7 – Статистические параметры выборки концентраций лактата (мМ/л), измеренных в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса

Параметр	Этап подготовки		
	ОПЭ*	СПЭ*	ПСЭ*
Медиана	1.42	1.31	1.42
Минимальное значение	0.78	0.70	0.79
Максимальное значение	2.02	1.95	2.02
Референтный интервал	0.80-1.98	0.78-1.87	0.85-1.98
90 % ДИ	нижнее значение	0.69-0.91	0.68-0.88
	верхнее значение	1.87-2.09	1.77-1.97
Оптимальный референтный интервал	0.88-1.98	0.85-1.80	0.91-1.90

Примечание – * различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Достоверно известно и доказано, что концентрация лактата в периферической крови взаимосвязана с уровнем глюкозы. При переходе от низкоскоростных дистанционных средств, доминирующих на ОПЭ, к более скоростным и мышечно- интенсивным упражнениям, применяемым на СПЭ, происходит усиление анаэробного гликолиза и увеличение использования гликогена в качестве источника энергообеспечения скелетных мышц. На рисунке 2.5 представлена корреляционная зависимость между концентрациями лактата и рН в крови биатлонистов.

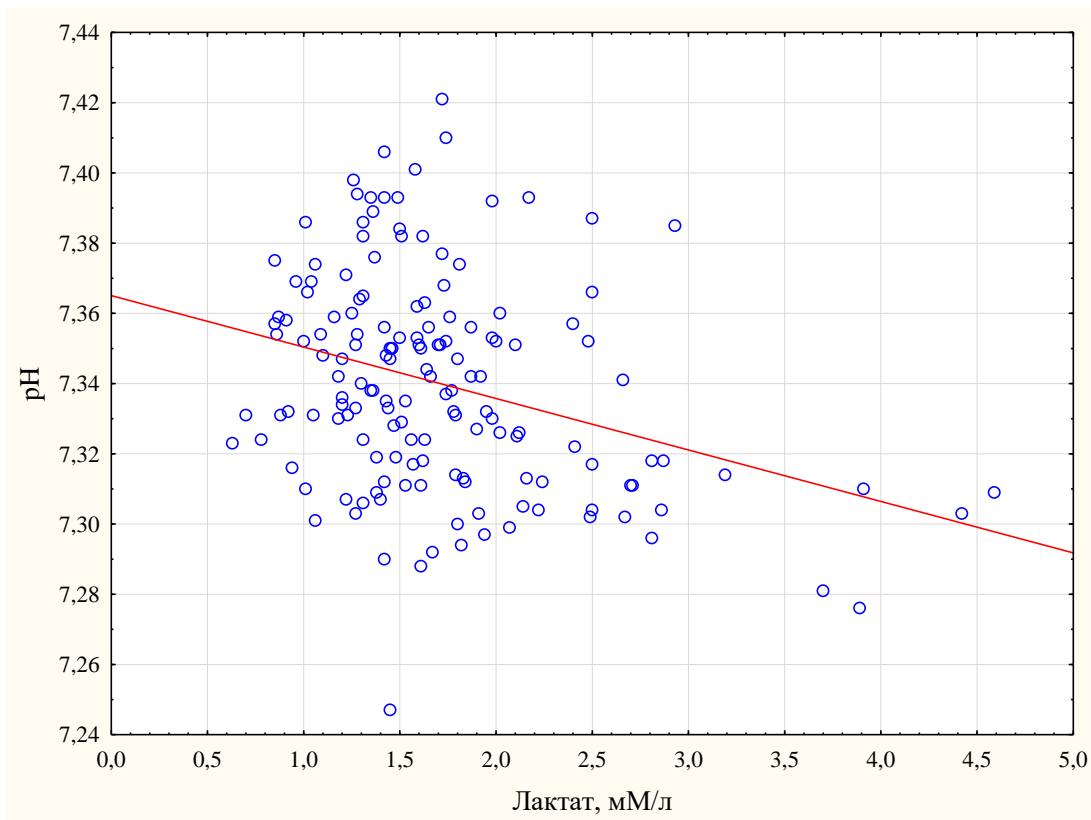


Рисунок 2.5 – Корреляционная зависимость между концентрацией лактата и pH, измеренных в крови элитных биатлонистов

При оценке коэффициентов корреляции ранговым методом Спирмена выявлена отрицательная двусторонняя корреляция между уровнем лактата и pH. Коэффициент линейной корреляции Спирмена между данными переменными составил -0.30, что указывает на умеренную тесноту связи. Смещение кислотно-основного равновесия в сторону повышения концентрации ионов H^+ за счет накопления продуктов анаэробного гликолиза снижает скорость мышечных сокращений и вызывает снижение пиковой сократительной способности мышц. За счет применения на СПЭ средств тренирующих воздействий с использованием низкоскоростного и высокоскоростного режимов работы мышц, обеспечивается повышение мощности митохондриальной системы, увеличивается буферная емкость мышц и количество монокарбоксилатного транспортера лактата в быстрых мышечных волокнах. Результатом этих процессов является повышение мышечной компенсации метаболического ацидоза, приводящее к интенсификации утилизации лактата и снижению его уровня в крови.

Концентрация лактата в крови спортсменов в состоянии покоя выше 1,6 mM/l указывает на снижение мощности аэробных механизмов энергообеспечения в мышечных клетках и смещение энергетического баланса в сторону анаэробных механизмов. В этом случае рекомендуется снизить интенсивность физических упражнений на несколько дней.

Следующим важным субстратом энергообеспечения мышечной деятельности являются жиры, поставляемые в сокращающиеся мышцы как в состоянии покоя, так и во время выполнения упражнений. Основным источником поступления свободных жирных кислот, окисляемых во время выполнения упражнений, являются триглицериды, хранящиеся в жировой ткани и мышечных волокнах. Регуляция вовлечения этих энергетических субстратов в механизм энергообеспечения зависит от таких факторов как уровень подготовленности спортсмена, интенсивность и продолжительность физического стимула, питание, гормональная среда. Несмотря на то, что жиры и углеводы одновременно вовлекаются в систему энергообеспечения скелетных мышц, их относительный вклад определяется различными факторами, включая тип физической нагрузки, продолжительность и интенсивность упражнений. При выполнении упражнений для развития выносливости аэробная система не способна поддерживать требуемый высокий уровень энергии в течение длительного периода времени за счет углеводов. В этом случае основную роль в энергообеспечении скелетных мышц играет способность организма транспортировать, поглощать и окислять жиры.

В таблице 2.8 представлены статистические параметры выборки результатов количественного определения триглицеридов в крови биатлонистов, измеренных на различных этапах тренировочного процесса.

Таблица 2.8 – Статистические параметры выборки концентраций триглицеридов (мМ/л), измеренных в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса

Параметр	Этап подготовки		
	ОПЭ	СПЭ	ПСЭ*
Медиана	0.95		1.10
Минимальное значение	0.44		0.44
Максимальное значение	1.48		1.91
Референтный интервал	0.48-1.45		0.63-1.90
90 % ДИ	нижнее значение	0.43-0.53	0.50-0.76
	верхнее значение	1.40-1.50	1.77-2.03
Оптимальный референтный интервал	0.53-1.43		0.66-1.89

Примечание – * различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Отражающие степень вовлечения жирового обмена в энергообеспечение скелетных мышц среднегрупповые концентрации триглицеридов, измеренные в крови биатлонистов, отобранный во время лабораторного обследования, на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ находились в диапазоне 0.78 ± 0.18 , 1.03 ± 0.27 и 1.19 ± 0.39 мМ/л, соответственно. Несмотря на различия среднегрупповых концентраций триглицеридов, измеренных на ОПЭ и СПЭ, они были недостоверными ($p = 0.23$). Однако при переходе от СПЭ к ПСЭ у спортсменов

наблюдалось достоверное увеличение среднегруппового содержания данного показателя ($p < 0,05$).

На основании анализа результатов проведенных исследований и выполненных биатлонистами тренировочных нагрузок, включая характеристики режимов работы мышц, обладающих различным тренирующим потенциалом в отношении энергообеспечения мышечной деятельности, можно сформулировать следующие выводы:

– на ОПЭ биатлонисты выполняют большой объем нагрузок в низкоскоростном режиме работы мышц на уровне аэробного порога (1-2 зоны интенсивности по ЧСС). В этих условиях, при выполнении упражнений на выносливость, жиры активно вовлекаются в энергообеспечение мышечных волокон, поскольку углеводы не способны поддерживать требуемый высокий уровень энергии в течение длительного периода времени;

– на СПЭ используются циклические упражнения, выполняемые на скорости ниже соревновательной, но требующей акцентированного усилия мышц (3-я зона интенсивности по ЧСС) и высокоскоростные дистанционные средства подготовки (4-5-я зоны интенсивности по ЧСС). Основными энергетическими субстратами в таких режимах являются гликоген и углеводы, тогда как жиры принимают участие в энергообеспечении скелетных мышц в ограниченном количестве;

– на ПСЭ используется весь диапазон скоростных режимов выполнение циклических упражнений, однако объем работы низкой интенсивности снижается, а высокоскоростных нагрузок, напротив, увеличивается. При такой комбинации режимов в энергообеспечении последних триглицериды также используются ограниченно, что приводит к достоверному увеличению их концентрации по сравнению с предыдущими этапами подготовки подготовительного периода.

В таблице 2.9 представлены статистические параметры выборки концентраций общего белка в крови высококвалифицированных биатлонистов, измеренных на различных этапах тренировочного процесса и характеризующих степень вовлечения белков в механизм энергообеспечения мышц. Статистический анализ содержания общего белка выявил достоверные отличия между ним на этапах подготовительного периода ($p < 0,05$) – концентрация данного биохимического маркера достоверно увеличивалась от ОПЭ к ПСЭ подготовки ($p < 0,05$).

Тренд изменения среднегруппового уровня общего белка в рамках тренировочного процесса существенным образом не отличался от такого, построенного для триглицеридов. Несмотря на то, что в энергообеспечении скелетных мышц белок занимает относительно небольшую долю (5-18 % от общего потребления энергии), при постепенном истощении запасов гликогена она увеличивается. Основным видом нагрузок, оказывающим

значительное влияние на белковый обмен, являются упражнения на выносливость. Как и в случае с триглицеридами для поддержания необходимого количества энергии при выполнении большого объема упражнений в низкоскоростном режиме работы мышц (1-2 зоны интенсивности по ЧСС) на ОПЭ используется не только гликоген, а в систему энергообеспечения скелетных мышц вовлекаются и другие энергетические субстраты – жиры и белки. При переходе к следующим этапам подготовительного периода доля белкового энергообеспечения снижается, а концентрация общего белка достоверно увеличивается ($p < 0,05$).

Таблица 2.9 – Статистические параметры выборки концентраций общего белка (г/л), измеренных в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса

Параметр	Этап подготовки		
	ОПЭ*	СПЭ*	ПСЭ*
Медиана	71.5	71.4	73.5
Минимальное значение	65.8	66.0	67.0
Максимальное значение	76.3	77.5	80.0
Референтный интервал	66.0-75.9	66.0-77.0	67.6-79.6
90 % ДИ	нижнее значение	65.4-66.6	65.6-66.4
	верхнее значение	75.3-76.5	76.6-77.4
Оптимальный референтный интервал	66.3-75.6	66.0-77.0	68.0-79.0

Примечание – * различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Для оценки переносимости нагрузок во время тренировочной и соревновательной деятельности, степени вовлечения белков в механизм энергообеспечения мышц, процесса утилизации белков и состояния выделительной функции почек, а также эффективности протекания процессов восстановления используется конечный продукт распада белков в печени – мочевина. Статистические параметры выборки результатов определения постнагрузочного содержания мочевины в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Статистические параметры выборки концентраций мочевины (мМ/л), измеренных в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса

Параметр	Этап подготовки		
	ОПЭ*	СПЭ*	ПСЭ*
Медиана	6.5	6.5	6.5
Минимальное значение	4.5	5.1	4.8
Максимальное значение	8.4	7.9	8.0
Референтный интервал	4.6-8.2	5.2-7.8	5.0-8.1
90 % ДИ	нижнее значение	4.4-4.8	5.1-5.3
	верхнее значение	8.0-8.4	7.7-7.9
Оптимальный референтный интервал	4.8-8.1	5.3-7.6	5.2-8.0

Примечание – * различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Верхняя граница референтных интервалов содержания мочевины на всех этапах подготовки превышала соответствующий верхний порог клинической нормы для мужчин, равный 7.3 мМ/л. На ОПЭ концентрация мочевины выходила за пределы верхней границы популяционной нормы в 24.2 % случаев, на СПЭ – в 25.7 % случаев, ПСЭ – в 26.4 % случаев. Несмотря на то, что среднегрупповые концентрации мочевины в крови биатлонистов на различных этапах тренировочного процесса равны, выявлено достоверное отличие в ее содержании между этапами подготовки ($p < 0,05$). Так, СПЭ характеризовался более узким референтным диапазоном по сравнению с ОПЭ и ПСЭ. Анализ выполненных биатлонистами нагрузок показал, что увеличение в тренировочном процессе доли упражнений, выполняемых в низкоскоростном двигательном режиме (1-2 зоны интенсивности по ЧСС), приводило к увеличению концентрации мочевины, указывающее на вовлечение белковых структур в аэробный механизм энергообеспечения, являющийся наиболее важным для выносливых спортсменов.

В рамках исследования у ряда биатлонистов (в 1.6 % случаев на ОПЭ, в 5.5 % случаев – на СПЭ, в 1.5 % случаев – на ПСЭ) были зафиксированы концентрации мочевины выше 9 мМ/л, указывающие на наличие недовосстановления организма на фоне выполненных нагрузок. На ОПЭ, СПЭ и ПСЭ концентрации мочевины находились в диапазоне 8-9 мМ/л в 7.9 %, 9.1 % и 9.7 % случаев, соответственно. Такой интервал уровней мочевины может быть ассоциирован с несоответствием выполняемого объема и интенсивности используемых средств в тренировочном процессе функциональному состоянию спортсмена. В случае повышения уровня мочевины выше 9 мМ/л рекомендуется снизить объемы высоко- и низкоинтенсивных нагрузок, а если ее содержание варьируется в диапазоне 8-9 мМ/л, то следует снизить высокоинтенсивные нагрузки при меньшем снижении объема низкоскоростных упражнений в 1-2 зонах интенсивности по ЧСС.

Статистически достоверных различий концентрации мочевины, измеренной в крови биатлонистов после восстановления на различных этапах подготовки, не выявлено. Среднегрупповое содержание конечного продукта распада белков в крови спортсменов находилось в диапазоне 6.0 ± 1.1 мМ/л, а референтный интервал составил от 4.3 (90 % ДИ 4.1-4.5) до 7.8 (90 % ДИ 7.6-8.0) мМ/л, что в целом указывает на сбалансированность процессов катаболизма и анаболизма предшествующего этапа подготовки и соответствие выполненных спортсменами нагрузок их функциональным возможностям. Неадекватность физических нагрузок, оцениваемую при концентрациях мочевины в крови биатлонистов в диапазоне от 8 до 9 мМ/л, на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ наблюдали у 7.3, 8.6 и 11.3 % спортсменов, соответственно.

2.2.5 Маркеры микро- и макроэлементного обмена

Важной составляющей равновесия внутренней среды, определяющей функциональное состояние ведущих систем организма спортсмена, включая ССС, ЦНС, костно-мышечную, кроветворную и кислородтранспортную, является микро- и макроэлементный обмен. Входящие в активные центры белков и ферментов микро- и макроэлементы принимают непосредственное участие в процессе обмена веществ и его регуляции. В спорте высших достижений неадекватный минеральный состав тела может привести к снижению работоспособности и оказать значительное влияние на самочувствие спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость.

Железо является основным элементом, входящим в состав гемоглобина, миоглобина, цитохромов и других митохондриальных белков с электрон-транспортной цепью, утилизирующих кислород. Недостаточные запасы этого микроэлемента снижают транспорт кислорода к работающим скелетным мышцам [127]. Повышенная потребность в железе при физиологической адаптации к интенсивным физическим нагрузкам, его потеря, опосредованная тренировками, а также снижение всасывания за счет повышения уровня гепсидина являются основными механизмами, приводящими к дефициту. Показано, что регулярное воздействие периодов измененного гомеостаза железа после тренировки продолжительностью от 6 недель снижает его запасы на 25-40 % [128]. В связи с этим баланс железа в организме спортсменов является важным звеном в цепочке достижения высоких результатов, вместе с тем его дефицит является одним из наиболее распространенных в спорте синдромов, поскольку сокращение запасов микроэлемента или его дефицит может поставить под угрозу систему энергетического обмена, увеличивая вклад гликолиза, снижая эффективность использования энергии, работоспособность, адаптацию к тренировкам и восстановление. С другой стороны, избыток железа также представляет собой причину потенциального вреда за счет участия микроэлемента в катализе образования токсичных активных форм кислорода (реакция Фентона).

При переходе от ОПЭ (22.00 ± 8.74 мкМ/л) к СПЭ (21.09 ± 7.56 мкМ/л) наблюдалось недостоверное уменьшение среднегрупповых концентраций железа в крови биатлонистов, а при переходе от СПЭ к ПСЭ (23.50 ± 7.30 мкМ/л), напротив, достоверное увеличение ($p < 0,05$). Несмотря на то, что вследствие эритропоэтического стимула, вызванного регулярными физическими нагрузками, потребность организма спортсменов в железе превышала физиологическую норму, рассчитанный референтный интервал концентраций микроэлемента в очищенной выборке биатлонистов представлен, во-первых, более узким диапазоном по сравнению с общепопуляционным (11-28 мкМ/л) и, во-вторых, смещен в область низких значений (11.27 (90 % ДИ 10.86-11.68) – 24.30 (90 % ДИ 23.89-

24.71) мкМ/л). Выявлена умеренная теснота связи между концентрациями железа и гемоглобина – коэффициент линейной корреляции Спирмена составил 0.33. Изменение уровня железа в крови также умеренно коррелировало с содержанием гематокрита ($r = 0.42$). В то же время между концентрациями железа и маркерами иммунной системы – IL-6 и С-реактивным белком (далее – СРБ) наблюдали слабые отрицательные зависимости – коэффициенты Спирмена составили -0.26 и -0.29, соответственно. Аналогичный тренд имела взаимосвязь между уровнями железа и мочевины ($r = -0.22$). Вследствие высоких меж- и внутридневных вариаций содержания железа в крови (10-26 %) концентрации микроэлемента необходимо интерпретировать с осторожностью и некорректно рассматривать в качестве достоверной оценки статуса железа в организме спортсменов без совокупной оценки родственных биохимических маркеров.

Среди них для оценки уровня железа повсеместно используется концентрация ферритина, основной биологической ролью которого является накопление в организме железа в растворимой нетоксичной форме и физиологически доступном состоянии. Тенденции изменения среднегрупповых содержаний ферритина и железа относительно этапов подготовки спортсменов носили аналогичный характер – концентрации белка, измеренные в крови биатлонистов на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ, составили 130.6 ± 105.1 , 100.7 ± 83.7 и 149.6 ± 122.1 нг/мл, соответственно. На ОПЭ медиана уровня ферритина в крови биатлонистов составила 106.6 нг/мл (межквартильный диапазон 79.4-139.2 нг/мл), на СПЭ – 78.1 нг/мл (межквартильный диапазон 62.0-98.0 нг/мл) и ПСЭ – 104.6 нг/мл (межквартильный диапазон 81.5-142.8 нг/мл). Полученные значения соответствуют таковым применительно к мужской популяции с нормальным распределением в возрастных группах 20-24 года (90.2 нг/мл, межквартильный диапазон 58.6-131 нг/мл) и 24-28 лет (105.0 нг/мл, межквартильный диапазон 76.9-172 нг/мл) [129].

На основании концентраций ферритина нами была проведена оценка статуса железа в группе биатлонистов, базирующаяся на следующих критериях:

- 1) железодефицитная анемия – концентрация ферритина <12 нг/мл;
- 2) железодефицитная неанемия – уровень ферритина <20 нг/мл;
- 3) дефицит железа – содержание ферритина <35 нг/мл;
- 4) субоптимальный статус – концентрация ферритина <50 нг/мл [130, 131].

В результате представленной выше классификации статуса железа относительно содержания ферритина, измеренного в крови участников эксперимента, выявлено, что на ОПЭ железодефицитная неанемия и дефицит железа наблюдались в 1.3 и 1.1 % случаев, соответственно, а на СПЭ дефицит железа выявлен у 5.3 % спортсменов. В то же время на ОПЭ и СПЭ у 7.6 и 8.4 % биатлонистов, соответственно, зафиксированы значения

ферритина в диапазоне 35-50 нг/мл, рекомендованного в качестве минимального уровня для спортсменов [132]. Следует отметить, что помимо функции депо железа ферритин является индикатором острофазовой реакции воспаления, вызывающей его непропорциональное увеличение за счет гибели клеток и не отражающей фактические запасы железа в костном мозге. Следовательно, при протекании в организме спортсмена воспалительных реакций, спровоцированных физическими нагрузками, концентрации ферритина в сыворотке могут быть завышены, что искажает истинное количество биатлонистов с субоптимальным статусом железа.

Нами были идентифицированы случаи превышения концентраций ферритина верхней границы физиологической нормы для мужчин (>250 нг/мл). Обнаружено, что на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ выход за пределы верхней границы норм ферритина наблюдался в 8.9, 6.3 и 14.6 % случаев, соответственно. Примечателен тот факт, что среди выявленных только в 10 % случаев зафиксировано одновременное превышение концентрации СРБ верхней границы общепопуляционного референтного интервала для мужчин (>5 мг/л), указывающее на протекание воспалительной реакции в организме. Поскольку ферритин связывает железо в крови или клетках и ослабляет его прооксидантную активность [133], вполне допустимо, что в остальных случаях повышенный уровень ферритина в сыворотке является адаптивным ответом на опосредованный железом повышенный окислительный стресс.

Магний – макроэлемент, участвующий в более чем 300 метаболических реакциях в организме, включая синтез белка, ДНК и РНК, рост и деление клеток и стабилизацию митохондриальных мембран. Кроме того, он играет решающую роль в передаче нервного импульса, сердечной возбудимости, нервно-мышечной проводимости, мышечных сокращениях, вазомоторном тонусе, кровяном давлении, а также метаболизме глюкозы и инсулина [134]. Поскольку магний является важным минералом с точки зрения энергетического обмена, следовательно, его содержание в организме спортсменов может оказывать влияние на физическую работоспособность. Среднегрупповая концентрация магния на ОПЭ (0.82 ± 0.08 мМ/л) была достоверно выше по сравнению со СПЭ (0.78 ± 0.06 мМ/л) ($p < 0,05$), тогда как на ПСЭ (0.79 ± 0.05 мМ/л) отмечалось незначительное и недостоверное увеличение его уровня в крови. Снижение содержания магния на СПЭ отражает значительное увеличение биатлонистами объема высокоинтенсивных нагрузок, или является следствием утомления организма. Необходимо отметить, что содержание минерала в крови биатлонистов в течение всего периода наблюдений соответствовало нижней границе клинической нормы для мужчин ($0.65-1.05$ мМ/л). Однако, применительно к спортсменам обнаружено значительное снижение верхней границы рассчитанного

референтного интервала 0.70 (90 % ДИ 0.69-0.71) – 0.89 (90 % ДИ 0.88-0.90) мМ/л. Выявлена умеренная теснота связи между концентрациями магния и кальция – коэффициент линейной корреляции Спирмена составил 0.40. Снижение уровня магния ниже 0.7 мМ/л указывает на чрезмерный объем или интенсивность нагрузок в рамках микро-/мезоцикла подготовки, что создает угрозу нарушений энергетического обмена, а также работу сердечной и скелетных мышц. При такой реакции организма спортсмена на нагрузки рекомендуется срочная коррекция питания с целью восстановления микроэлементов и снижение нагрузок до полного восстановления микроэнергического гомеостаза организма.

Кальций – следующий макроэлемент, играющий важнейшую роль в функционировании мышечной, сердечной и костной тканей и влияющий на проницаемость мембран мышечных клеток. Статистически достоверных различий концентраций общего кальция, измеренного в сыворотке биатлонистов на различных этапах подготовки, не выявлено. Среднегрупповые содержания данного минерала в крови спортсменов на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ находились в диапазоне 2.34 ± 0.24 , 2.39 ± 0.12 и 2.33 ± 0.38 мМ/л, соответственно. Рассчитанный референтный диапазон содержания общего кальция для спортсменов 2.34 (90 % ДИ 2.33-2.35) – 2.53 (90 % ДИ 2.52-2.54) мМ/л в отличие от общей популяции (2.02-2.65 мМ/л) характеризуется более высокой нижней границей. Несмотря на то, что в литературе отсутствуют данные о взаимосвязи между концентрацией кальция и физической работоспособностью, имеется информация о связи между стрессовыми переломами и работоспособностью [135]. Адекватное содержание кальция важно для регуляции костного метаболизма, поскольку дефицит минерала может способствовать катаболическому эффекту на костную ткань за счет активации паратиреоидного гормона, приводящему к увеличению риска стрессового перелома.

Среднегрупповые концентрации неорганического фосфора – макроэлемента, играющего важную роль в механизме энергообеспечения и участвующего в большинстве обменных процессов, измеренные в крови биатлонистов, достоверно не отличались в зависимости от этапа подготовки. На всем протяжении подготовительного периода его содержание в крови спортсменов находилось в диапазоне 1.21 ± 0.17 мМ/л, что соответствовало физиологической норме для мужчин (0.81-1.45 мМ/л), а рассчитанный референтный интервал составил от 1.03 (90 % ДИ 1.01-1.05) до 1.39 (90 % ДИ 1.37-1.41) мМ/л. Нижняя граница референтного интервала концентраций неорганического фосфора для спортсменов по сравнению популяционными значениями смещена в область более высоких концентраций, что отражает повышенные возможности реакции

окислительного фосфорилирования в организме элитных биатлонистов относительно субъектов мужского пола, не занимающихся спортом на профессиональном уровне.

На основании полученных данных можно утверждать, что микро- и макроэргический гомеостаз биатлонистов находится в сбалансированном состоянии несмотря на применение ими интенсивных двигательных режимов работы, предусматривающих высокую величину метаболического напряжения в скелетных и сердечной мышцах. Однако во избежание долговременных проблем со здоровьем и улучшения результатов спортсменам высокого класса следует проводить регулярный мониторинг и контроль содержания микро- и макроэлементов, дефицит которых на фоне выполнения тренировочной нагрузки может отрицательно сказаться на работоспособности. При определении наиболее подходящей стратегии спортсмен, врач и тренерский штаб должны в первую очередь учитывать тяжесть дефицита микро- и макроэлементов, индивидуальную реакцию на рекомендованный спортивным врачом к приему препарат и время, необходимое для восполнения запасов с помощью выбранной стратегии в контексте тренировочного процесса.

2.2 Этапный комплексный контроль

2.2.1 Маркеры повреждения скелетных мышц и миокарда

Статистические параметры выборки результатов определения ферментативных активностей КФК, АСТ и АЛТ, коэффициента де Ритиса (АСТ/АЛТ) и суммарных значений активностей аминотрансфераз, измеренных в сыворотке биатлонистов при проведении этапного комплексного контроля на различных этапах подготовки и в течение подготовительного периода в целом, представлены в таблице 2.11. Статистический анализ активности КФК, измеренной в крови биатлонистов, не выявил достоверных отличий между этапами подготовительного периода. Среднегрупповая активность фермента находилась в диапазоне 217 ± 88 Ед/л, а референтный интервал составил 101 (90 % ДИ 91-111) – 432 (90 % ДИ 422-442) Ед/л. Как и в случае с КФК, достоверных различий активностей АСТ и АЛТ между этапами подготовительного периода не обнаружено. Референтный интервал коэффициента де Ритиса у высококвалифицированных биатлонистов шире (0.92 (90 % ДИ 0.89-0.96) – 1.59 (90 % ДИ 1.56-1.63)) по сравнению с общепопуляционным, варьирующимся от 1.2 до 1.6.

В ряде случаев повышение ферментативной активности АСТ сопровождалось одновременным увеличением уровня АЛТ, указывающим на вовлечение клеток печени в метаболический синдром – коэффициент линейной корреляции Спирмена между содержанием аминотрансфераз составил 0.73 ($p < 0.05$). Увеличение активностей АСТ и АЛТ или одного из ферментов при одновременном росте или снижении коэффициента де

Ритиса, может быть ценным диагностическим инструментом определения органной специфичности напряженности метаболических процессов [136]. Выход коэффициента де Ритиса за верхний предел референтного интервала ассоциирован с механическими повреждениями кардиомиоцитов под воздействием физических нагрузок, а за нижний – с повреждением клеток печени.

Таблица 2.11 – Статистические параметры выборки активности ферментов (КФК, АЛТ, АСТ), коэффициента де Ритиса и суммарного значения активностей аминотрансфераз, измеренных в крови высококвалифицированных биатлонистов (n=23) на различных этапах подготовительного периода годичных макроциклов при проведении этапного комплексного контроля

Маркер	Этап	n	Значение		
			по этапу	по периоду (n=258)	
			$\bar{X} \pm \sigma$	$\bar{X} \pm \sigma$	референтный интервал
КФК, Ед/л	ОПЭ	80	220±97	217±88	101 (90 % ДИ 91-111) – 432 (90 % ДИ 422-442)
	СПЭ	130	216±84		
	ПСЭ	48	213±88		
АСТ, Ед/л	ОПЭ	80	26.6±7.1	26.2±6.3	16.2 (90 % ДИ 15.5-16.9) – 41.1 (90 % ДИ 40.4-41.8)
	СПЭ	130	26.3±5.8		
	ПСЭ	48	25.4±6.2		
АЛТ, Ед/л	ОПЭ	80	20.5±7.1	20.5±7.1	9.1 (90 % ДИ 8.4-9.8) – 39.9 (90 % ДИ 39.2-40.6)
	СПЭ	130	20.2±7.2		
	ПСЭ	48	21.0±7.0		
АСТ/АЛТ, усл. ед.	ОПЭ	80	1.34±0.29	1.33±0.30	0.90 (90 % ДИ 0.87-0.93) – 2.11 (90 % ДИ 2.08-2.15)
	СПЭ	130	1.35±0.33		
	ПСЭ	48	1.29±0.24		
АЛТ+АСТ, Ед/л	ОПЭ	80	44.8±10.4	44.8±10.1	27.0 (90 % ДИ 25.9-28.1) – 65.4 (90 % ДИ 64.3-66.5)
	СПЭ	130	44.9±9.8		
	ПСЭ	48	44.6±10.4		

При оценке коэффициентов корреляции ранговым методом Спирмена выявлена высокая двусторонняя корреляция результатов определения КФК и АСТ, указывающая на высокий уровень связи между переменными, коэффициент линейной корреляции Спирмена между активностями КФК и АСТ составил 0.63 ($p < 0,05$). Совокупное увеличение активности данных ферментов указывает на высокую степень перенапряжения мышечной системы под воздействием физического стресса, приводящего к повреждению поперечнополосатой скелетной мускулатуры и увеличению утечки сократительных белков и внутриклеточных ферментов из миоцитов в кровь. В то же время между уровнями КФК и АЛТ наблюдалась умеренная теснота связи ($r = 0.42$; $p < 0,05$).

Для повышения уровня мышечной работоспособности необходимой стадией адаптации является определенный уровень повреждений скелетных мышц. В связи с этим ферментативная активность КФК у исследуемой группы элитных биатлонистов во время

проведения этапного комплексного контроля зачастую превышала верхнюю границу референтного диапазона, характерную для здоровой популяции мужского пола (200 Ед/л). В процессе расчета референтных интервалов КФК, АСТ и АЛТ проведен анализ зафиксированных случаев превышения верхних границ референтных диапазонов, свидетельствующих о высокой степени перенапряжения мышечной системы, индуцированного чрезмерным физическим стрессом. В лабораторных условиях за весь период наблюдения зафиксировано 50 случаев (19.4 %) превышения содержания КФК верхней границы референтного интервала, 48 случаев (18.6 %) – АСТ, 38 случаев (14.7 %) – АЛТ, 61 случай (23.6 %) – суммарной активности аминотрансфераз, 40 случаев (15.5 %) – коэффициента де Ритиса. Частота встречаемости превышения активностей ферментов, отношения и суммы содержаний АСТ и АЛТ верхних границ соответствующих референтных интервалов на этапах подготовительного периода при проведении этапного комплексного контроля представлена на рисунке 2.6.

При проведении этапного комплексного контроля наибольшее количество случаев превышения активности ферментов верхних границ соответствующих референтных интервалов зафиксировано на СПЭ: КФК – 46 % случаев; АСТ – 54 % и АЛТ – 53 %. На данном этапе подготовительного периода выходы за предел верхней границы референтного диапазона суммарных значений активностей аминотрансфераз наблюдались в 56 % всех случаев, в то время как на ОПЭ и ПСЭ – в 16 и 28 %, соответственно, что отражает повышенную суммарную интенсивность метаболических потоков разной направленности и обмена веществ под воздействием нагрузок СПЭ. Максимальные активности КФК (4457 Ед/л), АСТ (164.2 Ед/л) и АЛТ (65.6 Ед/л) были зафиксированы в начале ОПЭ (апрель), что свидетельствует об отсутствии адаптации организма спортсмена к воздействию тренировочного стимула.

При использовании в тренировочном процессе упражнений низкой и умеренной интенсивностей адаптация мышечных волокон протекает без заметных изменений проницаемости мембранны. Однако увеличение интенсивности тренирующих воздействий отражается на проницаемости мембранны, приводя к высвобождению ферментов скелетных мышц. Граница диапазона интенсивности нагрузки, которую способны выдерживать мышечные волокна, является точкой их разрыва – то есть нагрузкой, в результате которой мышечные белки просачиваются в интерстициальную жидкость, поглощаются лимфатической системой и поступают в систему кровообращения.

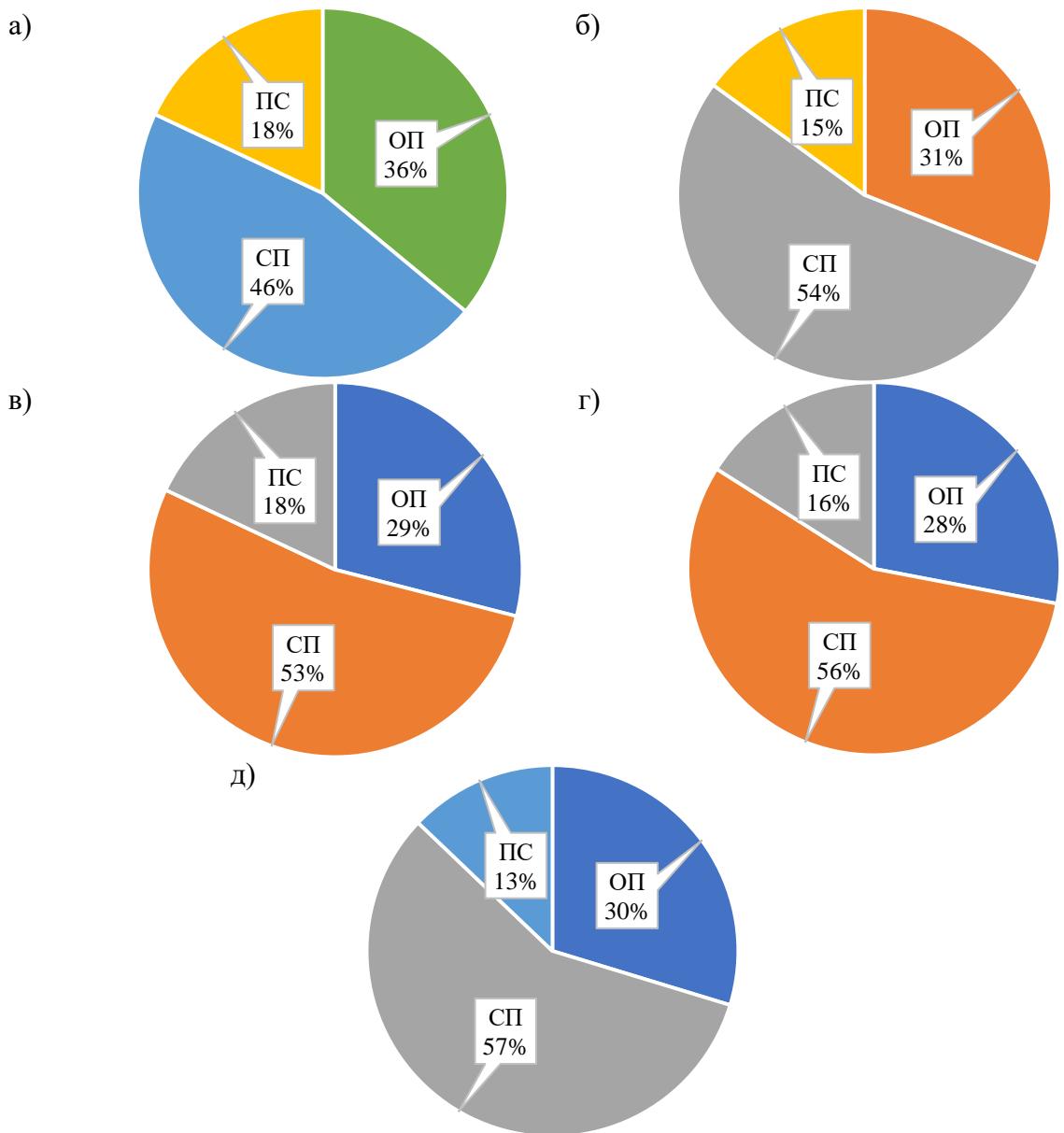


Рисунок 2.6 – Частота встречаемости случаев превышения активностей КФК (а), АСТ (б), АЛТ (в), АСТ+АЛТ (г) и АСТ/АЛТ (д) верхних границ соответствующих референтных интервалов у биатлонистов высокого класса ($n=23$) на различных этапах подготовительного периода при проведении этапного контроля ($n=258$), где ОП – общеподготовительный, СП – специально-подготовительный, ПС – предсоревновательный

Наибольшее количество превышений активности ферментов верхних границ референтных интервалов под воздействием тренировочного стимула было зафиксировано на СПЭ. С одной стороны, это связано со структурой силовой подготовки биатлонистов, предусматривающей применение повышенного объема упражнений на повышение гипертрофии, взрывной и максимальной силы, и выполняющихся со значительной величиной внешнего сопротивления (80-95 % от 1 ПМ). Данные упражнения обладают высоким уровнем метаболического и механического стресса способного повреждать мышечные волокна. С другой стороны, именно на этом этапе локализован максимальный

объем выполнения высокоинтенсивных нагрузок циклической направленности, выполнение которых также приводит к увеличению проницаемости мембраны.

Гемодинамические изменения, происходящие во время выполнения упражнений, являются основным стимулом моррофункционального ремоделирования сердца. Упражнения на выносливость, характеризующиеся устойчивым повышением сердечного выброса и пониженным периферическим сосудистым сопротивлением (бег на длинные дистанции, езда на велосипеде, гребля и плавание), а также силовые тренировки, сопровождающиеся короткими, но интенсивными периодами повышенного периферического сосудистого сопротивления и незначительным повышением сердечного выброса, приводят к различным адаптациям сердечной мышцы. Тренировки на выносливость вызывают эксцентрическое увеличение левого желудочка (увеличение конечно-диастолического объема и массы левого желудочка), тогда как силовые тренировки – концентрическую гипертрофию, характеризующуюся нормальными конечно-диастолическими объемами левого желудочка, но увеличенной толщиной стенки и массой. Систематические обзоры и метаанализы [137, 138, 139] показывают, что величина эксцентрической гипертрофии левого желудочка, возникающая в результате тренировок на выносливость, как правило, более выражена по сравнению с величиной концентрической гипертрофии, проявляющейся на фоне выполнения силовых тренировок.

Моррофункциональное ремоделирование сердца, протекающее на начальной стадии адаптационных перестроек под воздействием физических нагрузок, направлено на снижение диастолического тонуса миокарда. Увеличение венозного объема крови, как результат удлинения волокон миокарда при выполнении физических упражнений, приводит к дилатации камер (гипертрофия *L*-типа), определяющей величину ударного объема сердца. В результате этих адаптационных процессов сердечная мышца развивает способность накапливать больший объем крови в фазе расслабления, тем самым повышая эффективность кислородтранспортного обеспечения скелетных мышц. Однако при таких моррофункциональных перестройках фаза систолы левого желудочка характеризуется низкой эффективностью и не позволяет вытолкнуть нужный объем крови в аорту для обеспечения кислородного запроса со стороны скелетных мышц. Увеличение толщины стенки сердца за счет утолщения волокон миокарда (гипертрофия *D*-типа), обусловленное увеличением саркомеров в кардиомиоцитах, является последним этапом процесса ремоделирования сердца, определяющего большую выталкивающую силу и более полное опорожнение камер сердца в фазе систолы. Таким образом, физиологическим ответом сердца спортсмена на высокоинтенсивные физические нагрузки является его моррофункциональное ремоделирование с целью поддержания высокого сердечного

выброса и обеспечения достаточной доставки кислорода к работающим мышцам. Эта физиологическая адаптация на высокоинтенсивные нагрузки известна как механизм Франка-Старлинга [140].

Повышение функциональных возможностей ССС осуществляется преимущественно за счет использования циклических средств подготовки. Анализ содержания и распределения циклических нагрузок показал, что на ОПЭ специфика упражнений направлена на увеличение объема сердца за счет дилатации его полостей (гипертрофия *L*-типа). На СПЭ морффункциональная адаптация сердца направлена на развитие гипертрофии сердечной мышцы *D*-типа, а именно, на одновременное удлинение мышечных волокон и утолщение стенок левого желудочка посредством увеличения числа последовательно соединенных саркомеров. За счет такой адаптации увеличивается одна из функциональных возможностей сердца – выталкивающая сила, позволяющая более полно опорожнить полости сердца в fazu систолы. И, наконец, специфика циклических средств подготовки, применяемых на ПСЭ, ориентирована на поддержание долговременных морффункциональных перестроек сердца за счет сохранения ранее достигнутого уровня ударного объема. В случае, если на ОПЭ сила циклических средств подготовки, направленных на увеличение дилатации сердца, недостаточна, то при выполнении упражнений высокой интенсивности на следующих этапах подготовительного периода создается угроза перенапряжения сердечной мышцы и развития «сердечного утомления».

Временное снижение функции левого желудочка (повреждение кардиомиоцитов) приводит к выбросу в систему кровообращения маркеров повреждения клеток сердечной мышцы, включая тропонин Т, использующийся в качестве прогностического маркера оценки недостаточности левого желудочка и состояний, вызывающих диастолическую дисфункцию.

Среднегрупповое содержание тропонина Т в крови спортсменов не превышало верхней границы референтного интервала, установленной для здоровых мужчин (< 14 пг/мл). Концентрация тропонина Т в крови биатлонистов на ОПЭ была достоверно выше, чем на СПЭ ($p < 0,05$), статистически значимых различий между СПЭ и ПСЭ не обнаружено ($p > 0,05$). Среднегрупповые концентрации тропонина Т, измеренные в крови биатлонистов на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ, составили 8.91 ± 2.94 , 6.79 ± 2.72 и 6.51 ± 2.42 пг/мл, соответственно. Помесячная динамика концентрации тропонина Т в рамках подготовительного периода годичного макроцикла представлена на рисунке 2.7. Наиболее высокие уровни белка в группе биатлонистов были зафиксированы в мае и июне, в июле его концентрация снижалась, но лишь на уровне тенденции ($p > 0,05$), а с августа по октябрь зафиксировано достоверное снижение ($p < 0,05$).

Достоверно более высокое повреждение клеточных мембран кардиомиоцитов в группе биатлонистов было зафиксировано на ОПЭ, несмотря на использование в начале подготовительного периода преимущественно циклических средств подготовки, выполняемых в I-II зонах интенсивности по ЧСС (май – 99.0 %, июнь – 95.7 %), и незначительную долю нагрузок средней и высокой интенсивности. Повышенные значения тропонина Т в сыворотке спортсменов следует интерпретировать не как сигнал повреждения или стресса стенки сердца, а скорее в качестве признака регуляции адаптации миокарда к выполненным нагрузкам, а также снижения реологических свойств крови.

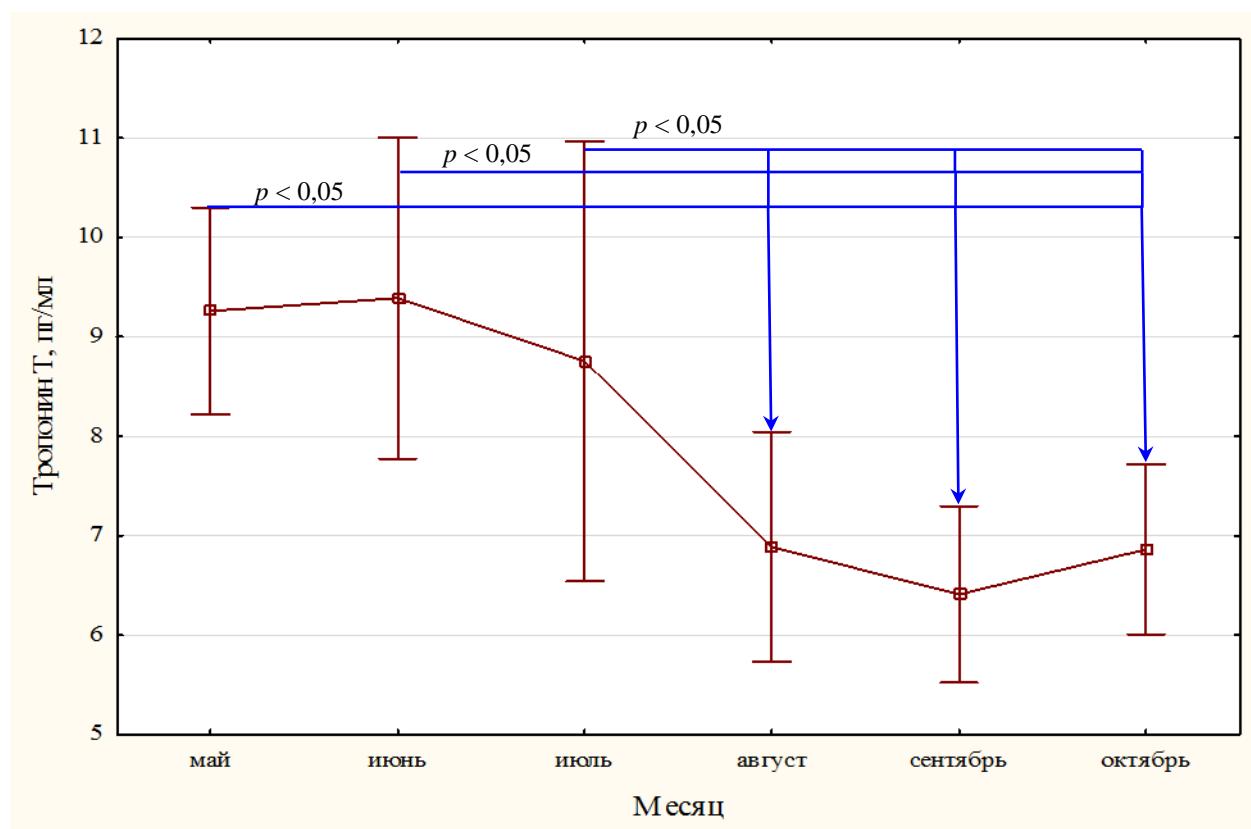


Рисунок 2.7 – Динамика концентрации тропонина Т, измеренной в крови биатлонистов высокого класса (n=23) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$) [141]

ОПЭ является первой фазой эффективной адаптации к функционированию ССС в условиях соревновательной деятельности. Использование тренировок на выносливость направлено на обеспечение моррофункционального ремоделирования сердечной мышцы биатлонистов, а именно, дилатации его камер с целью повышения функциональных возможностей ССС. Такой вектор адаптации сердца (гипертрофия L-типа) биатлонистов способствует безопасному переходу к выполнению большего объема работы средней и высокой интенсивности, вызывающего высокое напряжение ССС и обладающего определенными рисками перенапряжения миокарда. Однако выполнение на ОПЭ большого

объема низкоинтенсивных циклических упражнений приводит к формированию большого аэробного сердца со сниженными функциональными возможностями выталкивания повышенного объема крови из сердечных камер в аорту в момент диастолы. Для нивелирования риска перенапряжения миокарда на фоне большой дилатации камер сердца с июня биатлонисты начинают включать в программу подготовки упражнения средней и высокой интенсивности, вызывающие гипертрофию задней стенки левого желудочка, тем самым увеличивая выталкивающую силу сердца. Достоверное снижение концентрации тропонина Т в крови участников с августа указывает на регуляцию адаптации миокарда к выполненным высокоинтенсивным нагрузкам. Таким образом, выбранная на всем протяжении подготовительного периода тренерами стратегия в целом рациональна, она характеризуется высокой преемственностью тренировочных эффектов циклических средств подготовки различной интенсивности, использование которых позволяет повысить функциональные возможности ССС и увеличить ее адаптационный потенциал.

Нами были выявлены и проанализированы случаи превышения содержания тропонина Т верхней границы общепопуляционной нормы, свидетельствующие о повреждении клеточных мембран кардиомиоцитов и высокой степени напряжения ССС в ответ на физические нагрузки. Анализ полученных данных показал, что в 80 % случаев превышение концентрации тропонина Т верхней границы референтного интервала (> 14 пг/мл) было незначительным (1.2-1.5 раза), тогда как в 20 % оно варьировалось от 2 до 3 раз. Необходимо отметить, что активности АЛТ и АСТ, измеренные в крови биатлонистов с повышенным, относительно общепопуляционной нормы, уровнем тропонина Т, не превышали верхних границ соответствующих референтных диапазонов. Так, средние активности АЛТ и АСТ, установленные среди спортсменов этой группы, находились в диапазоне 24.87 ± 7.43 и 31.80 ± 7.15 Ед/л, а коэффициент де Ритиса, рассчитанный на основании индивидуальных активностей аминотрансфераз, – 1.62 ± 0.28 . Полученные данные подтверждают тот факт, что низкая тканевая специфичность АЛТ и АСТ не позволяет достоверно выявить функциональную перегрузку миокарда в ответ на физические нагрузки.

Повышение функциональных возможностей ССС, имеющих ключевое значение для эффективного транспорта кислорода к работающим мышцам и поддержания энергетического потенциала скелетных мышц, осуществляется преимущественно за счет циклических упражнений различной интенсивности. Используя эти средства при планировании и реализации программ подготовки спортсменов высокого класса с целью максимизации спортивного результата, необходимо иметь возможность точной своевременной оценки функционального состояния каждого спортсмена, основанной на

применении чувствительных диагностических способов и маркеров. При таком подходе появляется возможность оптимизации и оперативной коррекции параметров тренировочных нагрузок, нередко близких к предельным, получения требуемого адаптационного отклика без увеличения вероятности клинически значимой или патологической реакции систем организма спортсменов в краткосрочной или долгосрочной перспективе [142].

Несмотря на то, что повышенные уровни тропонина Т в крови спортсменов, специализирующихся в видах спорта на выносливость, не считаются патологическим явлением, повышение концентрации белка, вызванное физическими нагрузками, может свидетельствовать не о физиологической реакции, а сигнализировать о повышенном риске возникновения сердечно-сосудистых событий [143]. Ряд исследователей предполагают, что спортсмены, реагирующие на тренировочный стресс высвобождением тропонина Т, подвержены повышенному долгосрочному сердечно-сосудистому риску [144, 145]. В исследовании [146] показано, что в ответ на 12-недельную тренировку, направленную на развитие выносливости, у молодых спортсменов-любителей, занимающихся видами спорта на выносливость, уровни сТп достоверно и положительно связаны с сердечно-сосудистыми параметрами. Аналогичные результаты были описаны в исследовании триатлонистов-любителей, наблюдавшихся на протяжении 11 месяцев подготовительного периода [147].

Среднегрупповое содержание тропонина Т в крови биатлонистов высокого класса не превышало верхней границы референтного интервала, установленного для здоровых мужчин (< 14 пг/мл). В то же время достоверно более высокая концентрация белка в группе участников исследования зафиксирована на ОПЭ, являющемся первой фазой эффективной адаптации к функционированию ССС в условиях соревновательной деятельности. Использование тренировок на выносливость направлено на обеспечение морффункционального ремоделирования сердечной мышцы, а именно, дилатации его камер с целью повышения функциональных возможностей ССС. Такой вектор адаптации сердца (гипертрофия *L*-типа) способствует безопасному переходу к выполнению биатлонистами большего объема работы средней и высокой интенсивности, вызывающего высокое напряжение ССС и обладающего определенными рисками перенапряжения миокарда. Однако использование на ОПЭ большого объема низкоинтенсивных аэробных тренировок приводит к формированию большого аэробного сердца со сниженными функциональными возможностями выталкивания повышенного объема крови из сердечных камер в аорту в момент диастолы. Несмотря на то, что ОПЭ у биатлонистов высокого класса в первую очередь характеризуется высокой долей низкоинтенсивных и продолжительных циклических нагрузок, на данном этапе подготовки избирательно

применяются высокоинтенсивные упражнения. Следовательно, однозначно утверждать вызваны ли достоверно высокие концентрации тропонина Т на ОПЭ длительными низкоинтенсивными тренировками или высокоинтенсивными интервальными тренировками не представляется возможным.

Для нивелирования риска перенапряжения миокарда на фоне большой дилатации камер сердца с июня в программу подготовки биатлонистов включаются упражнения средней и высокой интенсивности, вызывающие гипертрофию задней стенки левого желудочка (гипертрофия *D*-типа), тем самым увеличивая выталкивающую силу сердца и обеспечивая более полное опорожнение камер сердца в фазе систолы. Таким образом, физиологическим ответом сердца спортсмена на высокоинтенсивные физические нагрузки является его морфофункциональное ремоделирование с целью поддержания высокого сердечного выброса и обеспечения достаточной доставки кислорода к работающим мышцам, что подтверждается наблюдаемым с августа достоверным снижением концентрации тропонина Т в крови участников исследования. Таким образом, выбранная на всем протяжении подготовительного периода тренерами стратегия в целом рациональна, она характеризуется высокой преемственностью тренировочных эффектов циклических средств подготовки различной интенсивности, позволяющих повысить функциональные возможности ССС и увеличить ее адаптационный потенциал.

Таким образом, результаты проведенных исследований и анализ циклических средств подготовки, включая ее интенсивность, обладающих различным тренирующим потенциалом в отношении функциональных возможностей ССС спортсменов, дают основание утверждать, что выбранные тренерами стратегии подготовки системы кислородтранспортного обеспечения работы мышц спортсменов на всех этапах подготовительного периода эффективны.

2.2.2 Маркеры метаболизма костной ткани

На рисунке 2.8 представлено изменение среднегрупповых концентраций маркеров метаболизма костной ткани, измеренных в крови высококвалифицированных биатлонистов на этапах годичного цикла подготовки, и отношения Р1НР/β-CrossLaps, использующегося для оценки баланса процессов остеогенеза и резорбции костного матрикса.

При анализе среднегрупповых уровней остеокальцина в крови биатлонистов достоверных различий между ОПЭ (31.5 ± 8.4 нг/мл) и СПЭ (30.7 ± 9.1 нг/мл) не выявлено, однако его концентрация достоверно увеличивалась на ПСЭ подготовки (32.4 ± 9.5 нг/мл) ($p < 0,05$). Статистически достоверных различий содержания Р1НР, измеренного в сыворотке биатлонистов на различных этапах подготовительного периода, не выявлено. Среднегрупповая концентрация β-CrossLaps достоверно снижалась при переходе от ОПЭ

(0.696 ± 0.234 нг/мл) к СПЭ (0.542 ± 0.204 нг/мл) ($p < 0,05$). Отношение концентраций P1NP к β -CrossLaps на СПЭ было достоверно ($p < 0,05$) выше по сравнению с прочими этапами подготовительного периода [148]. Изменения концентрации остеокальцина под воздействием регулярной физической нагрузки могут быть обусловлены изменениями энергетического метаболизма и повышенной активностью остеокластов.

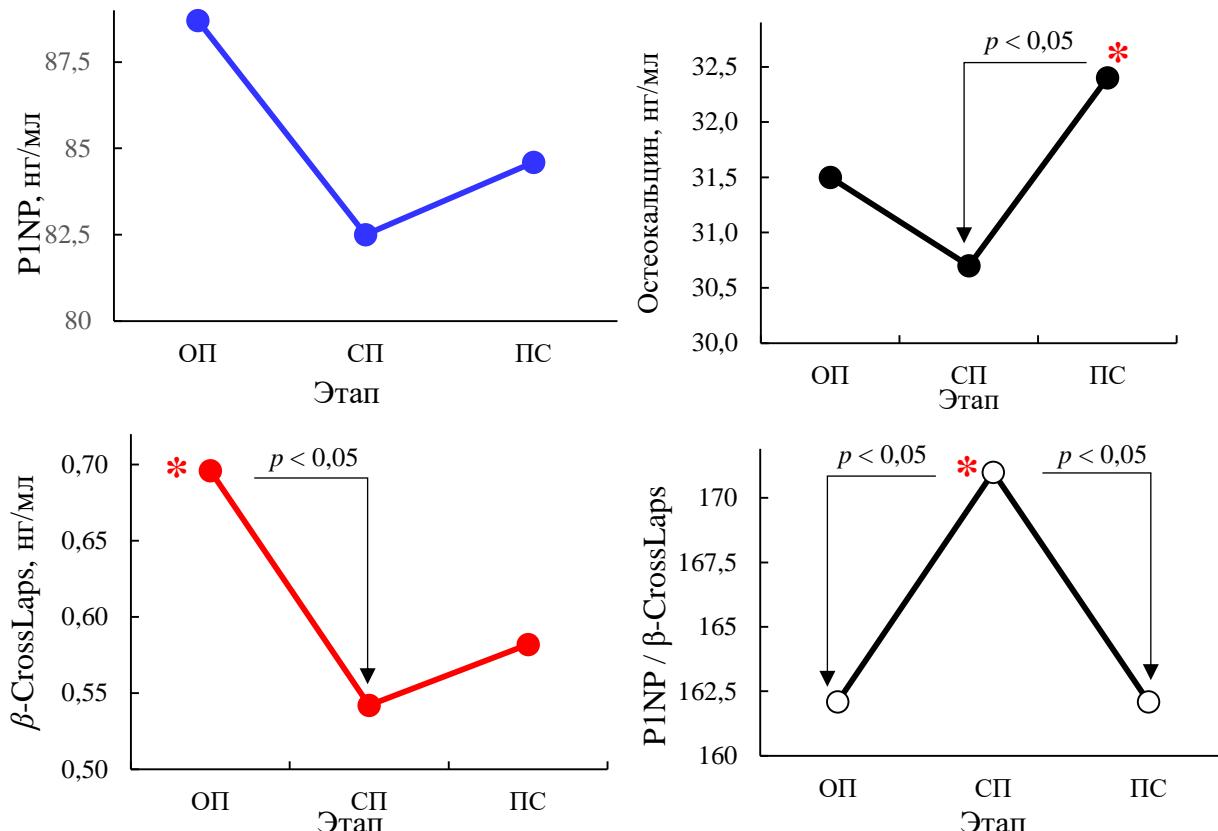


Рисунок 2.8 – Изменение средних концентраций маркеров метаболизма костной ткани и P1NP/ β -CrossLaps, измеренных в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) на этапах подготовительного периода [149]

Относительное распределение основных циклических средств подготовки биатлонистов высокого класса, используемых на этапах подготовительного периода и различающихся величиной компрессионного воздействия на опорно-двигательный аппарат, представлено на рисунках 2.9 и 2.10 [148].

В перечень средств подготовки с повышенной компрессионной нагрузкой, выполнение которых предусматривает фазу быстрой амортизации движения с последующим переходом в фазу отталкивания, включены:

- бег,
- бег с палками,
- прыжковая имитация.

К основным средствам подготовки с низкой компрессионной нагрузкой отнесены:

- шаговая имитация,
- ходьба,
- велоезда,
- передвижение на лыжероллерах и лыжах.

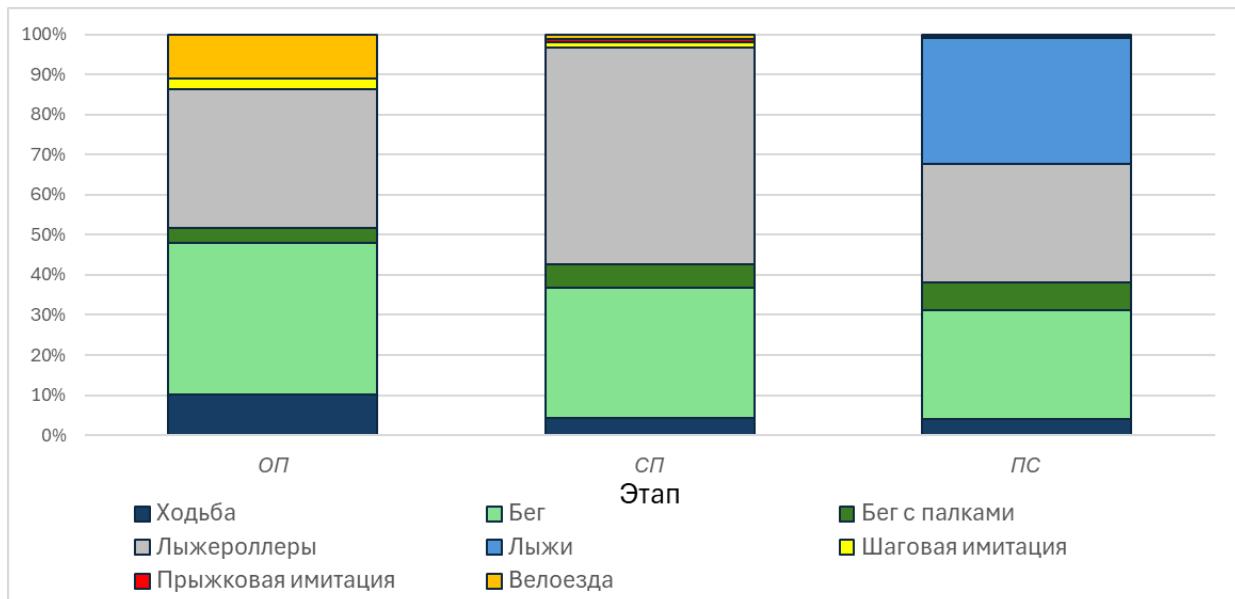


Рисунок 2.9 – Относительное распределение основных циклических средств подготовки биатлонистов высокого класса (n=23) на этапах подготовительного периода годичного макроцикла [148]



Рисунок 2.10 – Динамика отношения объемов циклических средств с разным уровнем компрессионной нагрузки в подготовительном периоде биатлонистов высокого класса (медианные значения группы, n=23) [148]

Отметим, что упражнение на лыжах не были включены в группу средств подготовки с низкой компрессионной нагрузкой по следующей причине. Разделение роллерной и лыжной подготовки продиктовано спецификой перехода к подготовке на снегу: хотя

перемещение на лыжероллерах обеспечивает паттерны движения и приложение сил, сходные с теми, которые используются спортсменами при перемещениях на лыжах по снегу, в большей степени эта схожесть относится к классическим ходам, применяемым в лыжных гонках. При использовании конькового хода в биатлоне аппроксимация «роллеры – лыжи» не всегда оптимальна, и, как следствие, присутствует риск закрепления неправильных паттернов движения и иннервации, которые нередко приходится устранять на ПСЭ подготовки. Особенностью перемещения на лыжах в современном биатлоне является изменение техники отталкивания в той силе, с которой биатлонист переносит вес тела на лыжные палки: большая часть веса тела и естественной инерции переносится на палки для выполнения более сильного, мощного, взрывного толчка. К таким особенностям можно отнести технику одновременного двухшажного конькового хода, позволяющую сильнейшим биатлонистам повысить эффективность преодоления крутых участков дистанции. Этот вид локомоции биомеханически и с точки зрения компрессионного воздействия схож с используемой в бесснежный период подготовки прыжковой имитацией, нагрузка которой возрастает за счет неустойчивости опоры, вариативности условий скольжения и рельефа. В связи с этим лыжную подготовку биатлонистов было бы более корректно рассматривать как отдельную группу средств подготовки с «комбинированной нагрузкой».

В дополнение к циклическим тренировочным средствам нами было решено вынести в отдельную категорию используемые в подготовке биатлонистов прыжковые нагрузки – прыжки из глубокого и неглубокого приседа. Такой подход целесообразен с точки зрения оптимизации тренировочных программ с учетом повышенного уровня компрессионной нагрузки, вызываемой этими упражнениями. Объемы прыжковой нагрузки, выполняемой высококвалифицированными биатлонистами на различных этапах подготовительного периода, представлены на рисунке 2.11 [149]. Следует отметить, что на всех этапах подготовительного периода в подготовке биатлонистов преобладают циклические средства с невысокой компрессионной нагрузкой. Тем не менее, присутствуют и различия, связанные с выбором наиболее эффективных средств для последовательного решения конкретных тренировочных задач.

ОПЭ подготовки характеризуется значительной долей упражнений с повышенной компрессионной нагрузкой (бег, бег с палками) в общем объеме используемых циклических средств. Кроме того, на данном этапе в подготовку включается большой объем прыжковых упражнений. Причем именно для этого этапа характерно существенное преобладание прыжков из неглубокого приседа, выполнение которых связано с «жесткой» амортизацией в фазе подседа, сопровождающейся значительной нагрузкой на сухожильную часть

растягиваемых мышц и костно-хрящевые структуры нижних конечностей [149]. Анализ выполненных биатлонистами нагрузок показал, что ОПЭ начинался с втягивающего мезоцикла, задачей которого являлась подготовка опорно-двигательного аппарата спортсмена к развивающим нагрузкам прыжкового и бегового характера. Далее следовал базовый мезоцикл подготовки, основное направление которого – преобладание беговых или плиометрических упражнений (прыжки, имитационные упражнения), выполнение которых предусматривает фазу быстрой амортизации движения с последующим переходом в фазу отталкивания. Максимальная концентрация неспецифических высокоинтенсивных средств подготовки приходилась на заключительный месяц ОПЭ.

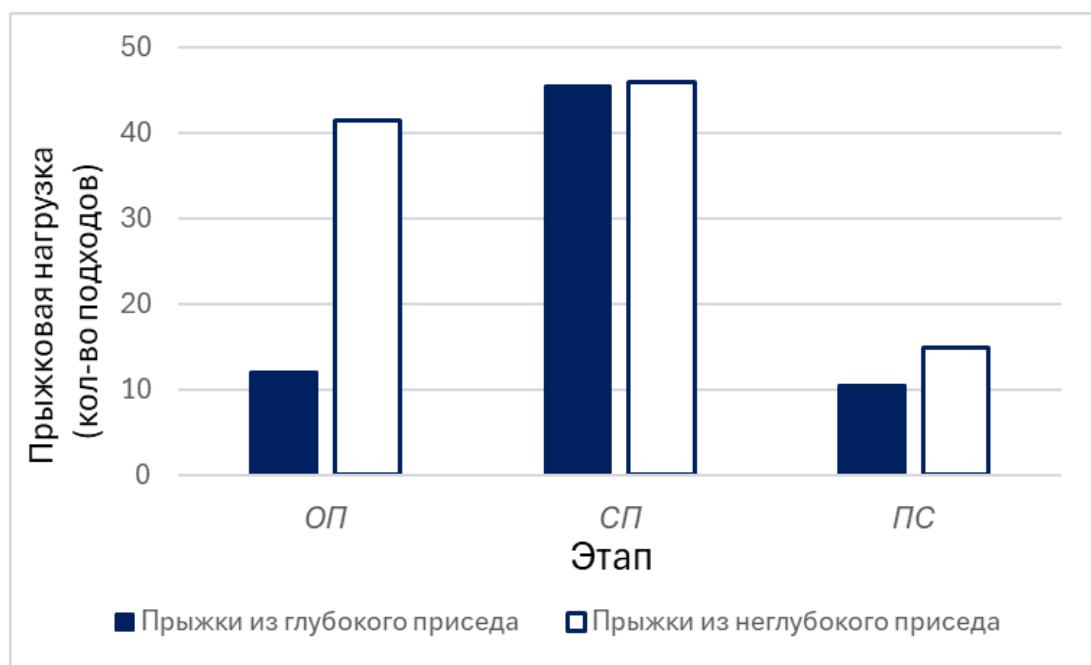


Рисунок 2.11 – Объемы прыжковой нагрузки, выполняемой биатлонистами высокого класса на этапах подготовительного периода (медианные значения группы, n=23) [149]

Для СПЭ характерно увеличение объема выполняемой нагрузки и повышение биомеханической «специализированности» используемых средств. Соответственно, наблюдается постепенное снижение объема неспецифичной беговой нагрузки и возрастание абсолютного и относительного объемов лыжероллерной подготовки, то есть упражнений с «мягкой» амортизацией в уступающей фазе движения, при выполнении которых основную нагрузку несут скелетные мышцы, а не суставные поверхности. Такое перераспределение приводит к некоторому снижению суммарного компрессионного воздействия циклических средств на опорно-двигательный аппарат. Вместе с тем на этот период приходится выполнение значительной прыжковой нагрузки, хотя по сравнению с ОПЭ можно отметить выравнивание количества подходов прыжков из глубокого и неглубокого приседа [149].

В рамках ПСЭ в еще большей степени возрастает объем «специализированных» нагрузок, сопровождающийся снижением доли лыжероллерной подготовки и переходом к использованию в большом объеме средств лыжной подготовки, с точки зрения «компрессионности» воздействия классифицируемой нами как «комбинированная». Объем средств прыжковой подготовки, отличающихся высокой величиной компрессионного воздействия, на этом этапе снижается до минимума [149].

Полученные данные позволяют сопоставить изменения концентраций маркеров процесса ремоделирования костной ткани и особенности содержания и направленности подготовки биатлонистов на отдельных этапах подготовительного периода. Для оценки баланса процессов синтез-деградация и ремоделирования костной ткани мы использовали, соответственно, отношения концентраций остеокальцин/ β -CrossLaps и P1NP/ β -CrossLaps [149].

Применение упражнений с повышенной компрессионной нагрузкой в рамках ОПЭ активирует морфологические перестройки костно-хрящевых структур, что сопровождается изменениями содержания маркеров формирования костной ткани и опосредованной остеокластами деструкции коллагена I типа.

Выполнение спортсменами максимального объема упражнений с жесткой амортизацией на СПЭ увеличивало биомеханический стресс на суставы, что приводило к накоплению физиологического напряжения в опорно-двигательном аппарате, активируя процесс резорбции костной ткани. Следствием перераспределения нагрузки на ПСЭ, а именно увеличения доли средств с мягкой амортизацией, являлось снижение суммарного компрессионного воздействия на опорно-двигательный аппарат, приводящее к снижению резорбтивной активности многоядерных остеокластов и ускорению процессов ремоделирования костной ткани. Другими словами, на данном этапе подготовки основную нагрузку несли скелетные мышцы, а не суставные поверхности, обеспечив стабилизацию процессов костного обмена. Можно отметить, что в процессе выполнения программы подготовительного периода наблюдается тенденция к увеличению остеогенеза в ответ на тренировочную нагрузку, а процесс ремоделирования достоверно преобладает над процессом деградации костного матрикса на СПЭ ($p < 0,05$). Концентрации маркеров остеогенеза и резорбции, измеренные в крови биатлонистов, свидетельствуют о повышенном уровне костного обмена и ремоделирования ткани в ответ на тренировочные стимулы, при этом на СПЭ процесс ремоделирования преобладает над процессом деградации. Механическая нагрузка при использовании роллеров и лыжной подготовки более щадящее воздействует на костную ткань, вызывая остеогенный ответ и активацию костных клеток [149].

Концентрация остеокальцина в диапазоне 14 – 42 нг/мл является физиологической нормой для мужчин. Нами были детектированы и проанализированы случаи превышения верхних границ клинической нормы концентрации остеокальцина, указывающая на высокий уровень процесса образования костного матрикса у спортсменов. Обнаружено, что на ОПЭ выходы за пределы физиологических норм остеокальцина наблюдаются в 11.3 % случаев, на СПЭ – в 8.9 % случаев, на ПСЭ – в 16.3 % случаев.

На ОПЭ концентрации β -CrossLaps выходили за пределы верхней границы популяционной нормы (0.584 нг/мл) в 38.0 % случаев, на СПЭ и ПСЭ – в 31.1 и 37.2 % случаев, соответственно. В 90 % случаев повышенные концентрации β -CrossLaps сопровождались высокими концентрациями маркеров остеогенеза (выше верхних Q (75 %) квартилей или выходящими за верхние границы соответствующих референтных интервалов), что указывает на высокий уровень процесса ремоделирования костной ткани. При оценке тесноты взаимосвязи концентраций маркеров формирования костного матрикса, проведенной с использованием ранговой корреляции Спирмена, рассчитаны коэффициенты корреляции, указывающие на наличие сильной связи между переменными [149].

Таким образом, напряженные тренировки и в первую очередь механический стресс, в значительной степени влияют на активность костных клеток у биатлонистов. Оптимизация отношения циклических средств с разным уровнем компрессионной нагрузки при проведении специализированной тренировки способствует адаптивным изменениям, защищающим костную ткань от резорбции, вызванной интенсивными упражнениями. Ответная реакция костной ткани на физическую нагрузку зависит от характеристик выполненных спортсменом нагрузок (продолжительность, интенсивность, время восстановления, механическое напряжение). На протяжении всего подготовительного периода у спортсменов, имеющих повышенные концентрации β -CrossLaps, наблюдалось одновременное увеличение уровня P1NP, что свидетельствует о ремоделировании костной ткани [149].

2.2.3 Маркеры гормонального статуса

Для физиологической адаптации к тренировочным нагрузкам необходима правильная гормональная сигнализация. Основу адаптационного резерва составляет нейроэндокринная система и ее функциональные возможности в части обеспечения потребностей организма в гормонах с целью приспособления к предлагаемым нагрузкам [150]. В зависимости от величины физического стимула она реагирует на физиологический стресс, запуская специфические адаптационные процессы. Поскольку в организме человека отсутствует механизм, способствующий накоплению эндогенных стероидных гормонов в

клетках, они, быстро проходя через клеточные мембранные, попадают в кровяное русло, где осуществляют гормональную регуляцию и постепенно элиминируются из организма. Стероидные гормоны – класс эндокринных сигнальных агентов, являющихся основными регуляторами многих процессов на клеточном уровне, включая углеводный, жировой, белковый и водно-электролитный обмен, синтез мышечного белка, антиоксидантную регуляцию, поведенческую мотивацию и когнитивные функции. Анаболическое звено нейроэндокринной системы представлено дегидроэпиандростероном (далее – ДГЭА), андростендионом, тестостероном и 5α -дигидротестостероном (далее – ДГТ). ДГЭА – один из основных стероидных гормонов, секреируемых надпочечниками, который служит предшественником других стероидных гормонов, включая тестостерон, а его сульфоконьюгат (далее – ДГЭА-С) действует как резервуар или буфер для стероидного генезиса андрогенов. ДГЭА через стадию трансформации до андростендиона превращается в тестостерон, поэтому первые два стероида считаются прогормоном последнего. ДГТ обладает большей аффинностью связывания с рецепторами андрогенов по сравнению с тестостероном и потенциально действует на сходные с тестостероном пути в отношении мобилизации запасов энергии, синтеза белка, модуляции нейромоторных единиц и других механизмов [151, 152, 153].

Каждый из перечисленных андрогенов может условно характеризовать резервные, текущие и компенсаторные возможности нейроэндокринной системы. Условная классификация анаболических гормонов по критерию их роли в обеспечении адаптации к тренировочному стрессу проиллюстрирована на рисунке 2.12. В случае если функциональной мощности анаболического звена нейроэндокринной системы недостаточно для восстановления затрачиваемых организмом ресурсов, скорость морфофункциональных перестроек замедлится и возникнет угроза срыва адаптации [154]. В этой связи изучение закономерностей влияния тренировочных нагрузок на анаболический отклик организма биатлонистов высокого класса в рамках подготовительного периода является актуальной задачей [155].

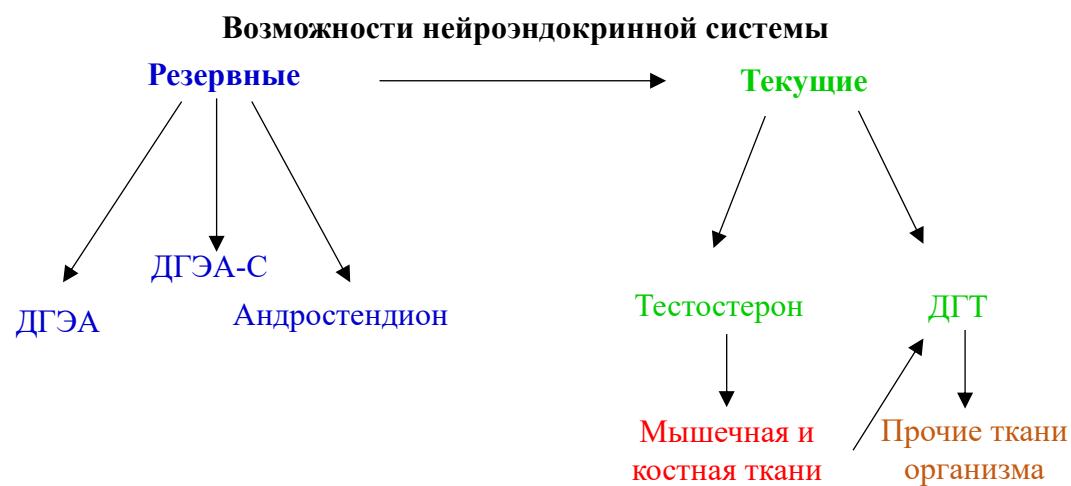


Рисунок 2.12 – Условная классификация анаболических гормонов по критерию их роли в обеспечении адаптации к тренировочному стрессу [155]

Динамика концентрации стресс-гормона кортизола в группе биатлонистов в рамках подготовительного периода годичного макроцикла представлена на рисунке 2.13. Статистически достоверных различий концентраций кортизола, измеренной при проведении этапного комплексного контроля в крови биатлонистов, между этапами подготовительного периода не выявлено. Среднегрупповой уровень кортизола снижался при переходе от ОПЭ (93.2 ± 26.7 нг/мл) к СПЭ (88.9 ± 25.0 нг/мл) ($p > 0,05$), а его содержание на ПСЭ (92.3 ± 24.6 нг/мл) было недостоверно выше предыдущего этапа подготовки ($p > 0,05$). Помесячная динамика содержания глюкокортикоида имела волнобразный вид с минимумом в середине СПЭ (август).

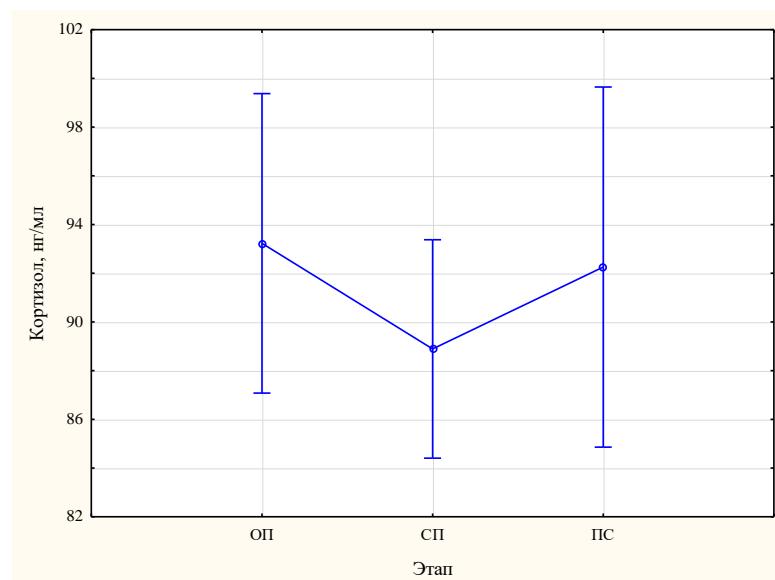


Рисунок 2.13 – Динамика концентраций кортизола, измеренного в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) на этапах подготовительного периода годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

В рамках комплексной оценки функциональных возможностей систем и метаболической адаптации организма спортсменов под воздействием физических нагрузок, выполняемой при проведении этапного комплексного контроля, концентрация кортиола в крови биатлонистов в независимости от этапа подготовки находилась в пределах физиологической нормы для мужчин (46.0-206.0 нг/мл), однако референтный интервал представлен более узким диапазоном имещен в область низких значений 51.2 (90 % ДИ 48.5-53.9) – 140.5 (90 % ДИ 137.8-143.2) нг/мл.

Динамика изменения концентрации тестостерона, как одного из наиболее значимых маркеров оценки протекающих адаптационных процессов, достоверно влияющих на аэробную производительность и выносливость спортсменов, а также восстановительные процессы в рассматриваемый период подготовки имела более выраженный волнообразный характер. Помесячная динамика андрогена у высококвалифицированных биатлонистов в рамках подготовительного периода годичного макроцикла представлена на рисунке 2.14.

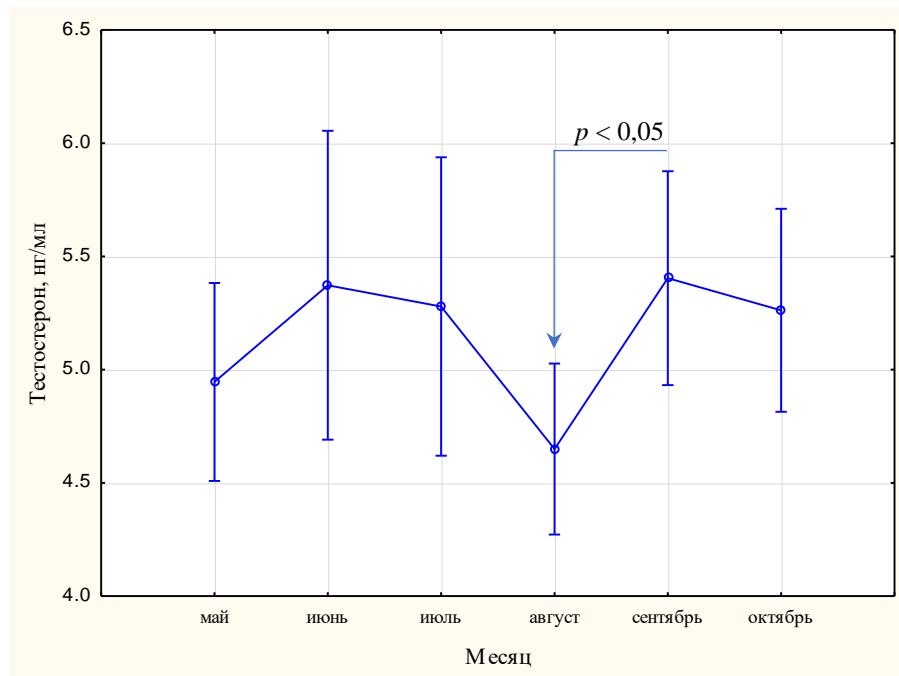


Рисунок 2.14 – Динамика концентрации тестостерона у биатлонистов высокого класса (n=23) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Среднегрупповая концентрация андрогена к концу ОПЭ (июнь) имела некоторую тенденцию к увеличению, не достигающему, однако, достоверной величины. В середине СПЭ (август) ее величина была минимальной и достоверно ниже, чем в сентябре ($p < 0,05$). При переходе от СПЭ к ПСЭ концентрация тестостерона снижалась, но лишь на уровне тенденции ($p > 0,05$). В целом динамика концентрации тестостерона в группе биатлонистов изменялась симбатно суммарному объему средств силовой подготовки, выполненному спортсменами на этапах подготовительного периода (рисунок 1.8). Более высокие уровни

андрогена у биатлонистов на ОПЭ и ПСЭ связаны с выполнением ими комбинаций упражнений с сопротивлением и резкой сменой интенсивности режима работы мышц, когда повышение уровня анаболических гормонов имеет важное значение для мышечной адаптации и их роста. Комбинированные эффекты физической нагрузки и индуцированного ей высвобождения тестостерона, вызывающего повышение регуляции анаболизма андрогенных рецепторов, управляются геномными и негеномными сигнальными путями, которые, вероятно, увеличивают обмен белка в мышцах, и, соответственно, общий прирост белка и гипертрофию мышечных волокон [156, 157]. Высокие уровни общего и биодоступного тестостерона приводят к увеличению капилляризации и мышечной гипертрофии, обусловленной преимущественно значительным увеличением площади поперечного сечения быстросокращающиеся мышечных волокон типа II [158].

Статистически достоверных различий концентрации тестостерона у спортсменов между этапами подготовительного периода не выявлено (рисунок 2.15). Среднегрупповая концентрация тестостерона в крови высококвалифицированных биатлонистов в рамках подготовительного этапа годичного макроцикла составляла 5.1 ± 1.5 нг/мл, а референтный интервал находился в диапазоне от 2.7 (90 % ДИ 2.5-2.9) до 8.6 (90 % ДИ 8.4-8.8) нг/мл, что соответствует физиологической норме для мужчин данного возраста (3.0 – 10.8 нг/мл).

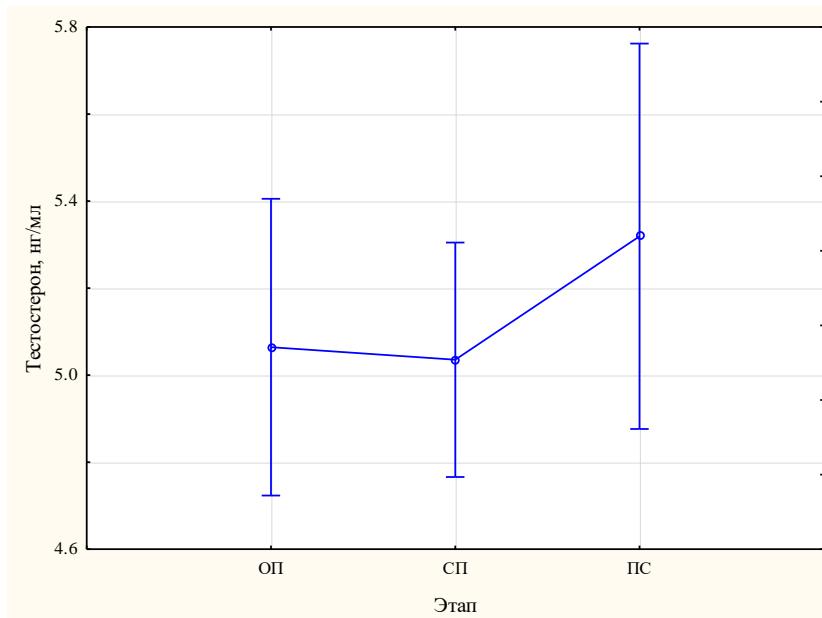


Рисунок 2.15 – Динамика концентрации тестостерона, измеренного в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) на этапах подготовительного периода годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Динамика изменения отношения концентраций тестостерона к кортизолу (далее – Т/К) у биатлонистов, использующегося для оценки баланса анаболических и катаболических процессов в ответ на нагрузки, приведена на рисунке 2.16. Минимальные

значения Т/К зафиксированы в начале ОПЭ (май). Увеличение объема и/или интенсивности нагрузки с постепенным повышением специфичности воздействия на СПЭ (июль, август) обладало большей стрессогенностью, что приводило к истощению ресурсов нейроэндокринной системы, при этом Т/К имело некоторую тенденцию к снижению, не достигающему, однако, достоверной величины ($p > 0,05$). Однако именно такая стратегия необходима для развития устойчивых адаптационных перестроек и обеспечения динамики поступательного формирования морфофункциональной специализации всех систем организма спортсменов к соревновательному режиму работы. Снижение напряжения нейроэндокринной системы сопровождалось постепенным ростом значений Т/К и достижением максимальных значений в конце мезоцикла. В целом по подготовительному периоду годичного макроцикла в группе биатлонистов наблюдали положительный тренд Т/К от этапа к этапу.

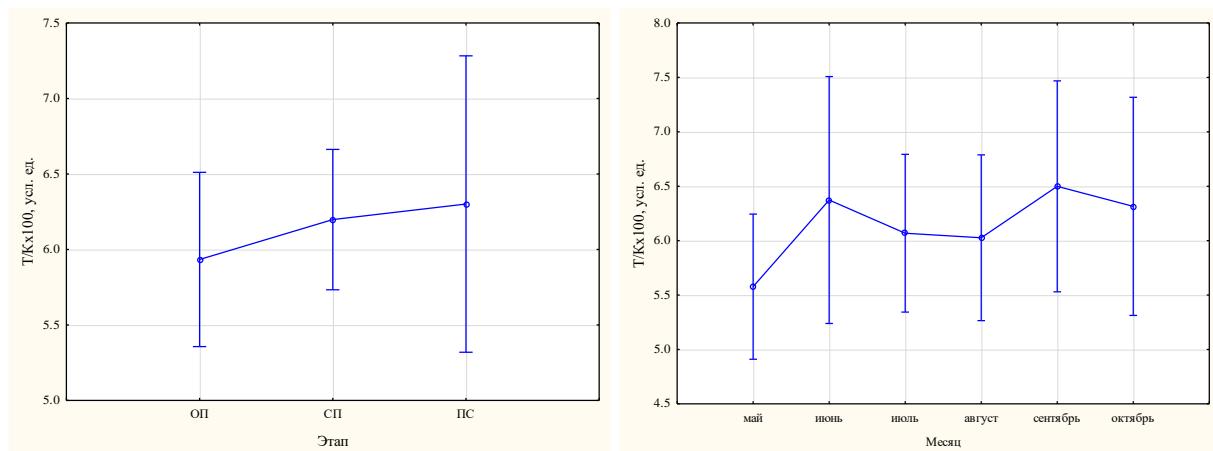


Рисунок 2.16 – Динамика Т/К, рассчитанного по результатам количественного определения соответствующих стероидных гормонов в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) на этапах подготовительного периода годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

В ответ на стресс-реакцию (психологический и/или физический стимул) надпочечники начинают вырабатывать больше кортизола, поэтому крайне важно, чтобы после этого воздействия концентрация глюокортикоидероида вернулась к нормальным значениям. У некоторых спортсменов стресс-реакция на упражнения, выполняемые в высокоинтенсивном двигательном режиме работы мышц, активируется настолько часто, что метаболические пути не всегда способны вернуться к нормальному функционированию, что может привести к хроническому стрессу и утомлению. Отсутствие у спортсменов развивающих нагрузок циклического и силового характера перед этапным комплексным контролем приводило к нормализации гормонального фона, в частности при сохранении выработки тестостерона секреция стресс-гормона уменьшалась. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что несмотря на регулярную активацию

нейроэндокринной системы спортсменов под действием нагрузок, метаболические пути возвращаются к нормальному функционированию в течение 24-48 ч. В то же время анализ среднегрупповых значений Т/К показал, что баланс анаболических и катаболических процессов в ответ на нагрузки во временной перспективе этапов подготовительного периода смешался в сторону первого (увеличение на 3.4%) – среднегрупповой индекс анаболизма-катаболизма на ОПЭ и ПСЭ составил 5.82 ± 2.33 и 6.02 ± 2.15 усл. ед., соответственно. В то же время динамику ответа кортизола и тестостерона на физическую нагрузку необходимо анализировать только с учетом объема, интенсивности и направленности средств подготовки, а также индивидуальных особенностей спортсмена и специфики вида спорта, поскольку у спортсменов высокого класса вышеперечисленные переменные характеризуются высокой межиндивидуальной вариативностью.

Динамика концентраций андростендиона, измеренного в крови биатлонистов, приведена на рисунке 2.17. Минимальные среднегрупповые концентрации андростендиона были зафиксированы на СПЭ, его уровень в крови спортсменов в июле, августе и сентябре был достоверно ниже, чем в мае ($p < 0,05$). Среднегрупповое содержание андростендиона достоверно снижалось при переходе от ОПЭ (0.54 ± 0.18 нг/мл) к СПЭ (0.49 ± 0.14 нг/мл) ($p < 0,05$), а его содержание на ПСЭ (0.54 ± 0.16 нг/мл) было достоверно выше предыдущего этапа подготовки ($p < 0,05$).

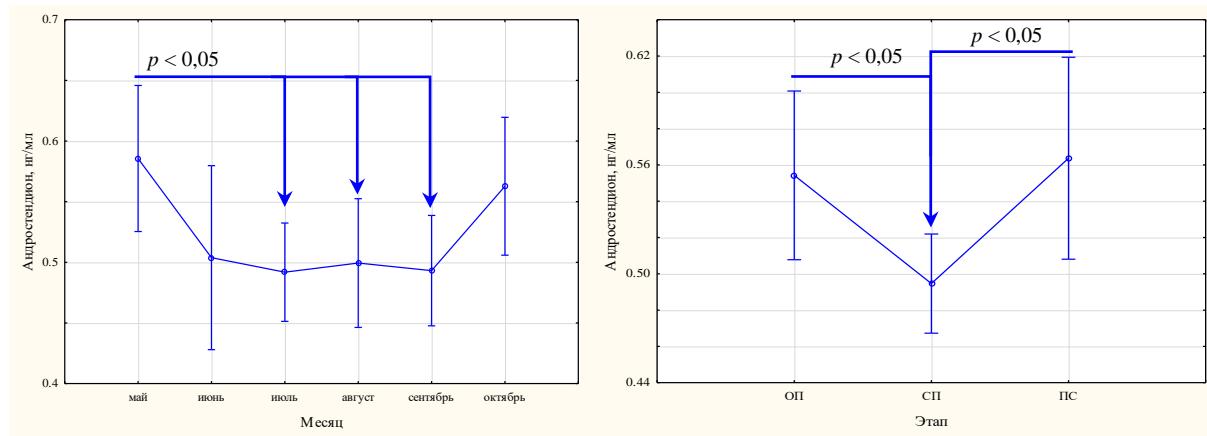


Рисунок 2.17 – Динамика концентраций андростендиона, измеренного в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) на этапах подготовительного периода годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Статистически достоверных различий концентраций ДГЭА, измеренного в сыворотке биатлонистов, между этапами подготовительного периода не выявлено, на СПЭ его содержание снижалось незначительно ($p > 0,05$) (рисунок 2.18).

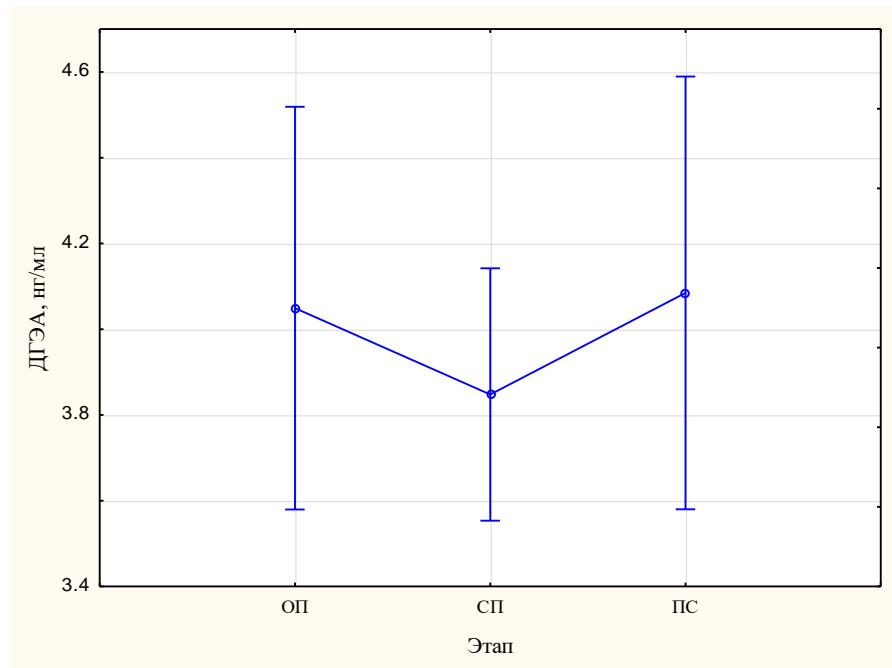


Рисунок 2.18 – Динамика концентраций ДГЭА, измеренного в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) на этапах подготовительного периода годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Среднегрупповая концентрация ДГЭА в крови высококвалифицированных биатлонистов в рамках подготовительного этапа годичного макроцикла составила 3.95 ± 1.80 нг/мл, референтный интервал представлен более узким относительно общепопуляционного диапазоном – 1.53 (90 % ДИ 1.34-1.72) – 8.69 (90 % ДИ 8.50-8.87) нг/мл, что соответствует физиологической норме для мужчин данного возраста (1.33 – 7.78 нг/мл).

Если срочная и отложенная реакции общего тестостерона на нагрузки разной интенсивности, длительные субмаксимальные аэробные тренировки и упражнения с отягощениями хорошо известны, то реакция ДГТ, конечного активного продукта биосинтеза андрогенов, на регулярную физическую нагрузку в лонгитудинальном аспекте мало изучена. Среднегрупповая динамика концентрации ДГТ у биатлонистов в рамках подготовительного периода годичного макроцикла представлена на рисунке 2.19. Его среднегрупповой уровень снижался при переходе от ОПЭ (437 ± 184 пг/мл) к СПЭ (410 ± 186 пг/мл) ($p > 0,05$), а содержание на ПСЭ (508 ± 235 пг/мл) было достоверно выше предыдущего этапа подготовки ($p < 0,05$). Наблюдаемое существенное увеличение уровня ДГТ после окончания СПЭ и 2-х недель восстановительно-поддерживающего двигательного режима, согласуется с другими исследованиями [159, 160] и объясняется положительным влиянием высокоинтенсивных нагрузок на активность 5α -редуктазы в скелетных мышцах, катализирующей превращение тестостерона в ДТГ.

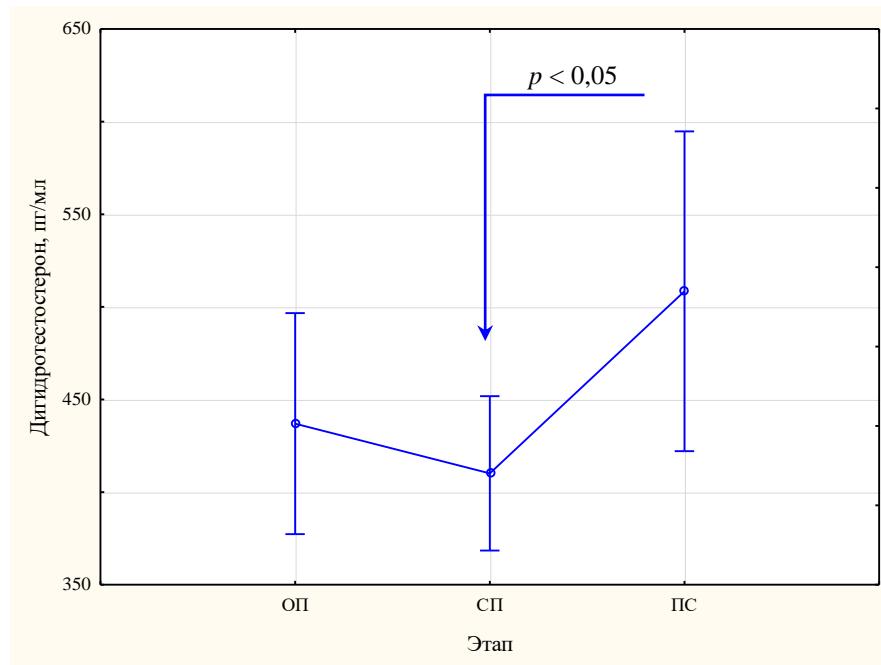


Рисунок 2.19 – Динамика концентраций ДГТ, измеренного в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) на этапах подготовительного периода годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Динамика изменения уровня ДГЭА-С, являющегося неактивным побочным продуктом стероидогенеза надпочечников, вырабатываемым для предотвращения чрезмерной нагрузки андрогенами [161], у биатлонистов в рамках этапов подготовительного периода приведена на рисунке 2.20.

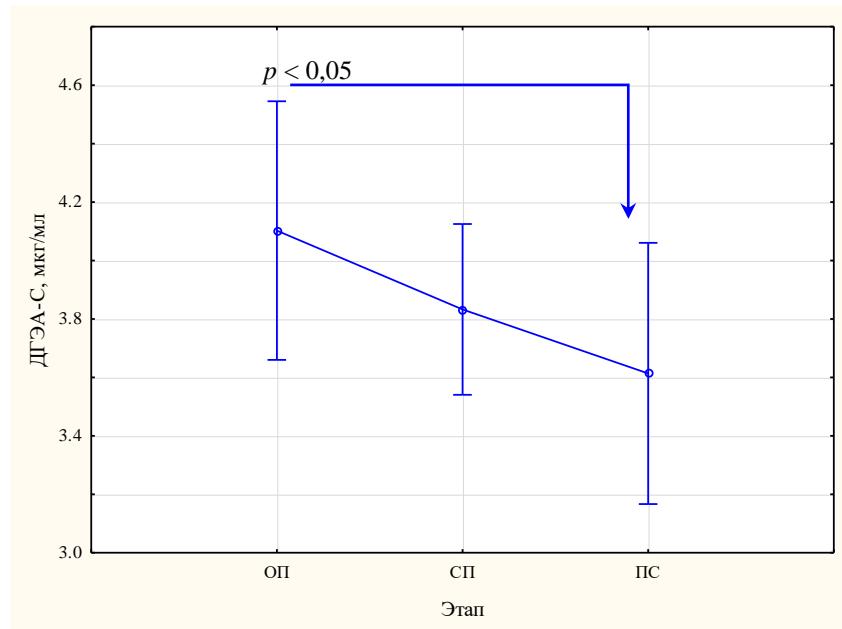


Рисунок 2.20 – Динамика концентраций ДГЭА-С, измеренного в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) на этапах подготовительного периода годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Среднегрупповое содержание ДГЭА-С последовательно уменьшалось в течение всего подготовительного периода, его концентрация на ПСЭ была достоверно ниже, чем в начале подготовительного периода ($p < 0,05$). ДГЭА-С является резервуаром ДГЭА, параллельно с кортизолом, высвобождаемым из надпочечников при стрессе в ответ на активацию гипоталамус-гипофиз-надпочечниковой оси под действием адренокортикотропного гормона [162]. Представленная нисходящая динамика ДГЭА-С указывает на то, что после стрессового воздействия на СПЭ, функциональные резервы нейроэндокринной системы достоверно снижаются.

На ОПЭ в подготовке высококвалифицированных биатлонистов используются низкоинтенсивные циклические нагрузки (I-II зоны интенсивности по ЧСС) и силовые средства подготовки с незначительной мощностью мышечных усилий, но выполняемые длительное время (от 1 мин и более). На СПЭ, напротив, преобладают нагрузки циклического и ациклического (силового) характера с высокой интенсивностью мышечных напряжений. Так, например, увеличение доли нагрузок высокой и средней интенсивности относительно общего объема циклической нагрузки на СПЭ по сравнению с предыдущим составило ~200 %. Кроме того, организации силовых средств подготовки в рамках СПЭ ориентированы на морфофункциональную специализацию нервно-мышечного аппарата в направлении повышения максимальной, быстрой и взрывной сил.

Обращает на себя внимание однородная тенденция изменения среднегрупповых содержаний всех стероидных гормонов, измеренных в крови биатлонистов в рамках подготовительного периода, за исключением ДГЭА-С. Как следует из данных, выше представленных на рисунках, концентрации стероидов на СПЭ были ниже по сравнению с таковыми, измеренными в рамках ОПЭ и ПСЭ. Среднегрупповые концентрации андрогенов – тестостерона, андростендиона, ДГЭА и ДГТ на ПСЭ незначительно превышала их уровни, зафиксированные в начале подготовительного периода.

Рассматривая динамику стероидных гормонов в крови биатлонистов и тренировочных нагрузок, можно утверждать, что на ОПЭ при выполнении упражнений, отличающихся низкоинтенсивным двигательным режимом работы мышц, напряжение анаболического звена нейроэндокринной системы существенно ниже, чем на СПЭ. Как только направленность тренировочных нагрузок на СПЭ смешалась в сторону высокоинтенсивных двигательных режимов, концентрации андрогенов у биатлонистов существенно снижались. При этом данная тенденция характерна как для гормонов-предшественников тестостерона (функциональные резервы нейроэндокринной системы), так и для его метаболита – ДГТ. В дальнейшем тренировочные нагрузки, сочетающие в себе

2 недели «ударных» нагрузок и 2 недели восстановительно-поддерживающего режима тренировочных нагрузок, приводили к повышению уровней всех андрогенов [155].

Также необходимо отметить достоверную отрицательную корреляцию между уровнями тестостерона и маркером повреждения клеток сердечной мышцы тропонином Т ($r = -0.26$; $p < 0,05$) на СПЭ. Такая корреляционная связь свидетельствует о том, что при выполнении биатлонистами физических высокоинтенсивных нагрузок тестостерон снижает риск возникновения некротических и апоптотических процессов, вызывающих гипертрофию миокарда с последующим повышенным риском возникновения сердечной недостаточности.

Мета-анализ обсервационных и плацебо-контролируемых рандомизированных исследований показал положительное влияние заместительной терапии тестостероном на маркеры резорбции костной ткани [163]. Андроген, активируя андрогенные рецепторы, экспрессируемые на остеобластах, остеокластах, остеоцитах и стромальных клетках костного мозга, поддерживает плотность и прочность кости, замедляет скорость ее ремоделирования и поддерживает баланс между резорбцией и остеогенезом. Корреляционный анализ выявил слабые достоверные разнонаправленные взаимосвязи концентраций тестостерона с остеокальцином ($r = 0.21$; $p < 0,05$) и β -CrossLaps ($r = -0.26$; $p < 0,05$), подтверждающие влияние андрогена на процесс ремоделирования костной ткани у биатлонистов посредством повышения ее прочности/устойчивости к последующим повреждениям, поскольку ускоренный метаболизм костных клеток способен увеличить скорость обновления костной микроструктуры, придав ей способность адаптироваться к различным видам используемой в тренировочном процессе механической нагрузки. Принимая во внимание роль стероидного гормона в поддержании и росте костной ткани, уменьшении ее резорбции и увеличении минеральной плотности, неоспоримо, что сохранение оптимального уровня андрогена имеет важное значение не только для увеличения силы, выносливости и работоспособности, но и, например, для сокращения сроков восстановления после травматизации. В рамках настоящего исследования корреляционный анализ показал слабую статистически значимую взаимосвязь между концентрациями кортизола и β -CrossLaps ($r = 0.20$; $p < 0,05$), что согласуется с данными работы [164], в которой показано, что в отличие от тестостерона стресс-гормон действует на костную ткань напрямую, усиливая ее резорбцию, и косвенно, блокируя абсорбцию кальция, что приводит к нарушению метаболизма костной ткани.

2.2.4 Маркеры иммунной системы

Вследствие высокой конкуренции в спорте высших достижений система подготовки спортсменов характеризуется существенной интенсификацией тренировочного процесса с

применением нагрузок близких к пределу физических возможностей организма [165]. Однако с целью достижения максимальных спортивных результатов и снижения травм и заболеваний крайне важно оптимизировать баланс между тренировочной нагрузкой и восстановлением. Поскольку иммунная система принимает непосредственное участие в воспалительных процессах при острых физических нагрузках функции гуморального (цитокины, белки острой фазы) и клеточного (лейкоциты) компартментов при повышении интенсивности и продолжительности физического воздействия хорошо изучены [166]. Кроме того, модуляция иммунного ответа физическими упражнениями зависит от количества рекрутируемой массы скелетных мышц. Иммунная система чрезвычайно чувствительна к физиологическому и психологическому стрессу, поэтому иммунологические маркеры могут рассматриваться в качестве потенциальных индикаторов стресса, связанного с высокоинтенсивной нагрузкой. В частности, длительные периоды напряженных упражнений вызывают временное угнетение различных аспектов иммунной функции (например, нейтрофильный респираторный взрыв, пролиферацию лимфоцитов, представление моноцитарного антигена), проявляющихся в течение 3-24 ч после окончания тренировки в зависимости от ее интенсивности и продолжительности.

Хорошо известно, что острые физические нагрузки вызывают значительное увеличение количества циркулирующих лейкоцитов, зависящее от интенсивности и продолжительности воздействия [166, 167, 168, 169]. Кроме того, результатом снижения иммунной функции являются острое и хроническое системное воспаление, а также замедление восстановления и регенерации скелетных мышц, что, в конечном счете, сказывается на многих аспектах физической работоспособности. Поскольку общее количество лейкоцитов не учитывает разнонаправленную кинетику подгрупп клеток иммунной системы в научно-медицинском сообществе был разработан подход, основанный на использовании интегративных клеточных иммунных маркеров, объединяющих различные популяции иммунных клеток, обеспечивая многофакторное понимание воспалительных процессов.

Отношение количества нейтрофилов к лимфоцитам (Neutrophil-to-Lymphocyte Ratio, NLR) – интегративный маркер воспаления, объединяющий две стороны иммунной системы: врожденный иммунный ответ, главным образом осуществляемый нейтрофилами, и адаптивный иммунитет, поддерживаемый лимфоцитами [170]. Отношение двух крупнейших подгрупп лейкоцитов обладает высоким потенциалом в качестве индикатора воспаления при физических нагрузках – его повышение указывает на продолжающиеся воспалительные процессы [171]. Следующий интегративный иммунный маркер – отношение количества тромбоцитов к лимфоцитам (Platelet-to-Lymphocyte Ratio, PLR), при

расчете которого в отличие от NLR используется количество тромбоцитов вместо нейтрофилов. Помимо хорошо известной роли тромбоцитов в первичном гемостазе они проявляют различные провоспалительные свойства, обуславливающие их ценность в качестве маркера воспаления [172]. Подобно нейтрофилии, спровоцированной физической нагрузкой, количество тромбоцитов резко возрастает (тромбоцитоз) путем выброса клеток из костного мозга, селезенки и внутрисосудистых пулов легких. Таким образом, при расчете маркеров клеточного иммунного воспаления PLR можно рассматривать как альтернативу NLR.

В 2014 г. [173] в качестве маркера клеточного иммунного воспаления предложен индекс системного иммунного воспаления (systemic immune-inflammation index, SII), равный произведению NLR и количества тромбоцитов. Если при расчете NLR и PLR задействованы отношения двух различных популяций клеток крови, то SII учитывает три популяции – эффекты нейтрофилии и лимфоцитопении, вызванных физической нагрузкой (NLR), усиливаются эффектом тромбоцитоза. Принимая в расчет различные компоненты крови, реагирующие на физическую нагрузку, SII может рассматриваться в качестве универсального и надежного маркера оценки воспаления, вызванного физической нагрузкой, способного заменить или дополнить панель традиционных маркеров воспаления [174].

Основываясь на преимуществах маркеров клеточного иммунного воспаления в практике клинической диагностики, авторами [175] предложен аналогичный методологический подход к оценке адаптации организма и процессов восстановления в профессиональном спорте. В работе [169] показано, что у спортсменов с высокой аэробной подготовленностью зафиксированы значительно более низкие значения SII и PLR после выполнения однократного теста на велоэргометре до отказа по сравнению с участниками эксперимента, обладающими низким аэробным потенциалом. Вместе с тем в литературе отсутствует информация о продолжительном изучении вышеуказанных интегративных маркеров у элитных спортсменов в рамках тренировочного процесса. Таким образом, в рамках данной научно-исследовательской работы была проведена оценка прогностической ценности клеточных интегративных маркеров иммунитета (NLR, PLR, SII) и изучены типы адаптационных реакций организма биатлонистов высокой квалификации под воздействием физических нагрузок, выполненных на различных этапах подготовительного периода, с использованием клеточных интегративных маркеров иммунитета.

Интегративные иммунные маркеры рассчитывали по следующим формулам:

$$NLR = NEUT / LYMP \quad (2)$$

$$PLR = PLT / LYMP \quad (3)$$

$$SII = PLT \times NEUT / LYMP \quad (4)$$

где

NLR – отношение количеств нейтрофилов и лимфоцитов, усл. ед.;

PLR – отношение количеств тромбоцитов и лимфоцитов, усл. ед.;

SII – индекс системного иммунного воспаления, $10^9/\text{л}$;

NEUT – количество нейтрофилов, $10^9/\text{л}$;

LYMP – количество лимфоцитов, $10^9/\text{л}$;

PLT – количество тромбоцитов, $10^9/\text{л}$.

Тип адаптационной реакции биатлонистов под воздействием выполненных нагрузок определяли по методике, разработанной Л.Х. Гаркави с соавторами [176] и адаптированной Г.А. Макаровой [177]. Взаимосвязь типа адаптационной реакции с относительным содержанием подгрупп лейкоцитов приведена в таблице 2.12. Уровень лимфоцитов считали информативным при содержании лейкоцитов в интервале $4-7 \times 10^9/\text{л}$.

Таблица 2.12 – Взаимосвязь типа адаптационной реакции с относительным содержанием популяций лейкоцитов [176], [177]

Тип реакции	Относительное содержание популяций лейкоцитов, %	
	лимфоциты	нейтрофилы
Переактивация	> 45	< 44
Повышенная активация	39-45	44-49
Спокойная активация	33-38	50-54
Тренировка	26-32	55-60
Хронический стресс	< 26	> 60

Доминирующими типами адаптаций в течение всего подготовительного периода являлись «повышенная» и «спокойная активация» – 38.1 и 23.9 %, соответственно, что согласуется с данными работы [178]. Частоты возникновения реакций «тренировка», «хронический стресс» и «переактивация» на протяжении периода составили 19.7, 4.6 и 13.7 %, соответственно [165]. Среднегрупповые содержания маркеров клеточного интегративного иммунитета, измеренных в крови биатлонистов на различных этапах подготовительного периода, при различных типах адаптационных реакций организма представлены в таблице 2.13. Сравнительный анализ среднегрупповых значений NLR и SII выявил достоверно значимые различия между всеми типами неспецифических адаптационных реакций организма ($p < 0,05$), в то время как различия в PLR между реакциями «повышенная активация» и «переактивация», «тренировка» и «хронический стресс», а также «повышенная активация» и «спокойная активация» отсутствовали ($p > 0,05$).

Таблица 2.13 – Среднегрупповые значения маркеров клеточного интегративного иммунитета у биатлонистов высокого класса (n=23) в рамках подготовительного периода при различных типах адаптационной реакции организма

Тип адаптационной реакции	Маркер		
	NLR, усл. ед.	PLR, усл. ед.	SII, · $\times 10^9$ /л
Переактивация	0.84 \pm 0.10*	105.8 \pm 24.0**	200 \pm 40*
Повышенная активация	1.15 \pm 0.10*	114.9 \pm 22.0**&	275 \pm 54*
Спокойная активация	1.51 \pm 0.12*	120.0 \pm 24.7**&	348 \pm 65*
Тренировка	1.93 \pm 0.16*	133.1 \pm 21.8**@	454 \pm 77*
Хронический стресс	2.85 \pm 0.70*	144.8 \pm 23.8**@	696 \pm 196*

Примечания

1 * – различия между реакциями достоверны ($p < 0,05$).

2 #, &, @ – различия между реакциями недостоверны ($p > 0,05$).

Выявлена достоверно положительная взаимосвязь общего количества лейкоцитов с NLR ($r = 0.46$; $p < 0,05$) и SII ($r = 0.53$; $p < 0,05$), подчеркивающая их потенциал в качестве иммунологических маркеров, тогда как корреляционная связь между лейкоцитами и PLR оказалась слабой, а взаимосвязь имела противоположную направленность ($r = -0.20$; $p < 0,05$). Корреляция между количеством лейкоцитов и маркерами клеточного интегративного иммунитета NLR и SII вполне объяснима, поскольку последние частично рассчитываются с использованием подмножеств первых, однако в зависимости от распределения различных популяций лейкоцитов и количества тромбоцитов не может быть гарантирована [179]. Таким образом, с одной стороны, NLR и SII могут использоваться в качестве маркеров оценки иммунологических изменений организма спортсменов. С другой стороны, NLR объединяет врожденный и адаптивный иммунные ответы, а SII благодаря интеграции маркеров нейтрофилии, лимфоцитопении и тромбоцитоза отражает общий или местный иммунный ответ и уровень воспаления организма. В этой связи SII может рассматриваться в качестве прогностического маркера с целью изучения (противо)воспалительных реакций и использоваться в качестве персонализированного маркера восстановления в контексте периодизации тренировочного процесса.

На рисунке 2.21 представлены диаграммы частот возникновения различных типов неспецифических адаптационных реакций организма биатлонистов под воздействием физических нагрузок, выполненных на различных этапах подготовительного периода. Частота возникновения реакции «спокойная активация» увеличивалась от ОПЭ (18.2 %) к ПСЭ (25.7 %), а наибольшее количество случаев повышенной активации зафиксировано на СПЭ (35.5 %). Реакция «тренировка» чаще проявлялась на ОПЭ (25.8 %) и ПСЭ (28.6 %) этапах по сравнению с СПЭ (11.8 %). В рамках ОПЭ и СПЭ частоты встречаемости реакций «переактивация» и «хронический стресс» были выше относительно ПСЭ. Для последнего характерно увеличение доли реакций, обладающих антистрессорным характером

(«тренировка», «спокойная активация» и «повышенная активация»). Кроме того, на этом временном отрезке адаптационной реакции «хронический стресс», приводящий к предпатологическим состояниям, в группе спортсменов зафиксировано не было [165].

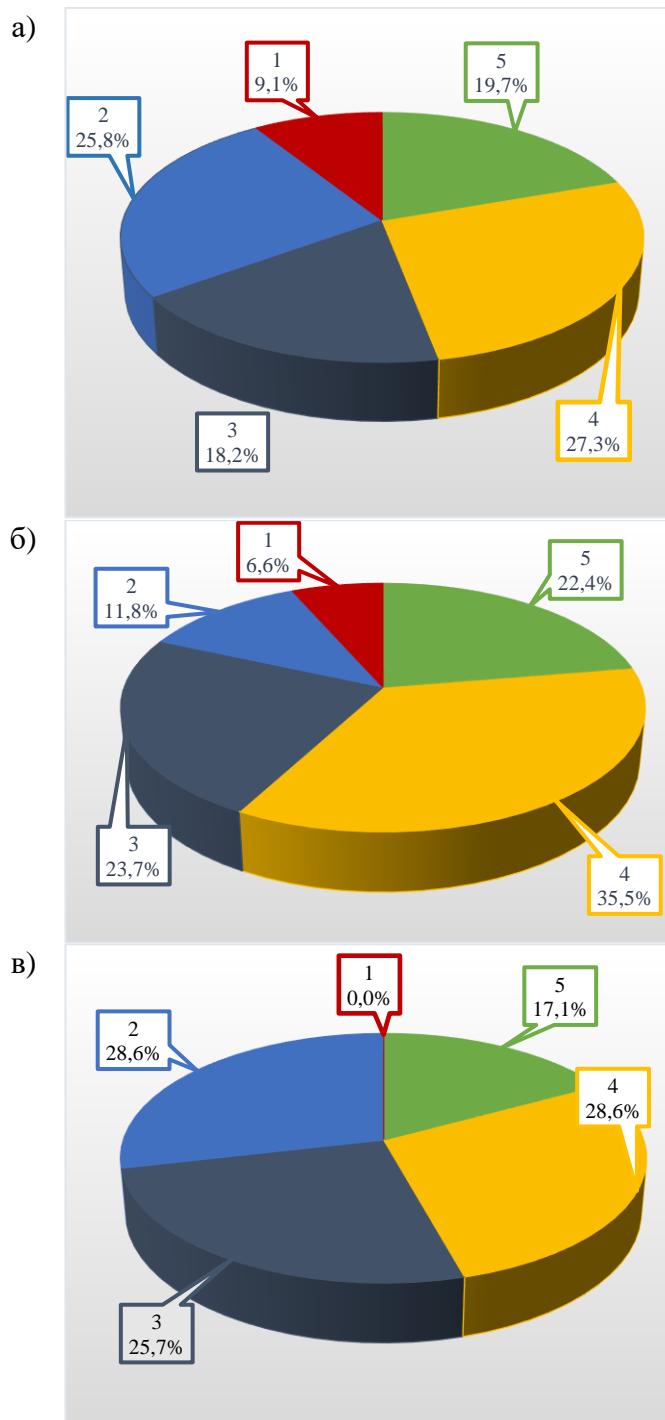


Рисунок 2.21 – Частота возникновения различных типов адаптационных реакций биатлонистов высокого класса под воздействием физических нагрузок на этапах подготовительного периода: (а) – общеподготовительный, (б) – специально-подготовительный, (в) – предсоревновательный, где 1 – «хронический стресс», 2 – «тренировка», 3 – «спокойная активация», 4 – «повышенная активация», 5 – «переактивация» [165]

Сравнительный анализ маркеров, использующихся для оценки функционального состояния спортсменов и характеризующих кислородтранспортную, мышечную, нейроэндокринную и иммунную системы, в подгруппах биатлонистов с различным типом адаптаций клеток иммунной системы под воздействием физических нагрузок на протяжении подготовительного периода показывал, что неспецифические адаптационные реакции организма – «хронический стресс» и «переактивация», характеризующиеся преобладанием катаболических процессов над анаболическими, сопровождаются перенапряжением одной или нескольких ведущих систем организма, способным привести к срыву адаптации и длительному снижению работоспособности.

При переходе от одного типа адаптационной реакции к другому отмечена тенденция к снижению концентрации кортизола, а среднегрупповой уровень глюкокортикоидов при реакции «переактивация» (109.1 ± 36.5 нг/мл) был достоверно ниже по сравнению с «хроническим стрессом» (89.8 ± 21.3 нг/мл) ($p < 0,05$). Более высокие среднегрупповые активности КФК (276 ± 172 Ед/л) и АСТ (28.6 ± 6.1 Ед/л) относительно прочих типов адаптационных реакций зафиксированы при реакции «переактивация», достоверное снижение их ферментативной активности наблюдали при переходе от реакции «переактивации» к «повышенная активация» (203 ± 90 и 25.5 ± 6.0 Ед/л, соответственно) ($p < 0,05$). Концентрация адреналина при неспецифической адаптации клеток белой крови «переактивация» была достоверно выше по сравнению с реакциями «спокойная активация», «тренировка» и «хронический стресс» ($p < 0,05$). Кортизол и катехоламины могут являться основными факторами, определяющими тип адаптационной реакции клеток белой крови, поскольку при стрессе повышенный уровень кортизола увеличивает и снижает количество нейтрофилов и лимфоцитов, соответственно, [180, 181], а активация симпатоадреналовой системы ведет к увеличению концентрации адреналина, сопровождающемуся значительным снижением абсолютного и относительного содержания лимфоцитов [182]. Возможно, увеличение количества нейтрофилов в ответ на физическую нагрузку при адаптационной реакции «переактивация» протекает в результате опосредованной катехоламинами и кортизолом демаргинации клеток, соответственно, из эндотелиальных тканей и костного мозга. Следующей возможной причиной может являться фагоцитарная и воспалительная реакции на повреждение мышечной ткани, вызванное физическими нагрузками. Таким образом, маркеры NLR и SII не только отражают общий или местный иммунный ответ и уровень воспаления организма, но и являются комплексной мерой, отражающей влияние глюкокортикоидной регуляции и симпатоадреналовой системы на миграцию лейкоцитов, а также повреждения скелетных мышц.

Следует отметить, что повышенные уровни кортизола, зарегистрированные при адаптационной реакции «переактивация», сопровождались пониженными концентрациями тестостерона, и, как следствие, снижением индекса анаболизма. Более низкие уровни глюкокортикоида при типе реакции «хронический стресс» указывают на утомление организма и высокую стрессогенность нагрузки, в то время как высокие – на усиление активации нейроэндокринной системы, граничащей с перегрузкой. Преобладание процессов анаболизма над катаболическими наблюдали при адаптационных реакциях «спокойная активация» и «повышенная активация», а смещение равновесия в сторону анаболических – при реакции «тренировка».

При адаптационных реакциях «хронический стресс» и «переактивация» у спортсменов выявлены повышенная серотонинергическая и пониженная дофаминергическая активности. В то же время при переходе от реакции «переактивация» к «хронический стресс» отмечено достоверное снижение среднегрупповой концентрации адреналина ($p < 0,05$). Достоверно высокие значения NLR и SII на фоне сниженной активности ЦНС и истощения гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, наблюдавшихся при реакции «хронический стресс», могут привести к существенному истощению ресурсов нейроэндокринной системы и утомлению ЦНС, создавая тем самым угрозу возникновения синдрома перетренированности. И, наоборот, достоверно низкие значения маркеров клеточного иммунного воспаления, проявляющиеся на фоне повышенной активности ЦНС, высокой напряженности процессов, контролируемых гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой осью, и вследствие повышенного протеолиза (расщепления мышечного белка), наблюдавшихся при реакции «переактивации», также способны вызывать ухудшение работоспособности. Кроме того, сочетание угнетающего действия интенсивных физических нагрузок на функцию нейтрофилов и их низкое содержание в крови повышает риск восприимчивости спортсменов к инфекциям.

При реакции «хронический стресс» зафиксированы максимальные концентрации гемоглобина и эритроцитов, а также повышенный гематокрит – их количественные выражения были достоверно выше по сравнению с прочими типами адаптационных реакций ($p < 0,05$). Средний объем эритроцита при реакции «тренировка» был достоверно ниже относительно реакции «повышенная активация», «спокойная активация» и «хронический стресс», а средняя концентрация гемоглобина в эритроците достоверно выше ($p < 0,05$). Таким образом, при адаптационных реакциях «хронический стресс» и «тренировка» наблюдается снижение гемореологической подготовки спортсменов за счет увеличения вязкости крови, уменьшение деформируемости эритроцитов посредством

увеличения возраста данной популяции клеток, что приводит к снижению микроциркуляции и, как следствие, доставки кислорода к тканям.

Концентрация IL-6 была достоверно выше при адаптационной реакции «хронический стресс» по сравнению с реакцией «переактивация» ($p < 0,05$), что свидетельствует об увеличении общего воспалительного статуса спортсменов, способного снизить работоспособность, повлечь за собой утомление [183], а также стать причиной развития синдрома перетренированности [184]. Статистически достоверных различий содержания СРБ при различных типах адаптации клеток иммунной системы не выявлено.

Реакции «тренировка», «спокойная активация» и «повышенная активация» обладают антистрессовым характером и характеризуются более высокой функциональной активностью симпатоадреналовой и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой осей, а также клеточного иммунитета, анаболической направленностью процессов метаболизма и балансом энергообеспечения мышечной деятельности [165]. Концентрация донора метильных групп – SAM при типе адаптационной реакции «спокойная активация» была достоверно выше, чем при реакциях «переактивация», «повышенная активация» и «хронический стресс» ($p < 0,05$).

В случаях возникновения реакции «переактивация» создается угроза перенапряжения той или иной ведущей системы организма, в результате он пытается сохранить напряженную ответную реакцию в ответ на стресс без срыва адаптации, то есть перехода в реакцию «хронический стресс». В этом случае чрезмерная интенсификация тренировочного процесса, направленная на достижение определенных морфофункциональных перестроек в системах или мобилизацию организма с целью проявления предельного уровня работоспособности, становится невозможной [165]. На основании полученных данных нами предложена экспериментальная шкала оценки иммунного статуса биатлонистов высокого класса, проиллюстрированная на рисунке 2.22.

Определение типа адаптационной реакции под воздействием физических нагрузок с использованием SII может служить полезным инструментом оценки адекватности и переносимости тренировочных воздействий, процессов восстановления, а также прогнозирования возникновения утомления и повышенного риска восприимчивости спортсменов к инфекциям при различных типах адаптационных реакциях у спортсменов. Дополнительный контроль над состоянием иммунной системы в сочетании с традиционным биохимическим мониторингом в условиях тренировочного процесса может позволить более точно оценивать текущее функциональное состояние организма и прогнозировать угрозу срыва адаптации на ранних стадиях.

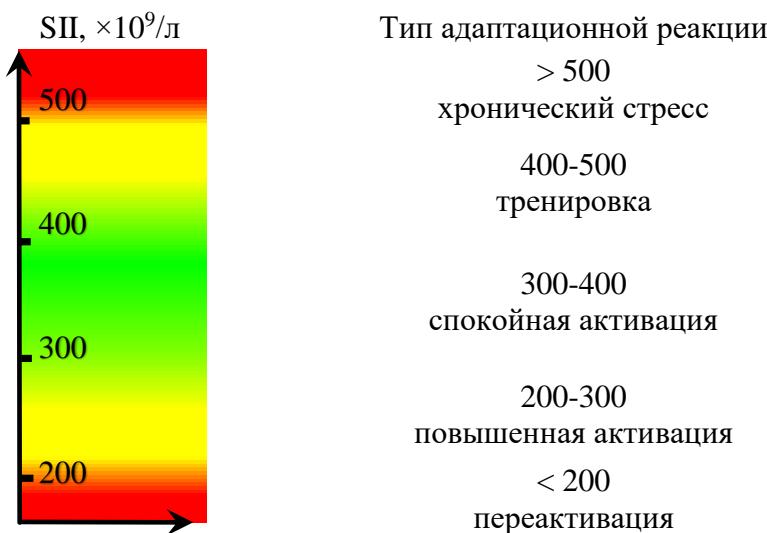


Рисунок 2.22 – Шкала оценки иммунного статуса

Важно подчеркнуть, что маркеры клеточного интегративного иммунитета являются индикаторами воспаления, отражающими клеточные изменения в кровотоке. В отличие от маркеров повреждения мышечной ткани, таких как КФК, они не позволяют оценить возникновение повреждения тканей или связанные с ними процессы восстановления. Следовательно, маркеры клеточного интегративного иммунитета следует рассматривать в качестве показателей общего воспаления при различных типах адаптационной реакции организма на нагрузки.

2.2.5 Маркеры активности центральной нервной системы

Нервная система, наряду с гормональной, представляет собой важный медиатор физиологической адаптации организма к различным стрессорам. Выполнение интенсивных упражнений активирует различные адаптивные процессы в ЦНС: аффективные, физиологические, биохимические и когнитивно-поведенческие реакции, преследующие цель восстановления и поддержания гомеостатического баланса организма. Гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая ось и симпатоадреналовая система реагируют на стрессовую реакцию во время выполнения физических нагрузок посредством высвобождения в кровяное русло нейротрансмиттеров – катехоламины и серотонин. Для изучения реакций организма биатлонистов на тренирующие воздействия нами были измерены концентрации нейромедиаторов в крови спортсменов, отобранный во время проведения этапного комплексного контроля. Концентрацииmonoаминов использовали в качестве предикторов активации симпатоадреналовой, серотонинергической и дофаминергической систем организма в ответ на выполненные на предшествующем этапе подготовки нагрузки [185].

Статистические параметры выборки результатов определения нейротрансмиттеров, измеренных в плазме и сыворотке биатлонистов при проведении этапного комплексного

контроля на различных этапах подготовки и в течение подготовительного периода, представлены в таблице 2.14. На рисунке 2.23 приведена помесячная динамика среднегрупповых концентрацийmonoаминов в крови биатлонистов. Рассчитанные референтные интервалы маркеров активности ЦНС у высококвалифицированных биатлонистов в независимости от этапа подготовки находились в пределах соответствующих физиологических норм.

Наблюдалось достоверное увеличение среднегрупповой концентрации адреналина в группе спортсменов при переходе от ОПЭ к СПЭ ($p < 0,05$), а его содержание на ПСЭ было достоверно ниже по сравнению с СПЭ ($p < 0,05$). Уровень адреналина в группе биатлонистов в сентябре был достоверно выше по сравнению с остальными месяцами подготовительного периода ($p < 0,05$), а его содержание в августе было достоверно выше, чем в октябре ($p < 0,05$).

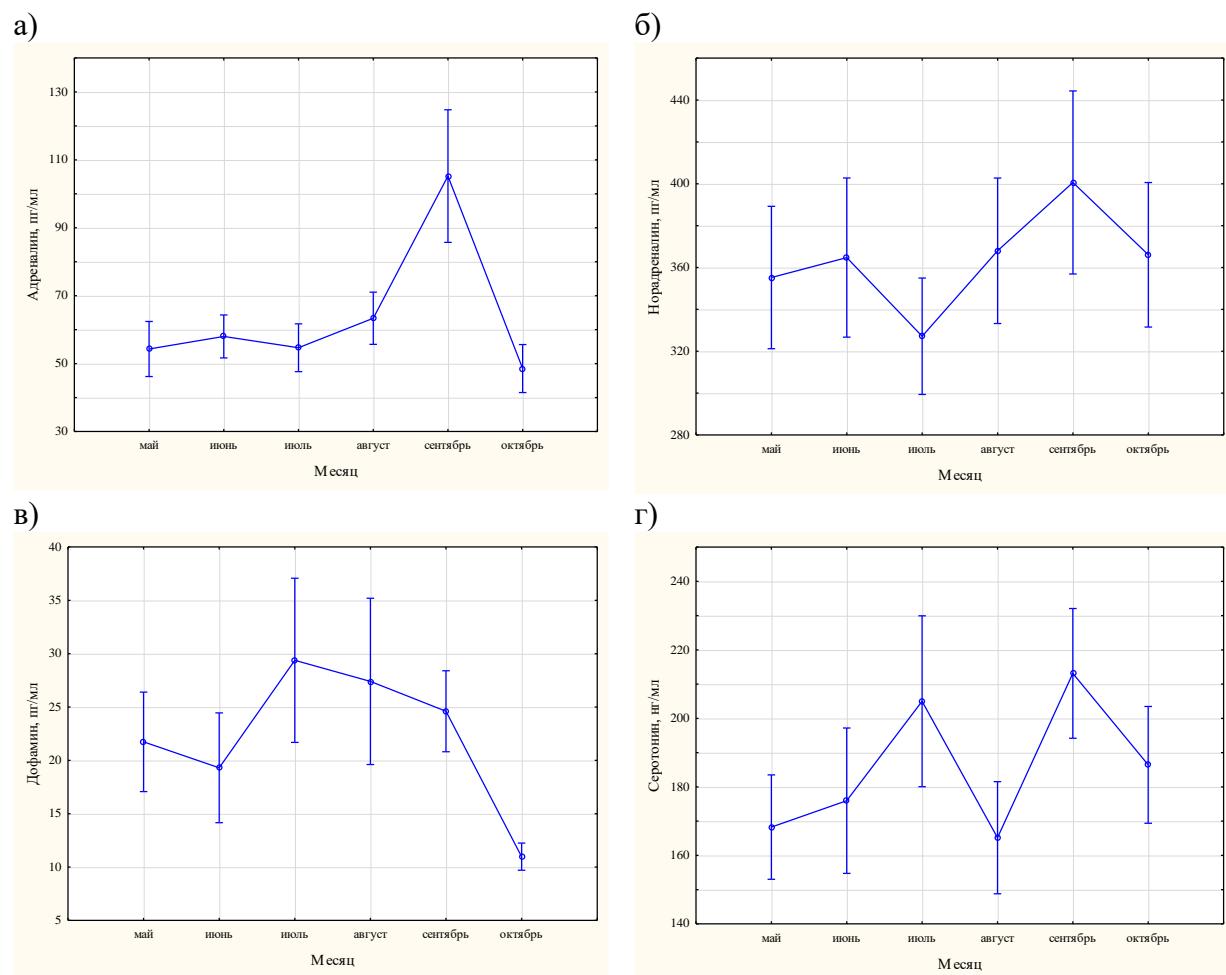


Рисунок 2.23 – Динамика концентраций маркеров активности ЦНС, измеренных в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Таблица 2.14 – Статистические параметры выборки концентраций маркеров активности ЦНС, измеренных в крови биатлонистов высокого класса (n=23) на различных этапах подготовительного периода годичных макроциклов (2021-2022 и 2022-2023 гг.) при проведении этапного комплексного контроля

Маркер	Этап	n	Концентрация					Норма	
			по этапу		по периоду (n=258)				
			$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	min	max	референтный интервал		
Адреналин, пг/мл	ОПЭ	80	55.2±22.8*	61.7±30.5	14.5	172.3	19.3 (90 % ДИ 16.1-22.6) – 144.8 (90 % ДИ 141.6-148.0)	10 – 200	
	СПЭ	130	70.6±34.8**						
	ПСЭ	48	48.8±21.0#						
Норадреналин, пг/мл	ОПЭ	80	353.4±98.1	359.2±99.5	128.2	621.3	189.6 (90 % ДИ 179.0-200.2) – 560.3 (90 % ДИ 549.7-570.9)	80 – 550	
	СПЭ	130	361.5±101.5						
	ПСЭ	48	362.9±98.0						
Дофамин, пг/мл	ОПЭ	80	19.8±12.0*&	21.4±15.8	2.5	84.6	5.2 (90 % ДИ 3.5-6.9) – 72.2 (90 % ДИ 70.6-73.9)	5.6 – 44.0	
	СПЭ	130	25.9±18.5**						
	ПСЭ	48	10.7±3.3#&						
Серотонин, нг/мл	ОПЭ	80	170±49*	183±54	83	338	91 (90 % ДИ 86-97) – 304 (90 % ДИ 298-309)	50 – 220	
	СПЭ	130	191±56*						
	ПСЭ	48	186±52						

Примечание – *, #, & – различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Статистически достоверных различий содержания норадреналина, измеренного в крови биатлонистов на различных этапах подготовительного периода, не выявлено ($p > 0,05$), наименьшая среднегрупповая концентрация гормона была зафиксирована на ОПЭ. В динамике среднегрупповой концентрации норадреналина в рассматриваемый период подготовки отмечен выраженный волнобразный характер – в начале СПЭ (июль) она была минимальной и достоверно ниже, чем в сентябре ($p < 0,05$). Максимальная концентрация в группе биатлонистов была зафиксирована в сентябре, при переходе от СПЭ к ПСЭ она снижалась, но лишь на уровне тенденции ($p > 0,05$) [185].

Среднегрупповое содержание дофамина в крови биатлонистов на СПЭ было достоверно выше по сравнению с таковыми, измеренным на ОПЭ и ПСЭ ($p < 0,05$). Динамика уровня дофамина также имела волнобразный характер, в среднем по группе его содержание на ОПЭ (май-июнь) было достоверно ниже такового, измеренного в июле-августе ($p < 0,05$), тогда как достоверных отличий в рамках самого СПЭ обнаружено не было ($p > 0,05$). Минимальная концентрация дофамина в группе спортсменов зафиксирована в октябре, она была достоверно ниже по сравнению с таковым, измеренными на ОПЭ и ПСЭ ($p < 0,05$) [185].

Выявлено достоверное увеличение среднегрупповой концентрации серотонина при переходе от ОПЭ к СПЭ ($p < 0,05$), а к концу подготовительного периода она имела некоторую тенденцию к снижению, не достигающую, однако, достоверной величины ($p > 0,05$). Динамика изменения концентрации серотонина в подготовительном периоде характеризуется наличием двух пиков: первый пик пришелся на начало СПЭ (июль), когда содержаниеmonoамина было достоверно выше по сравнению с предыдущим этапе подготовки (май-июнь) и с августом ($p < 0,05$); второй пик отмечается в конце СПЭ (сентябрь). В этом месяце зафиксирована максимальная концентрация серотонина в подготовительном периоде, которая была достоверно выше, чем на предыдущем этапе подготовки (май-июнь), ПСЭ и середине СПЭ (август) ($p < 0,05$) [185].

Максимальные уровни адреналина, норадреналина и серотонина зафиксированы после проведения спортсменами учебно-тренировочного мероприятия в условиях среднегорья (сентябрь). Изменения концентраций нейротрансмиттеров указывают на то, что выполнение высокого объема (4.1 %) циклических нагрузок высокой интенсивности в сентябре (IV-V пульсовые зоны), создающего в организме так называемую «гипоксию нагрузки», в сочетании с естественными гипоксическими условиями горной местности обладают наивысшим стрессогенным воздействием на организм спортсменов в рамках подготовительного периода. Также следует отметить, что стресс-реакция (высвобождение monoаминовых нейромедиаторов) организма биатлонистов высокой квалификации в ответ

на циклические нагрузки низкой и высокой интенсивности, применяемые в различных комбинациях на ОПЭ и СПЭ, носила индивидуальный характер. У ряда спортсменов в начале подготовительного периода наблюдалась повышенная концентрация адреналина, что может рассматриваться в качестве естественной адаптационной реакции на повышенный объем низкоинтенсивных нагрузок. После того, как на СПЭ за счет комбинации низко- и высокоинтенсивной циклической нагрузки сила тренирующих воздействий на мышцы увеличилась, уровень адреналина у отдельных биатлонистов скачкообразно увеличивался, сигнализируя о чрезмерной нагрузке на организм. При этом у других испытуемых уровень гормона, напротив, несколько снизился, что свидетельствует об их высоком уровне адаптированности к предлагаемым нагрузкам, достигнутом во время предшествующего этапа подготовки. Следует отметить, что у одного биатлониста отмечалось стабильное снижение уровня адреналина в крови на всем протяжении ОПЭ. Данное наблюдение может указывать на недостаточную силу тренировочных воздействий, применяемых по отношению к данному спортсмену. Однако в дальнейшем на протяжении СПЭ, то есть по мере увеличения интенсивности аэробной нагрузки, уровень адреналина в крови данного спортсмена повышался [185].

Обращает на себя внимание разнонаправленный характер реакции катехоламинов (адреналина и норадреналина) на нагрузку каждого этапа подготовительного периода. Так повышение уровня адреналина сопровождалось снижением концентрации норадреналина, и, наоборот. Однако в сентябре, когда гипоксические условия среднегорья сочетались с выполнением большого объема циклической работы высокой интенсивности, у всех биатлонистов зафиксировано повышение концентраций адреналина и норадреналина. Возможно, сочетание низко- и среднеинтенсивной циклической нагрузки, выполняемой в нормоксических условиях на ОПЭ и СПЭ (апрель-август), не обладает значительной стрессогенностью на организм спортсменов относительно сентября. Соответственно, с апреля по август предельной мобилизации симпатоадреналовой системы не требуется, что объясняет разнонаправленную динамику концентраций гормонов [185].

Активация дофаминергической системы приходилась на первый месяц ОПЭ (май) и продолжалась в течение всего СПЭ, а серотонинергической – в начале (июль) и конце (сентябрь) СПЭ, проводимого в условиях среднегорья. Увеличение концентрации дофамина приводит к увеличению физической работоспособности, тогда как активация серотонинергической системы, напротив, к ее снижению [185]. Кроме того, увеличение уровня последнего сопровождается колебаниями настроения, самочувствия, желания тренироваться и завышенному субъективному восприятию тяжести нагрузки [186]. Согласно «гипотезе центрального утомления», основанной на взаимосвязи между

серотонином и дофамином, утомление возникает из-за повышения серотонинергической активности и понижения дофаминергической [187].

Принимая во внимание тот факт, что дофамин является нейротрансмиттером, ответственным за мотивацию и обучение двигательным действиям на основе формирования необходимых моторных программ, определяющих эффективность техники соревновательного упражнения, можно отметить, что в рамках ОПЭ его уровень у всех биатлонистов снижался.

С одной стороны, это может говорить о накапливающемся утомлении и/или монотонии, вызванной однообразием двигательных заданий и большим объемом стереотипных циклических упражнений. С другой стороны, известно, что дофамин способствует фильтрации ошибок в технике движений, подсказывая нервной системе в каком направлении осуществлять моторные коррекции. Соответственно, вполне возможно, что накапливающееся утомление, о чем указывает рост серотонина, снижает эффективность совершенствования технике движения, о чем пойдет речь в следующих разделах книги.

В то же время, нельзя исключать и того факта, что применение упражнений с невысоким уровнем координационной сложности, сигнализируют через дофамин об их незначительном обучающем воздействии на спортсмена. Не исключено, что применяемые на ОПЭ физические упражнения хорошо освоены высококвалифицированными спортсменами и не требуют обучения с воздействием высших отделов ЦНС, то есть выполняются автоматизированно и с минимальной сознательной фиксацией ошибок [185].

На СПЭ среднегрупповая концентрация дофамина повышалась, вероятно, по причине того, что применяемые на данном этапе подготовки более специфичные по биомеханике физические упражнения обладают повышенной координационной сложностью для ЦНС. Как будет показано далее, в этот период спортсмены существенно улучшают технику движений на лыжероллерах. Во второй части СПЭ, когда наблюдается кумуляция утомления нервной и мышечной системы, уровень дофамина снижается, а в технике техники движений спортсмена возрастает количество технических ошибок. Вместе с повышенным уровнем дофамина, зафиксированным на СПЭ, то есть в процессе тренировки «обучаемого» предлагаемым упражнениям, наблюдалось повышение содержания серотонина как нейромедиатора, снижающего мотивацию и верхний порог субъективного восприятия тяжести нагрузки.

С одной стороны, повышение дофамина и серотонина в июле и сентябре отражает предельную мобилизацию психомоторики спортсменов с целью адаптации к предлагаемым тренировочным нагрузкам, с другой стороны, указывает на сложности ЦНС спортсменов в

совершенствовании моторных программ специализированных движений в таких условиях, поскольку уровень серотонина как тормозного нейромедиатора существенно возрастает. Следовательно, серотонин препятствовал ЦНС формировать и совершенствовать моторные программы специализированных движений. В сентябре при одновременном применении высококоординационных специализированных упражнений, большого объема циклической нагрузки высокой интенсивности и в условиях гипоксии зафиксировано снижение концентрации дофамина на фоне высокого содержания серотонина в крови биатлонистов. Следовательно, можно предположить, что длительное обучение ЦНС привело к снижению резервов дофамина и не позволило спортсменам предельно мобилизовать функциональные резервы психики с целью адаптации (обучения) к новым условиям среды в сентябре. Соответственно, процесс совершенствования спортсменами моторных программ соревновательного движения в этот период может быть неэффективным и в дальнейшем может негативно отразиться на уровне спортивно-технического мастерства и соревновательной готовности [185].

2.2.6 Маркеры кислородтранспортной системы

В циклических видах спорта на выносливость внутримышечная аэробная система является ведущим звеном механизма энергетического обеспечения мышечной работы, эффективность которой во многом зависит от мощности функционирования кислородтранспортной системы, определяемой составом компонентов крови. Существует множество механизмов, способствующих увеличению снабжения тканей кислородом во время выполнения физических упражнений. Повышенная потребность скелетных мышц в кислороде преимущественно компенсируется увеличением мышечного кровотока (путем увеличения сердечного выброса) и модуляцией распределения кровотока между активными и неактивными органами, поддерживающейся опосредованной эритроцитами выработкой эндотелиального оксида азота, а также оптимизацией микроциркуляции. При любом капиллярном кровотоке количество кислорода, высвобождаемого из гемоглобина в клетки работающих мышц, может быть значительно увеличено посредством снижения сродства гемоглобин-кислород. Это происходит при попадании клеток в капилляры, снабжающие мышечные клетки, где они подвергаются воздействию повышенной температуры, протонов и углекислого газа. Тренировочный стимул дополнительно усиливает поток кислорода к работающим мышцам на всех уровнях регуляции, увеличивая максимальный сердечный выброс, приток крови к мышцам за счет стимуляции васкуляризации и улучшая реологические свойства эритроцитов. Физические нагрузки благодаря стимуляции эритропоэза увеличивают общую массу гемоглобина и, как следствие, количество переносимого кровью кислорода, а также содержание эритроцитарного 2,3-

дифосфоглицерата, повышающего сродство гемоглобин-кислород к зависимому от закисления высвобождению кислорода.

Статистический анализ содержания гемоглобина, измеренного в цельной крови биатлонистов высокой квалификации в рамках подготовительного периода годичных макроциклов (2021-2022 и 2022-2023 гг.) при проведении этапного комплексного контроля, выявил статистически значимые различия между ОПЭ и последующими ($p < 0,05$). Динамика концентрации гемоглобина, измеренной в крови биатлонистов высокого класса, в подготовительном периоде годичного макроцикла представлена на рисунке 2.24.

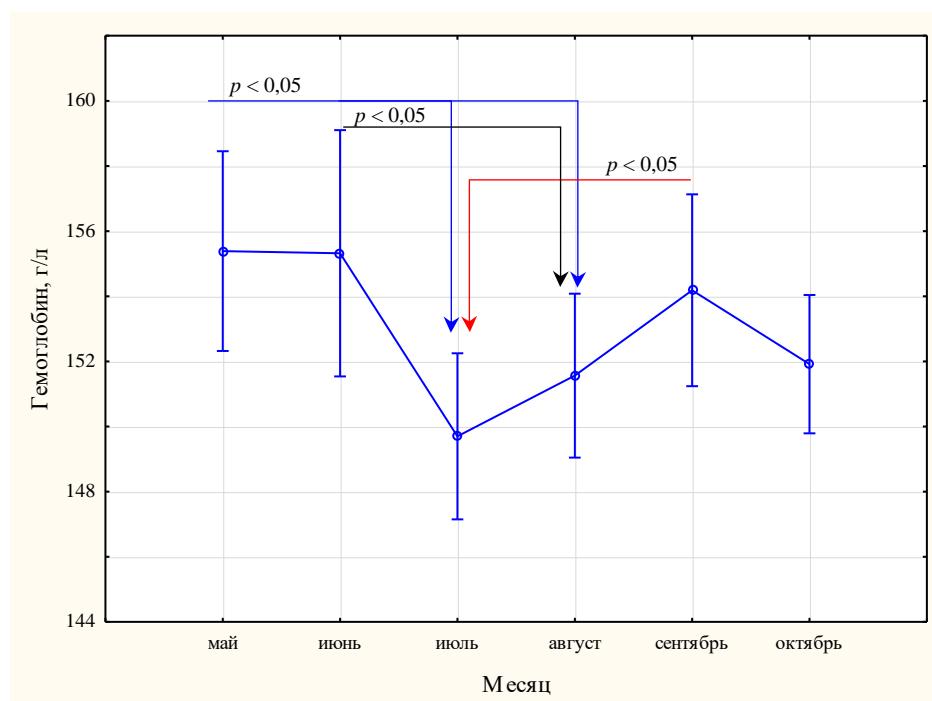


Рисунок 2.24 – Динамика концентрации гемоглобина, измеренной в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

В динамике среднегрупповой концентрации гемоглобина в подготовительном периоде подготовки отмечен выраженный волнообразный характер: первый пик зафиксирован на ОПЭ (май-июнь), в начале СПЭ (июль-август) его содержание было наименьшим за весь период наблюдения и достоверно ниже, чем на ОПЭ ($p < 0,05$); второй максимум отмечается после проведения учебно-тренировочных мероприятий в условиях среднегорья и высокогорья – концентрация гемоглобина, измеренная в сентябре, была достоверно выше по сравнению с таковой, измеренной в июле ($p < 0,05$). Среднегрупповая концентрация гемоглобина к концу подготовительного периода (октябрь) тенденциозно снижалась относительно предыдущего месяца, не достигая, однако, достоверной величины ($p > 0,05$). Уровень гемоглобина в крови биатлонистов в течение всего периода наблюдения варьировался в верхней зоне клинической нормы для мужчин (132 – 173 г/л) со

среднегрупповой концентрацией на уровне 153 ± 9 г/л, референтный интервал составил 136 (90 % ДИ 135-137) – 171 (90 % ДИ 170-172) г/л.

Динамика гематокрита – показателя оценки дыхательных возможностей крови и ее реологических свойств, в ходе подготовительного периода годичного макроцикла имела волнообразный характер (рисунок 2.25).

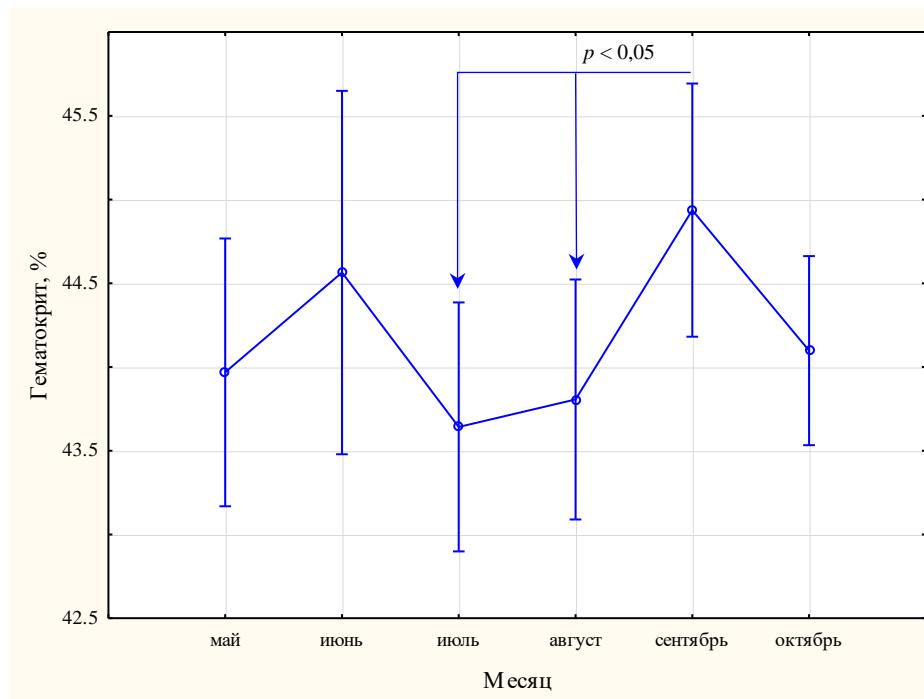


Рисунок 2.25 – Динамика гематокрита, измеренного в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

При переходе от ОПЭ к СПЭ отмечается тенденция к снижению среднегруппового гематокрита у спортсменов. В начале СПЭ (июль-август) зафиксировано наименьшее значение рассматриваемого гематологического показателя за весь период исследования, которое было достоверно ниже по сравнению с окончанием проведения учебно-тренировочного мероприятия в условия среднегорья и высокогорья (сентябрь) ($p < 0,05$). Снижение среднегруппового гематокрита при переходе от СПЭ к ПСЭ происходило на уровне тенденции ($p > 0,05$), что, возможно, связано с увеличением объема плазмы. Достоверных различий между содержанием гематокрита в крови высококвалифицированных биатлонистов в рамках этапов подготовительного периода не выявлено. Представленные в литературе данные об уровне гематокрита у спортсменов и лиц, ведущих малоподвижный образ жизни, противоречивы. Во многих исследованиях, включая [188, 189], показано, что его уровень в крови спортсменов ниже по сравнению с малотренированными группами населения. Однако в некоторых работах, например, [190, 191], сообщается о превышении гематокрита у спортсменов общепопуляционных норм,

приводящему к увеличению вязкости крови, влекущему за собой высокое сопротивление потоку, рост выходной мощности сердца при заданном сердечном выбросе и способному ухудшить локальный кровоток. Среднегрупповой гематокрит биатлонистов находился на уровне $44.1 \pm 2.4 \%$, а рассчитанный референтный интервал составил 39.7 (90 % ДИ 39.4-40.0) – 48.4 (90 % ДИ 48.1-48.7) %, что согласуется с клинической нормой для здоровой мужской популяции (39.0 – 49.0 %).

Различий в исследованных нами гематологических показателях (гемоглобин и гематокрит) у элитных биатлонистов и субъектов мужского пола, не занимающихся спортом на профессиональном уровне, обнаружено не было. На основании полученных данных можно отметить, что характер изменений был одинаковым у всех спортсменов и зависел только от интенсивности упражнений. При более низкой интенсивности нагрузки изменений концентрации гемоглобина и гематокрита не наблюдалось. Однако при смещении интенсивности циклических средств подготовки в сторону использования высокоинтенсивных нагрузок и после проведения учебно-тренировочного мероприятия в условия среднегорья и высокогорья отмечалось увеличение значений рассматриваемых показателей крови.

Основными физиологическими функциями эритроцитов являются перенос кислорода и углекислого газа из легких к сокращающимся мышцам и органам, а также контроль кислотно-щелочного баланса. Кроме того, они участвуют в метаболизме оксида азота, влияют на реологические свойства крови и ее вязкость, выполняют эритокринную функцию, высвобождая огромное количество АТФ и других биоактивных молекул [192], что активизирует расширение кровеносных сосудов и усиливает кровоток через работающие мышцы. Помимо этого, эритроциты, как транспортеры гемоглобина, необходимы для поддержания последним постоянства рН крови, осуществляемого посредством комбинированного транспорта углекислого газа и ионов водорода в форме бикарбонат-ионов. Между концентрациями гемоглобина и эритроцитов в крови высококвалифицированных биатлонистов наблюдалась высокая корреляционная взаимосвязь ($r = 0.87$; $p < 0,05$), поэтому динамика содержания красных кровяных клеток была идентичной динамике гемоглобина. Содержание эритроцитов на ОПЭ была достоверно выше, чем на СПЭ и ПСЭ ($p < 0,05$): на ОПЭ – $5.12 \pm 0.31 \times 10^{12}/\text{л}$, СПЭ – $4.99 \pm 0.31 \times 10^{12}/\text{л}$, ПСЭ – $5.00 \pm 0.26 \times 10^{12}/\text{л}$. Минимальная среднегрупповая концентрация красных кровяных клеток зафиксирована в начале СПЭ (июль), она была достоверно ниже таковой, измеренной на ОПЭ (май, июнь) и в конце СПЭ (сентябрь) ($p < 0,05$).

Несомненный интерес представляет рассмотрение динамики некоторых эритроцитарных индексов – среднего объема клеток и средней концентрации в них

гемоглобина. Эритроциты располагаются в кровотоке друг за другом и будучи высокодеформируемыми способны проходить через капилляры различного сечения (которые, особенно в микроциркуляторном русле, меньше размера клеток), обеспечивая оптимальную диффузию кислорода [193]. Важнейшей характеристикой эритроцитов является их возраст, определяющий средний объем и, как результат, деформируемость. Старые и высокоплотные красные кровяные клетки по сравнению с молодыми эритроцитами низкой плотности менее деформируемы, это обусловлено уменьшением их среднего объема. Молодые клетки, напротив, обладают наибольшим средним объемом и, следовательно, легче меняют свою форму. Более низкий средний возраст всей популяции может привести к более высокой деформируемости [194], что положительно влияет на улучшение микроциркуляции. Таким образом, процесс старения красных кровяных клеток сопровождается снижением их среднего объема и ухудшением деформируемости [195]. Показано, что снижение среднего объема и, следовательно, увеличение плотности клеток изменяет отношение поверхности к объему [196], наравне с геометрическими и механическими свойствами клеточной мембранны и цитоскелета, критически влияет на деформацию эритроцитов [197]. Снижение последней препятствует прохождению эритроцитов в микроциркуляторном русле, что способно привести к гипоксии работающих мышц во время выполнения длительных физических упражнений, а также к увеличению скорости разрушения красных клеток крови, негативно сказываясь на работоспособности спортсмена. Высокая деформируемость эритроцитов является основным фактором, определяющим снабжение работающих мышц кислородом, поскольку только высокодеформируемые эритроциты обеспечивают оптимальную перфузию кислорода [197, 198].

Помесячная динамика среднего объема эритроцитов в рамках подготовительного периода годичного макроцикла представлена на рисунке 2.26. В целом в группе спортсменов средний объем эритроцитов в крови увеличивался при переходе от ОПЭ (86.2 ± 2.6 фл) к СПЭ (88.5 ± 2.8 фл) ($p < 0,05$), достоверных различий между СПЭ и ПСЭ (88.2 ± 3.0 нг/мл) этапами не выявлено. Наименьший за весь период наблюдения средний объем эритроцитов зафиксирован в начале подготовительного периода (май), он был достоверно ниже по сравнению с последующими месяцами подготовки ($p < 0,05$).

Отмечено достоверное увеличение среднего объема эритроцитов при переходе от ОПЭ (июнь) к СПЭ (июль) ($p < 0,05$). В середине СПЭ (август) средний объем красных кровяных клеток был достоверно ниже, по сравнению с таковым, измеренным в начале (июль) и в конце (сентябрь) данного этапа ($p < 0,05$). К концу подготовительного периода (октябрь) среднегрупповое значение среднего объема эритроцитов снижалось, но лишь на

уровне тенденции ($p > 0,05$). Средний объем эритроцитов у высококвалифицированных биатлонистов не выходил за пределы физиологической нормы для мужчин (80-95 фл), однако референтный интервал представлен более узким диапазоном 82.6 (90 % 82.3-82.9) – 93.6 (90 % 93.3-93.9) фл.

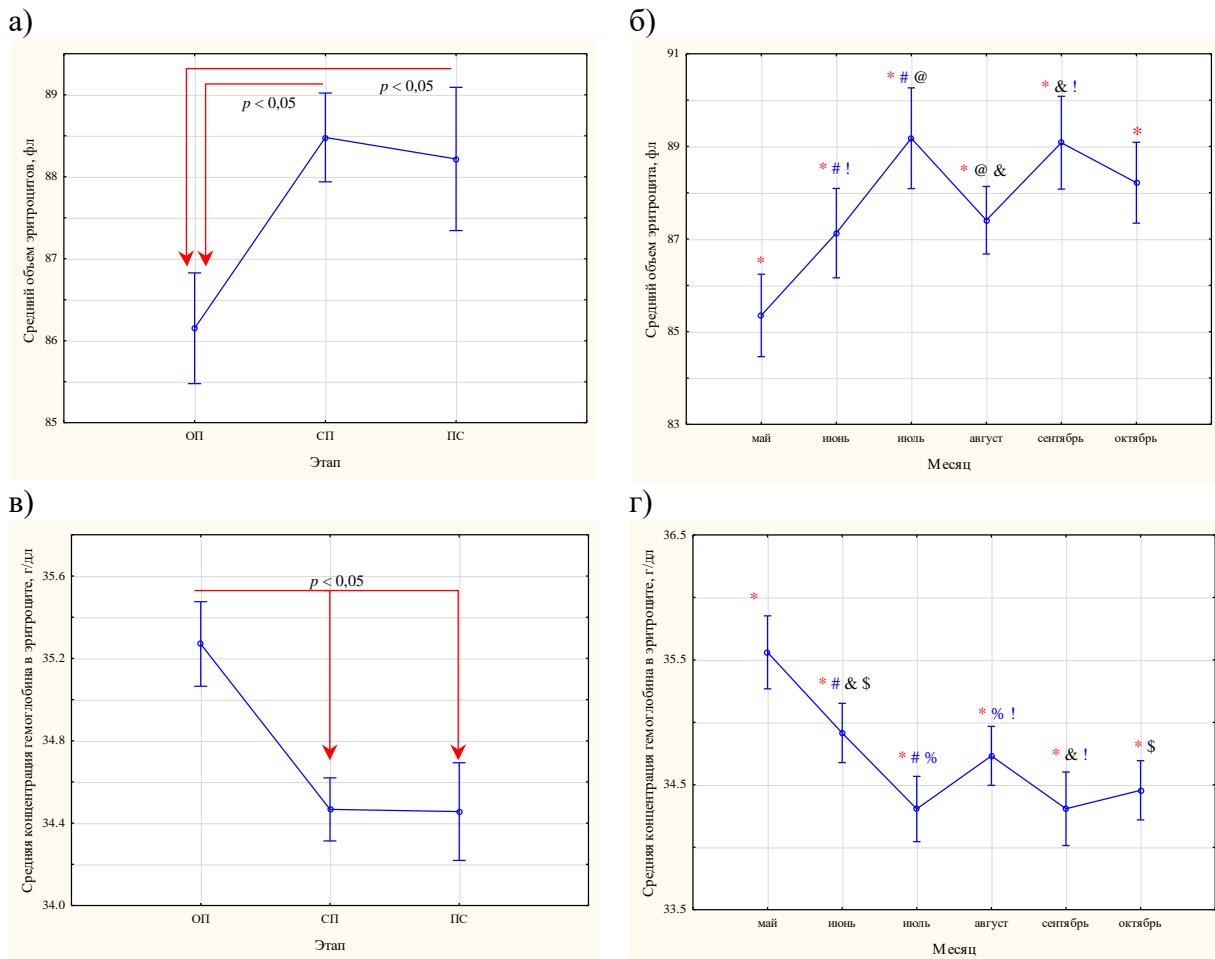


Рисунок 1.55 – Динамика среднего объема эритроцитов и средней концентрации гемоглобина в эритроците, измеренных в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$): (а, в) этапы; (б, г) месяцы, где *, @, #, !, & – различия достоверны при уровне значимости $p < 0,05$

Динамика средней концентрации гемоглобина в эритроците (рисунок 1.55 (в, г)) является практически зеркальным отражением графика динамики среднего объема эритроцитов. На ОПЭ данный эритроцитарный индекс, измеренный в крови биатлонистов, был достоверно выше, чем на СПЭ и ПСЭ ($p < 0,05$): на ОПЭ – 35.3 ± 0.8 г/дл, СПЭ – 34.5 ± 0.8 г/дл, ПСЭ – 34.5 ± 0.8 г/дл. Максимальная за весь период наблюдения концентрация гемоглобина в эритроците приходилась на май и была достоверно выше относительно последующих месяцев подготовки ($p < 0,05$). Концентрация, зафиксированная в середине СПЭ (август), была достоверно выше по сравнению с началом (июль) и концом (сентябрь) данного этапа ($p < 0,05$). На ПСЭ (октябрь) среднегрупповая средняя концентрация

гемоглобина в эритроците тенденциозно увеличивалась, не достигая достоверной величины ($p > 0,05$).

Помимо среднего объема эритроцитов, на их деформируемость влияет концентрация переносимого ими гемоглобина [199]. Так, малый средний объем и высокая концентрация гемоглобина ассоциированы с повышенной жесткостью красных кровяных телец, ухудшающей микроциркуляторный кровоток, и, следовательно, увеличивая нагрузку на сердце. Высокий средний объем и низкая концентрация гемоглобина, напротив, способствуют увеличению деформируемости, что улучшает микроциркуляцию и, следовательно, доставку кислорода к тканям. Принимая во внимание тот факт, что средний возраст эритроцитов в крови спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость (бег на длинные дистанции) составляет 67.2 ± 22.2 дней [200], фактически в начале подготовительного периода средний объем эритроцитов и концентрация в них гемоглобина отражают как ретроспективную (отставленную) реакцию гемореологической системы организма на выполненную нагрузку в марте и апреле, так и ее текущее состояние. В начале марта у биатлонистов заканчивается соревновательный период (этап поздних стартов), после которого следует восстановительный мезоцикл продолжительностью до 28 дней, преследующий цель психоэмоционального и физического восстановления спортсмена перед подготовкой к следующему сезону. На основании анализа динамики среднего объема эритроцитов и концентрации гемоглобина в них, измеренных в крови биатлонистов в рамках подготовительного периода, в сочетании с динамикой основных параметров тренировочной нагрузки можно сделать вывод о том, что гемореологическая подготовленность, характеризующаяся уменьшением вязкости крови, сниженной агрегацией и повышенной деформируемостью эритроцитов, ассоциируется со смещением направленности аэробных нагрузок в сторону высокоинтенсивных двигательных режимов, что согласуется с ранее опубликованными данными [201].

Регулярно выполняемые спортсменами физические тренировки увеличивают не только массу эритроцитов и их средний объем за счет более молодой популяции клеток [202, 203, 204, 205], но и эритропоэз в целом [206]. Фактически, упражнения, способствующие гиперплазии костного мозга [207], способны снижать уровень циркулирующих провоспалительных цитокинов [208] и изменять сродство и концентрацию рецепторов эритропоэтина [209]. Изменения гормонального профиля (тестостерона, гормона роста и, особенно, инсулиноподобного фактора роста) в ответ на физическую нагрузку могут стимулировать выработку эритроцитов и, следовательно, повышать долю молодых эритроцитов в кровотоке, что объясняет увеличение среднего объема эритроцитов

с одновременным снижением средней концентрации в них гемоглобина и, как результат, повышение деформируемости красных клеток крови.

При анализе и оценке сочетания параметров нагрузок, направленных на совершенствование силовых качеств и повышение уровня выносливости биатлонистов высокой квалификации на этапах подготовительного периода выявлено, что в общем объеме циклических средств подготовки в рамках данного периода преобладают беговые нагрузки (бег, бег с палками) – на ОПЭ их доля составляет 58 %, СПЭ – 62 % и ПСЭ – 66 %. Такие нагрузки вызывают гораздо большее утомление и повреждение мышц в единицу времени, чем локомоции, обладающие меньшей ударной нагрузкой на опорно-двигательный аппарат (езды на велосипеде, гребля, передвижение на лыжах или лыжероллерах). Высокий оборот эритроцитов, достигаемый за счет увеличения молодой популяции, от ОПЭ к ПСЭ, возможно, также является результатом внутрисосудистого гемолиза, как результата сжатия капилляров большими группами мышц и гемолиза при ударе ногой. Вероятно, большие объемы тренировок связаны с внутрисосудистым гемолизом преимущественно старых и жестких эритроцитов, увеличивая их оборот посредством омоложения популяции.

Динамика изменения содержания ретикулоцитов, отражающих регенераторную способность костного мозга, у биатлонистов в рамках этапов подготовительного периода приведена на рисунке 2.26.

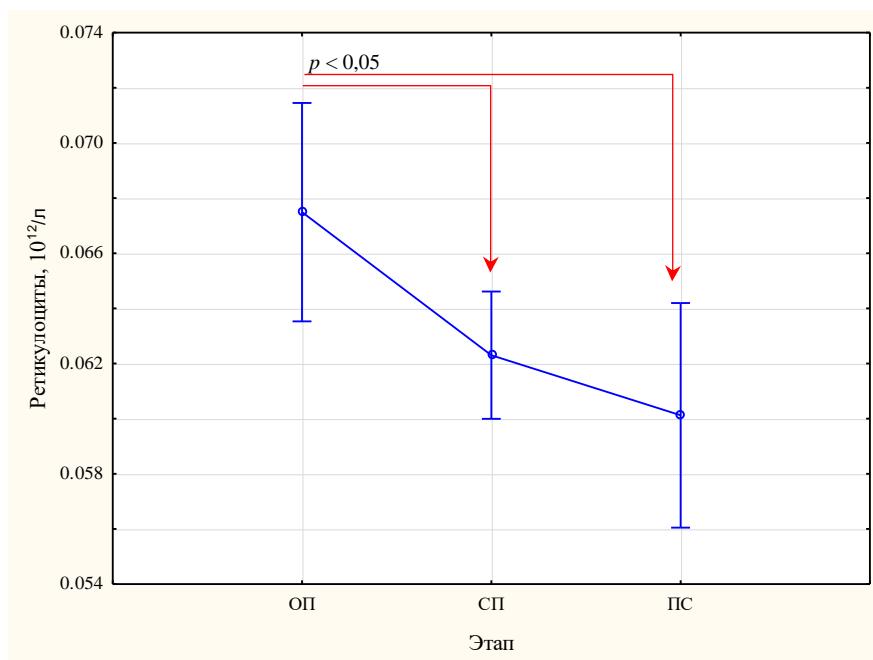


Рисунок 2.26 – Динамика концентрации ретикулоцитов, измеренного в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) на этапах подготовительного периода годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Содержание ретикулоцитов в периферической крови спортсменов на ОПЭ было достоверно выше, чем на СПЭ и ПСЭ ($p < 0,05$), в то время как статистически значимых различий между СПЭ и ПСЭ обнаружено не было ($p > 0,05$). Среднегрупповые концентрации ретикулоцитов на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ составили $0.0675 \pm 0.0153 \times 10^{12}/\text{л}$, $0.0624 \pm 0.0122 \times 10^{12}/\text{л}$ и $0.0601 \pm 0.0140 \times 10^{12}/\text{л}$, соответственно. Максимальная за весь период проведения исследования концентрация ретикулоцитов приходилась на начало ОПЭ (май) и была достоверно выше по сравнению с последующими месяцами подготовки ($p < 0,05$). Достоверное снижение данного гематологического показателя зафиксировано в конце СПЭ (сентябрь) ($p < 0,05$). Изменение уровня ретикулоцитов в крови умеренно коррелировало с изменением концентраций гемоглобина и эритроцитов. Коэффициент линейной корреляции Спирмена между количеством клеток эритроидного ряда и гемоглобином составил 0.45, а между ретикулоцитами и эритроцитами – 0.30. Необходимо отметить, что, во-первых, в течение всего периода наблюдения флуктуации содержание гемоглобина, эритроцитов и ретикулоцитов обладали схожей направленностью, а, во-вторых, изменения концентрации ретикулоцитов наравне с прочими показателями крови, находились в пределах общепопуляционных норм для мужчин.

Ретикулоцитарный индекс, использующийся для оценки активности производства эритроцитов, рассчитывали по формуле (5).

Формула расчета ретикулоцитарного индекса:

$$\text{Ret Ind} = \frac{\text{RET\%} \cdot 1.85}{\text{HCT} \cdot 45} \quad (5)$$

где

Ret Ind – ретикулоцитарный индекс, усл. ед.;

RET% – относительное содержание ретикулоцитов, %;

HCT – гематокрит, %.

В целом по подготовительному периоду годичного макроцикла в группе биатлонистов наблюдали отрицательный тренд ретикулоцитарного индекса. При анализе среднегруппового индекса достоверных различий между ОПЭ (2.39 ± 0.54 усл. ед.) и СПЭ (2.27 ± 0.44 усл. ед.) этапами не выявлено, однако на ПСЭ (2.18 ± 0.50 усл. ед.) данный расчетный параметр был достоверно ниже по сравнению с ОПЭ ($p < 0,05$). В целом по группе активность производства эритроцитов в ответ на нагрузки во временной перспективе этапов подготовительного периода снижалась на 8.4 %.

2.2.7 Маркеры энергообеспечения мышечной деятельности

Основным источником энергообеспечения мышечной деятельности, накапливаемым в печени и скелетных мышцах, является гликоген, который под действием

специфических ферментов расщепляется с высвобождением молекул глюкозы – исходного звена гликолитического пути. В отличие от жиров и белков, вовлекаемых в механизм энергообеспечения при определенных условиях, глюкоза – единственный энергетический субстрат в организме человека, функционирующий исключительно для обеспечения клеток энергией. В результате непрерывного расходования уровень глюкозы должен поддерживаться постоянным как за счет разрушения гликогена, так и благодаря поступлению с пищей и напитками.

Содержание глюкозы во время продолжительных тренировок зависит от энергетического статуса организма, количества потребляемой пищи, интенсивности нагрузки и запасов гликогена. В рамках ОПЭ преобладающими по объему средствами тренирующих воздействий являются низкоинтенсивные нагрузки (I-II зоны интенсивности), для которых характерна низкая скорость передвижения с невысокой интенсивностью развивающегося мышечного напряжения. Энергообеспечение мышечной деятельности при выполнении такого рода упражнений осуществляется с участием жиров и в меньшей степени гликогена, высвобождающегося в кровоток в форме глюкозы и используемого скелетными мышцами в качестве субстрата окисления. Выполнение таких нагрузок на ежедневной основе не приводит к истощению гликогена в мышцах, следовательно, между тренировками его запасы успевают восстанавливаться.

На СПЭ для развития энергетики скелетных мышц используется, во-первых, значительный объем циклической нагрузки средней интенсивности (III зона интенсивности), направленной на повышение аэробных возможностей медленных и быстрых мышечных волокон. Во-вторых, околомаксимальный объем нагрузок высокой интенсивности (IV-V зоны интенсивности), ориентированных на повышение аэробных возможностей быстрых мышечных волокон и увеличение в них мощностей алактатного и анаэробно-гликолитического механизмов энергообеспечения. Такое сочетание нагрузок, выполняемых в низкоскоростном и высокоскоростном двигательном режимах, не позволяет запасам гликогена полностью восстанавливаться между тренировками, что подтверждается снижением содержанием глюкозы в крови спортсменов, отобранных в начале очередного тренировочного дня.

На ПСЭ подготовки используются средства тренирующих воздействий с аналогичными режимами работы мышц, однако в конце подготовительного периода по мере роста аэробных и силовых возможностей мышц наблюдается постепенная экономизация выполняемых циклических упражнений на фоне повышающейся мощности ресинтеза гликогена в печени и увеличение печеночного депо гликогена.

В совокупности вышеупомянутые факты обеспечивают постоянство достоверно высокого уровня глюкозы в крови спортсменов в состоянии покоя на ПСЭ по сравнению со предшествующим этапом подготовки ($p < 0,05$).

Статистический анализ содержания глюкозы, измеренного в крови биатлонистов высокого класса в рамках подготовительного периода годичных макроциклов при проведении этапного комплексного контроля, не выявил статистически значимых различий между этапами подготовки ($p > 0,05$). Средняя концентрация субстрата на всем протяжении подготовительного периода была стабильной и находилась в диапазоне 5.11 ± 0.64 мМ/л, референтный интервал составил 3.83 (90 % ДИ 3.76-3.90) – 6.44 (90 % ДИ 6.37-6.50) мМ/л.

Побочным продуктом окисления глюкозы является лактат, концентрация которого лежит в основе классификации зон энергообеспечения скелетных мышц и отражает интенсивность тренировочных упражнений. В рамках текущего контроля фиксация концентраций лактата в крови позволяет проводить оценку протекания срочных адаптационных процессов и развертывания механизмов энергообеспечения в организме спортсмена, а также служит основанием для коррекции тренировочного процесса, например, для изменения направленности средств тренирующих воздействий или двигательных режимов с целью повышения энергетического потенциала мышечных волокон. При этапном комплексном контроле лактат используется в качестве предиктора метаболической адаптации организма биатлонистов к выполненным на предшествующем этапе подготовки нагрузкам. Накопление лактата происходит, когда его выработка превышает митохондриальный клиренс, а чрезмерная аккумуляция ионов H^+ приводит к значительному снижению рН мышц до 6.2-7.0 [210]. Происхождение метаболического ацидоза все еще является предметом дискуссий, однако очевидным представляется тот факт, что напрямую он не связан с накоплением молочной кислоты. Одни ученые считают, что источником ионов H^+ выступает немитохондриальная циркуляция АТФ [211], другие на основании физико-химических принципов предполагают, что производимые с возрастающей гликогенолитической активностью анионы сильных кислот (а именно, лактата) для поддержания электронейтральности требуют увеличения общего положительного заряда, обеспечиваемого в первую очередь диссоциацией воды [212].

Динамика концентрации лактата в группе биатлонистов в рамках подготовительного периода годичного макроцикла представлена на рисунке 2.27. Статистический анализ концентрации лактата, измеренной в крови биатлонистов в рамках лабораторного обследования, не выявил достоверных отличий между этапами подготовительного периода ($p > 0,05$), однако зафиксирована тенденция к увеличению его среднегруппового значения при переходе от этапа к этапу. Так, среднегрупповая концентрация лактата на ОПЭ, СПЭ и

ПСЭ составила, соответственно, 1.51 ± 0.49 , 1.54 ± 0.53 и 1.58 ± 0.41 мМ/л. Наименьший за весь период наблюдения уровень лактата (1.34 ± 0.35 мМ/л) зафиксирован в конце подготовительного периода (июнь), он был достоверно ниже по сравнению с последующими месяцами подготовки ($p < 0,05$).

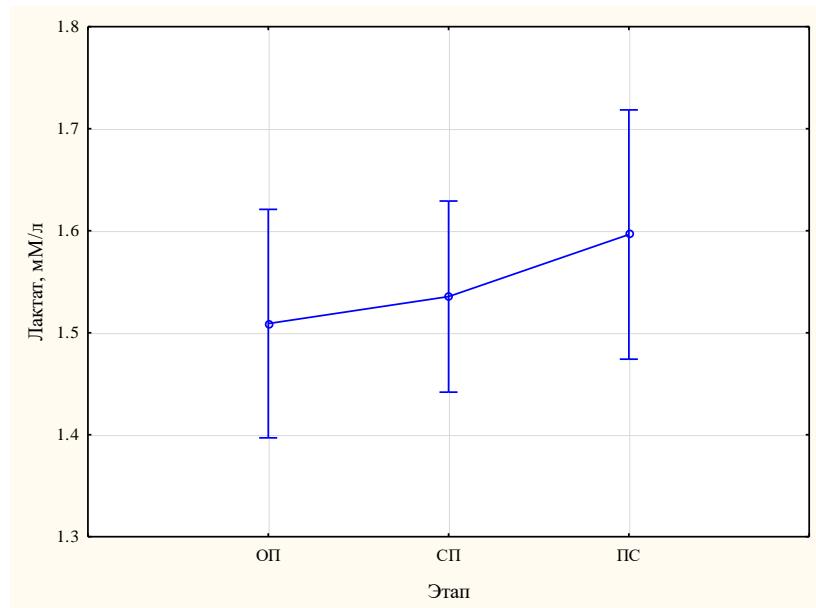


Рисунок 2.27 – Динамика концентрации лактата, измеренной в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Снижение рН крови также обусловлено увеличением концентрации лактата, приводящим к ацидозу. Смещение рН крови в сторону повышения концентрации ионов H^+ (так называемое закисление) за счет накопления продуктов, образующихся при анаэробном гликолизе, снижает скорость мышечных сокращений и вызывает значительное снижение пиковой сократительной способности мышц. При оценке коэффициентов корреляции ранговым методом Спирмена выявлена отрицательная двусторонняя корреляция между уровнем лактата и рН ($r = -0.30$; $p < 0,05$). На СПЭ (7.352 ± 0.029) по сравнению с началом (7.342 ± 0.028) и концом (7.343 ± 0.032) подготовительного периода зафиксировано достоверное смещение кислотно-щелочного баланса крови в сторону нормальной кислотности ($p < 0,05$).

Содержание лактата в периферической крови связано с уровнем глюкозы. При переходе от низкоинтенсивных аэробных нагрузок, используемых в качестве основных на ОПЭ, к тренирующим воздействиям средней и высокой интенсивности, применяемым на последующих этапах подготовительного периода, происходит активация анаэробного гликолиза и увеличение расходования гликогена в качестве источника энергообеспечения скелетных мышц. Используемые на СПЭ средства циклические нагрузки средней и высокой интенсивностей направлены на повышение мощности митохондриальной системы,

увеличение буферной емкости мышц и количества монокарбоксилатного транспортера лактата в быстрых мышечных волокнах. Результатом этих процессов являются повышение мышечной компенсации метаболического ацидоза и нормализация кислотности крови. Чрезмерная интенсификация тренировочного процесса на ПСЭ приводит к снижению мышечной компенсации метаболического ацидоза, создающему условия к снижению утилизации лактата, повышению его уровня в крови и, как следствие, смещению рН крови в кислую сторону. Концентрация лактата в крови спортсменов в состоянии покоя выше 1.5-1.6 мМ/л указывает на снижение мощности аэробных механизмов энергообеспечения в мышечных клетках и смещение энергетического баланса в сторону анаэробных механизмов, поэтому основной рекомендацией в данном случае является снижение интенсивности физических нагрузок на несколько дней.

Основным источником поступления свободных жирных кислот, используемых в качестве субстрата энергообеспечения мышечной деятельности, являются триглицериды, хранящиеся в жировой ткани и мышечных волокнах. Регуляция вовлечения этих энергетических субстратов в механизм энергообеспечения зависит от таких факторов как уровень подготовленности спортсмена, интенсивность и продолжительность физического стимула, питание и гормональная среда. Несмотря на совместное вовлечение жиров и углеводов в систему энергообеспечения скелетных мышц, их относительный вклад определяется различными факторами: физической нагрузкой, продолжительностью и интенсивностью нагрузки. При выполнении упражнений, направленных на развитие выносливости, аэробная система ввиду недостатка кислорода не способна поддерживать требуемый высокий уровень энергии в течение длительного периода времени. В этом случае основную роль в энергообеспечении скелетных мышц играет способность организма транспортировать, поглощать и окислять жиры.

Наибольшая концентрация триглицеридов в группе биатлонистов была зафиксирована на СПЭ, однако статистически достоверных различий его содержания между этапами подготовительного периода не выявлено ($p > 0,05$). Среднегрупповое содержание триглицеридов в крови биатлонистов на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ составило 1.16 ± 0.58 , 1.29 ± 0.63 и 1.16 ± 0.43 мМ/л, соответственно, а референтный интервал, рассчитанный для подготовительного периода, составил 0.53 (90 % ДИ 0.47-0.59) – 2.77 (90 % ДИ 2.71-2.83) мМ/л. Представленная на рисунке 2.28 динамика среднегруппового уровня триглицеридов в рассматриваемый период подготовки имеет выраженный волнообразный характер – максимальная концентрация зафиксирована в августе, она была достоверно выше по сравнению с началом ОПЭ (май) и концом СПЭ (сентябрь) ($p < 0,05$), при переходе от СПЭ к ПСЭ она незначительно повышалась ($p > 0,05$).

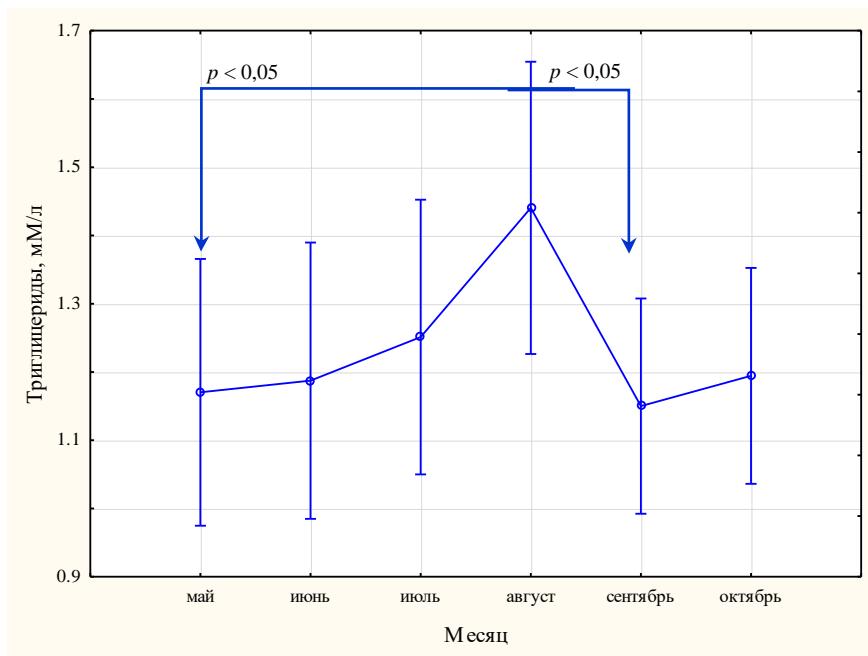


Рисунок 2.28 – Динамика концентрации триглицеридов, измеренной в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Это связано с тем, что на ОПЭ биатлонисты высокого класса выполняют наибольший объем низкоинтенсивных нагрузок (I-II зоны интенсивности по ЧСС), на СПЭ он снижается и доминирующими становятся нагрузки средней (III зона) и высокой (IV-V зоны) интенсивности, в энергообеспечении которых триглицериды используются ограниченно. Увеличение концентрации триглицеридов, энергетическая ценность которых более, чем в два раза превышает энергетическую ценность углеводов, в крови биатлонистов следует рассматривать как благоприятный фактор, направленный на повышение эффективности адаптации механизмов энергообеспечения скелетных мышц.

На основании анализа результатов проведенных исследований и распределения циклических средств подготовки по интенсивности в подготовительном периоде годичного макроцикла биатлонистов высокого класса, обладающих различным тренирующим потенциалом в отношении энергообеспечения мышечной деятельности, можно сформулировать следующие выводы:

– на ОПЭ биатлонисты выполняют большой объем циклических нагрузок низкой интенсивности на уровне АэП (I-II зоны интенсивности по ЧСС). В этих условиях при выполнении упражнений на выносливость свободные жирные кислоты активно вовлекаются в энергообеспечение мышечных волокон, поскольку углеводы не способны поддерживать требуемый высокий уровень энергии в течение длительного периода времени;

– на СПЭ увеличивается объем циклических нагрузок средней (III зона) и высокой (IV-V зоны) интенсивности, основными энергетическими субстратами при выполнении

таких упражнений являются гликоген и углеводы, тогда как жиры принимают участие в энергообеспечении скелетных мышц в ограниченном количестве;

– на ПСЭ объем работы низкой интенсивности вновь увеличивается, а объем интенсивных кратковременных нагрузок (особенно высокоинтенсивных), напротив, снижается. При такой комбинации режимов в энергообеспечении работы мышц триглицериды используются ограниченно, что приводит к незначительному увеличению их концентрации.

На рисунке 2.29 представлена динамика концентрации общего белка, измеренной в крови высококвалифицированных биатлонистов на этапах подготовительного периода макроцикла подготовки, характеризующая степень вовлечения белков в механизм энергообеспечения мышц.

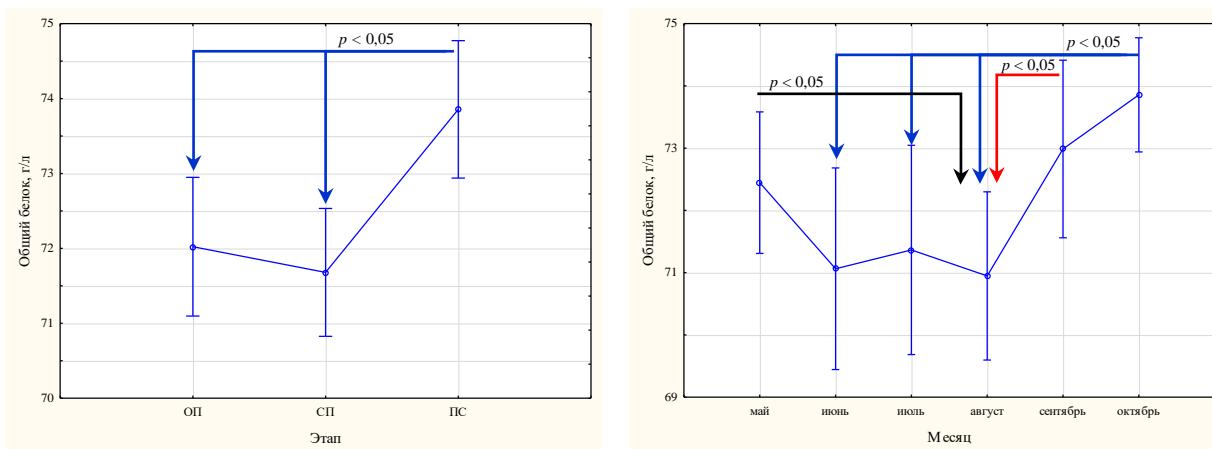


Рисунок 2.29 – Динамика концентрации общего белка, измеренной в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

При переходе от ОПЭ (72.0 ± 4.1 г/л) к СПЭ (71.7 ± 4.8 г/л) зафиксирован тренд к снижению среднегруппового содержания энергетического субстрата ($p > 0.05$), на ПСЭ его концентрация (73.9 ± 3.2 г/л) была достоверно выше по сравнению с предыдущими этапами подготовительного периода ($p < 0.05$). В середине СПЭ (август) содержание общего белка было наименьшим за весь период наблюдения и достоверно ниже относительно мая, сентября и октября ($p < 0.05$).

Несмотря на то, что в энергообеспечении скелетных мышц белок занимает относительно небольшую долю (5-18 % от общего потребления энергии), при постепенном истощении запасов гликогена она увеличивается. Основным видом нагрузок, оказывающим значительное влияние на интенсификацию вовлечения белков в механизм энергообеспечения, являются упражнения на выносливость. Для поддержания необходимого количества энергии при выполнении большого объема аэробных упражнений низкой интенсивности (I-II зоны интенсивности по ЧСС) на ОПЭ используется

не только гликоген, но и другие энергетические субстраты – жиры и белки. При увеличении объема нагрузок средней и высокой интенсивности доля белкового энергообеспечения снижается, а концентрация общего белка достоверно увеличивается ($p < 0,05$).

С целью оценки переносимости нагрузок во время тренировочной и соревновательной деятельности, степени вовлечения белков в механизм энергообеспечения мышц, процесса утилизации белков, а также состояния выделительной функции почек и эффективности протекания процессов восстановления используется конечный продукт распада белков в печени – мочевина. Несмотря на то, что статистический анализ концентрации мочевины в крови биатлонистов высокого класса при проведении этапного комплексного контроля на различных этапах тренировочного процесса не выявил достоверных различий между этапами подготовительного периода ($p > 0,05$), при переходе от этапа к этапу зафиксировано сужение референтного интервала. Так референтный диапазон мочевины, рассчитанный на ОПЭ, составил 4.1 (90 % ДИ 3.9-4.3) – 8.7 (90 % ДИ 8.5-8.9) мМ/л, на ПСЭ – 4.5 (90 % ДИ 4.2-4.8) – 8.5 (90 % ДИ 8.2-8.8) мМ/л. Верхняя граница референтных интервалов мочевины на всех этапах подготовительного периода превышала соответствующий верхний порог клинической нормы для мужчин, равный 7.3 мМ/л. На ОПЭ, СПЭ и ПСЭ концентрации мочевины превышали верхнюю границу популяционной нормы в 18.8, 20.0 и 20.8 % случаев, соответственно.

С физиологической точки зрения мочевина как конечный продукт распада белков отражает метаболическое напряжение и, в конечном итоге, энергетический баланс. Среднегрупповое содержание мочевины, измеренное в крови биатлонистов в рамках подготовительного периода, находилось в диапазоне 6.2 ± 1.2 мМ/л, а референтный интервал составил от 4.4 (90 % ДИ 4.3-4.5) до 8.6 (90 % ДИ 8.5-8.7) мМ/л, что в целом указывает на сбалансированность процессов катаболизма и анаболизма, протекающих на предшествующем этапе подготовки, и соответствие выполненных нагрузок функциональным возможностям спортсменов. Анализ полученных результатов в сочетании с выполненными биатлонистами нагрузками в подготовительном периоде показал, что увеличение в тренировочном процессе доли низкоинтенсивных упражнений (I-II зоны интенсивности по ЧСС) приводило к повышению концентрации мочевины, указывающему на вовлечение белковых структур в аэробный механизм энергообеспечения, являющийся наиболее важным для выносливых спортсменов.

Неадекватность физических нагрузок, ассоциированная с несоответствием выполняемого объема и интенсивности используемых в тренировочном процессе средств подготовки функциональному состоянию спортсменов, оцениваемую при концентрациях мочевины в крови биатлонистов в диапазоне 8-9 мМ/л, на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ, наблюдали у

3.8 %, 6.2 % и 8.3 % спортсменов, соответственно. В рамках исследования у ряда биатлонистов (2.5 % и 1.5 % случаев на ОПЭ и СПЭ, соответственно) зафиксированы концентрации мочевины выше 9 мМ/л, указывающие на наличие недовосстановления организма на фоне выполненных нагрузок. При таком уровне мочевины в крови спортсмена рекомендуется снизить объемы высоко- и низкоинтенсивных нагрузок, а если ее содержание варьируется в диапазоне 8-9 мМ/л – сократить нагрузки высокой интенсивности при меньшем снижении объема низкоинтенсивных.

2.2.8 Маркеры микро- и макроэлементного обмена

Важной составляющей равновесия внутренней среды, определяющей функциональное состояние ведущих систем организма спортсмена, включая ССС, ЦНС, скелетно-мышечную, иммунную, кроветворную и кислородтранспортную является микро- и макроэлементный обмен. Входящие в активные центры белков и ферментов микро- и макроэлементы принимают непосредственное участие в физиологических и метаболических процессах, а также в обмене веществ и его регуляции. Недостаточное содержание основных элементов оказывает негативное влияние на самочувствие спортсменов, занимающихся видами спорта на выносливость, вызывает утомление, которое может проявляться в виде недостатка энергии, снижения работоспособности, ухудшения спортивных результатов, нарушения мышечной функции и управления стрессом.

Статистический анализ концентрации железа, измеренной в крови биатлонистов, не выявил достоверных отличий между этапами подготовительного периода. При переходе от ОПЭ (21.82 ± 7.86 мкМ/л) к СПЭ (20.98 ± 6.46 мкМ/л) наблюдалось уменьшение среднегрупповых концентраций железа, а при переходе к ПСЭ (22.18 ± 6.39 мкМ/л), напротив, незначительное увеличение ($p > 0,05$). Зафиксированная в июле концентрация железа была достоверно ниже, по сравнению с таковой, измеренной в июне ($p < 0,05$). Несмотря на то, что вследствие эритропоэтического стимула, вызванного регулярными физическими нагрузками, потребность организма спортсменов в железе превышала физиологическую норму, рассчитанный референтный интервал концентраций микроэлемента в группе биатлонистов находился в пределах общепопуляционной нормы для мужчин (11-28 мкМ/л) – 11.70 (90 % ДИ 10.96-12.44) – 36.57 (90 % ДИ 35.83-37.31) мкМ/л. На рисунке 2.30 представлены индивидуальные средние значения и размах концентрации железа спортсменов группы за весь период исследования (подготовительные периоды трех последовательных сезонов). Из 23 спортсменов только у 2-х биатлонистов уровень железа опускался ниже нижней границы референсного диапазона. За весь период наблюдения перегрузка железом – превышение верхней границы физиологической нормы, зафиксирована в 16.1 % случаев.

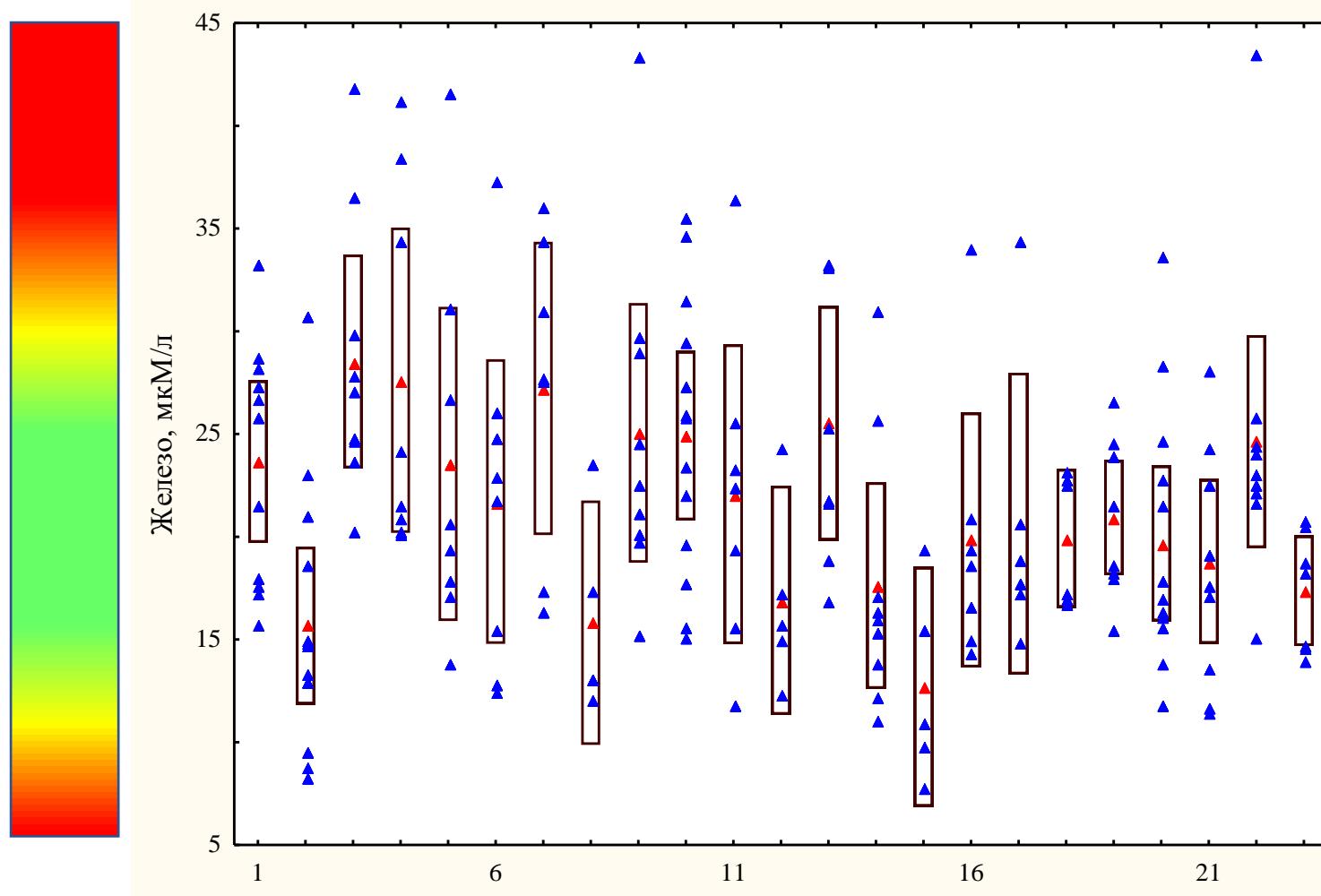


Рисунок 2.30 – Размах индивидуальных концентраций железа, измеренных в крови биатлонистов высокого класса на протяжении двух подготовительных периодов годичных макроциклов

Выявлена умеренная теснота связи между концентрациями железа и гемоглобина – коэффициент линейной корреляции Спирмена составил 0.42 ($p < 0,05$). Изменение уровня железа в крови также коррелировало с гематокритом ($r = 0.41$; $p < 0,05$) и количеством эритроцитов ($r = 0.38$; $p < 0,05$). В то же время между концентрациями железа и маркером иммунной системы СРБ наблюдали слабую отрицательную связь, коэффициент Спирмена составил -0.28 ($p < 0,05$). Аналогичный тренд имела взаимосвязь между уровнями железа и мочевины ($r = -0.22$; $p < 0,05$). Вследствие высоких меж- и внутридневных вариаций содержания железа в крови (10-26 %) концентрацию микроэлемента необходимо интерпретировать с осторожностью и некорректно рассматривать в качестве достоверной оценки статуса железа в организме спортсменов без совокупной количественной оценки гемоглобина и ферритина.

Повышенная потребность в железе при физиологической адаптации к интенсивным физическим нагрузкам и его потеря, опосредованная тренировками, гемолизом, усугубляемым ударом ноги о землю, сокращением мышц (эксцентрические упражнения, повреждающие мышцы), потоотделением и воспалительными/железорегулирующими гормональными реакциями являются основными причинами дефицита микроэлемента. Кроме того, возникающая в результате нагрузок воспалительная реакция, сопровождающаяся повышением содержания IL-6 и гепсидина, приводит к снижению усваивания и переработки железа [213].

Под воздействием регулярных физических нагрузок наблюдается повышенная утилизация железа с целью увеличения эритропоэза и восстановительных процессов. Дефицит железа способен привести к снижению аэробной мощности, при этом величина ожидаемого снижения работоспособности связана со степенью тяжести дефицита железа, определяемой концентрацией гемоглобина [214]. Снижение транспорта кислорода к работающим скелетным мышцам может предъявлять высокие требования к анаэробному метаболизму, негативно отражаясь на работоспособности (например, снижение pH крови, истощение мышечного гликогена). Все эти факторы могут влиять на выносливость, мощность, скорость, координацию, концентрацию, восстановление, адаптацию к тренировкам и, следовательно, работоспособность в различных видах спорта, особенно в видах спорта на выносливость. Следовательно, важно осуществлять мониторинг уровня железа в крови спортсменов и его коррекцию в случае дефицита.

Изменение среднегруппового содержания ферритина, измеренного в крови биатлонистов на этапах подготовки, коррелировало с таковым, установленным для железа. Среднегрупповая концентрация белка, зафиксированная на СПЭ (81.7 ± 35.4 нг/мл), была достоверно ниже по сравнению с ОПЭ (112.4 ± 58.7 нг/мл) и ПСЭ (106.8 ± 51.0 нг/мл) этапами

($p < 0,05$). Среднее содержание ферритина, измеренного в крови биатлонистов в рамках подготовительного периода, составило 95.6 ± 48.5 нг/мл, а референтный интервал – 31.3 (90 % ДИ 26.0 - 36.6) – 227.9 (90 % ДИ 222.6 - 233.2) нг/мл, что соответствуют таковому для мужской популяции с нормальным распределением в возрастных группах 20 - 24 года (90.2 нг/мл, межквартильный диапазон 58.6 - 131 нг/мл) и 24 - 28 лет (105.0 нг/мл, межквартильный диапазон 76.9 - 172.0 нг/мл) [215]. Хорошо подготовленным спортсменам рекомендуется прием железосодержащих добавок с целью поддержания концентрации ферритина в крови не менее 35 нг/мл, даже если его концентрация до приема витаминов находится в пределах референтного диапазона [216].

Следует отметить, что дефицит железа (ферритин < 35 нг/мл, гемоглобин > 130 г/л) оказывает минимальное влияние на работоспособность, однако его ранняя коррекция может предотвратить дальнейшее прогрессирование до стадий 2 (ферритин < 20 нг/мл, гемоглобин > 130 г/л) и 3 (ферритин < 12 нг/мл, гемоглобин < 130 г/л). Опираясь на выше представленную классификацию стадий дефицита железа с характерными для них концентрациями ферритина и гемоглобина, выявлено, что дефицит железа наблюдался в 3.1 % случаев, железодефицитные неанемия и анемия не выявлены. Следует отметить, что помимо функции депо железа ферритин является индикатором острофазовой реакции воспаления, вызывающей его непропорциональное увеличение за счет гибели клеток и не отражающей фактические запасы железа в костном мозге. Следовательно, при протекании в организме спортсмена воспалительных реакций, спровоцированных физическими нагрузками, концентрации ферритина в сыворотке могут быть завышены, что искажает истинное количество случаев субоптимального статуса железа. Нами были идентифицированы случаи превышения концентраций ферритина верхней границы физиологической нормы для мужчин (> 250 нг/мл). Так, на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ выход концентрации ферритина за пределы верхней границы норм наблюдался в 3.8 , 8.5 и 10.4 % случаев, соответственно. Среди выявленных только в 10 % случаев зафиксировано одновременное превышение концентрации СРБ верхней границы общепопуляционного референтного интервала для мужчин (> 5 мг/л), указывающее на протекание воспалительной реакции в организме. Поскольку ферритин связывает железо в крови или клетках и ослабляет его прооксидантную активность [217] вполне допустимо, что в остальных случаях повышенный уровень белка отражает адаптивный ответ на опосредованный железом повышенный окислительный стресс.

Магний – важнейший сигнальный макроэлемент и метаболит в клеточной физиологии, участвующий в многочисленных метаболических процессах, связанных с физической активностью [218, 219]. Магний играет фундаментальную роль в качестве

кофактора различных ферментативных реакций, включая энергетический метаболизм, рост и деление клеток, гликолиз, синтез белка и стабилизацию митохондриальных мембран, а его комплекс с АТФ функционирует как основной источник энергии и необходим для функционирования многих физиологических процессов, включая передачу нервного импульса, мышечные сокращения, сердечную возбудимость, вазомоторной тонус и регуляцию артериального давления [220, 221]. По этой причине низкие внутриклеточные уровни макроэлемента способны напрямую влиять на производительность мышц [222, 223, 224], а его дефицит может привести не только к снижению работоспособности, но и к воспалительным реакциям и увеличению окислительного стресса [225], ставя под угрозу последующее восстановление. Таким образом, адекватное содержание магния в организме имеет важнейшее значение для физической активности и требует особого контроля при выполнении аэробных нагрузок.

Среднегрупповая концентрация магния на ОПЭ (0.82 ± 0.08 мМ/л) была достоверно выше по сравнению со СПЭ (0.80 ± 0.06 мМ/л) ($p < 0,05$), тогда как на ПСЭ (0.81 ± 0.05 мМ/л) отмечалось незначительное и недостоверное увеличение его уровня в крови ($p > 0,05$). Максимальная концентрация макроэлемента (0.84 ± 0.08 мМ/л) в крови биатлонистов зафиксирована в начале подготовительного периода (май), она была достоверно выше по сравнению с другими месяцами подготовки ($p < 0,05$). Анализ изменения среднегрупповой концентрации магния и параметров циклической нагрузки показал, что динамика его содержания является практически зеркальным отражением графика объема циклических нагрузок высокой интенсивности (IV-V зоны интенсивности по ЧСС), выполненной биатлонистами в рамках подготовительного периода годичного макроцикла, представленного на рисунке 1.3(г). Другими словами, увеличение объема высокоинтенсивных нагрузок сопровождалось снижением уровня магния в крови. Необходимо отметить, что уровень микроэлемента в крови биатлонистов в течение всего периода наблюдений соответствовал нижней границе клинической нормы для мужчин ($0.65-1.05$ мМ/л). Наше исследование показало значительное снижение верхней границы рассчитанного референтного интервала 0.68 (90 % ДИ $0.67-0.69$) – 0.94 (90 % ДИ $0.93-0.95$) мМ/л.

Установленный среди высококвалифицированных биатлонистов дефицит магния согласуется с недавно представленными данными [225, 226]. В качестве возможной причины дефицита рассматривается перераспределение магния в тканях организма для поддержки метаболических потребностей в ответ на физические упражнения [227, 228]. Одним из наиболее распространенных результатов исследований данной тематики является факт снижения уровня магния после физических нагрузок [224], в частности после

продолжительных нагрузок на выносливость (марафон или бег на лыжах по пересеченной местности) [229, 230]. Во время и после аэробных тренировок макроэлемент перемещается между плазмой, адипоцитами и скелетными мышцами со скоростью, зависящей от выработки энергии клетками, а после упражнений он возвращается в кровоток из костной, мышечной и жировой тканей. Несмотря на то, что механизмы канальцевой реабсорбции преследуют цель минимизации потерь магния с мочой, его посттренировочная экскреция увеличивается, влияя на уровни макроэлемента в различных жидкостях и тканях организма. Учитывая важность этого элемента в использовании высокоэнергетических молекул, сокращении мышц, поддержании стабильности клеточной мембранны [221, 231], а также его участие в подавлении образования свободных радикалов и снижении повреждения мышц [232], обеспечение адекватных концентраций магния необходимо для поддержания эффективности энергообеспечения мышечной деятельности и физической работоспособности спортсмена. Снижение концентрации магния в крови ниже 0.7 мМ/л, создающее угрозу нарушений процесса энергообеспечения и работы сердечной и скелетных мышц, является признаком чрезмерного объема или интенсивности нагрузок в рамках микро-/мезоцикла подготовки. При такой реакции организма спортсмена на нагрузки рекомендуется срочная коррекция питания с целью восстановления микроэлементов и снижение нагрузок до полного восстановления макроэнергетического гомеостаза организма. Данные наблюдения следует принимать во внимание при выполнении длительных аэробных упражнений с короткими периодами восстановления.

Фосфор – важный элемент метаболизма, поскольку содержащие его соединения играют важную структурную роль (фосфолипидный биослой клеточной мембранны и нуклеиновые кислоты), участвуют в клеточном метаболизме (генерация АТФ), регуляции субклеточных процессов (фосфорилирование ключевых ферментов) и поддержании кислотно-щелочного гомеостаза. Его концентрация является важным индикатором нормального протекания метаболических процессов, скорости потребления кислорода и функционирования энteroцитов, клеток почечных канальцев, митохондрий и мышц [233]. В случае недостатка фосфора и кислорода для синтеза АТФ происходит нарушение клеточного гомеостаза, что может привести к лизису клеток. Фосфор участвует в синтезе 2,3-дифосфоглицерата, повышенные уровни которого могут способствовать высвобождению кислорода из гемоглобина в эритроцитах и, возможно, улучшать работоспособность при выполнении аэробных упражнений [228].

Среднегрупповая концентрация неорганической фракции фосфора, измеренной в крови биатлонистов на всем протяжении подготовительного периода, была достаточно стабильной и находилась в диапазоне 1.21 ± 0.18 мМ/л, что соответствует физиологической

норме для здоровых нетренированных лиц мужского пола (0.97-1.23 мМ/л) [234, 235]. Достоверных различий между содержанием фосфора, зафиксированным в крови биатлонистов высокой квалификации в рамках этапов подготовительного периода при статистическом анализе, не выявлено. Его референтный интервал применительно к биатлонистам составил 0.85 (90 % ДИ 0.83-0.87) – 1.55 (90 % ДИ 1.53-1.57) мМ/л. Авторы работы [226] зафиксировали достоверно более низкие концентрации фосфора у высококвалифицированных спортсменов различных дисциплин, по сравнению с субъектами, ведущими малоподвижный образ жизни. В нашем исследовании установлено, что, в отличие от магния референтный интервал неорганического фосфора для спортсменов, по сравнению с популяционными значениями, смещен в область более высоких концентраций. Увеличение концентрации неорганической фракции фосфора является косвенным признаком активного протекания окислительного фосфорилирования, имеющего высокую энергетическую эффективность. Поскольку аэробные нагрузки высокой интенсивности обладают максимальным потенциалом в отношении системы энергообеспечения скелетных мышц и совершенствования процессов сопряжения креатинфосфатного механизма и окислительного фосфорилирования в быстрых мышечных волокнах, то для поддержания достигнутого на ПСЭ уровня процессов энергообеспечения мышечной деятельности необходимо увеличить поступление неорганического фосфора.

Несмотря на то, что уровень кальция жизненно важен для мышечной и сердечно-сосудистой функции, а также проницаемости мембран мышечных клеток [236, 237], в настоящее время нет доказательств того, что он оказывает прямое влияние на спортивные результаты (в настоящее время исследовалась только аэробная способность). Однако, в литературе представлена информация о связи между стрессовыми переломами и работоспособностью [238]. Потеря костной массы происходит в условиях, при которых активация резорбции кости при физических нагрузках не компенсируется активацией формирования костной ткани. Выполнение длительных упражнений на выносливость средней и высокой интенсивности может нарушать гомеостаз кальция, снижая уровни общего и ионизированного макроэлемента в крови, что является триггером секреции паратиреоидного гормона, и как следствие, активации процесса резорбции костной ткани [239]. В регуляции сывороточной концентрации кальция принимает участие не только паратиреоидный гормон, но и витамин D, классической функцией которого является поддержание гомеостаза кальция и фосфатов, и костного метаболизма, включая регуляцию минеральной плотности костной ткани и ее ремоделирование [240]. Одновременный дефицит витамина D и чрезмерная секреция паратиреоидного гормона могут привести к стимуляции костной резорбции с высвобождением кальция для поддержания его уровня в

крови, что приводит к потере плотности кости и повышению риска травм костей, включая стрессовые переломы, часто встречающиеся у спортсменов [241, 242, 243]. Если упражнения вызывают увеличение резорбции костей, не сопровождающееся стимуляцией ее формирования, то повторное нарушение гомеостаза кальция во время тренировок является пусковым механизмом для острого катаболического эффекта нагрузки на костную ткань, который может способствовать снижению костной массы.

Оценку статуса кальция у биатлонистов проводили на основании результатов анализа общего кальция в сыворотке и его биологически активной формы во внеклеточной жидкости – ионизированного кальция [244]. Статистический анализ данных показал, что концентрация общего кальция, измеренная в крови спортсменов ПСЭ, была достоверно выше относительно предшествующих этапов ($p < 0,05$). Его средний уровень на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ составил 2.36 ± 0.19 , 2.40 ± 0.11 и 2.44 ± 0.08 мМ/л, соответственно. Несмотря на то, что достоверных различий между концентрациями ионизированного кальция, зафиксированными на различных этапах подготовительного периода, выявлено не было, увеличение концентрации общего кальция сопровождалось увеличением содержания его биологически активной формы. При оценке коэффициентов корреляции ранговым методом Спирмена выявлена высокая положительная взаимосвязь результатов определения общего и ионизированного кальция ($r = 0.58$; $p < 0,05$). Рассчитанный референтный интервал общего кальция – от 2.10 (90 % ДИ 2.09-2.11) до 2.57 (90 % ДИ 2.56-2.58) мМ/л представлен более узким диапазоном концентраций по сравнению с общепопуляционным (2.02-2.65 мМ/л). Среднегрупповая концентрация ионизированного кальция в крови биатлонистов в рамках подготовительного периода годичного макроцикла составила 1.197 ± 0.044 мМ/л, а его референтный интервал составил 1.106 (90 % ДИ 1.101-1.111) – 1.305 (90 % ДИ 1.300-1.310 мМ/л, что соответствует физиологической норме для мужчин данного возраста (1.1-1.35 мМ/л).

На рисунке 2.31 представлена среднегрупповая динамика концентрации витамина D, измеренная в крови биатлонистов на разных этапах подготовки. Изменение содержания витамина имело волнообразный характер: минимальная концентрация зафиксирована в мае (22.6 ± 8.9 нг/мл), максимальная – в августе (35.9 ± 10.8 нг/мл). В среднем по группе уровень витамина D начале подготовительного периода (май, июнь) был достоверно ниже такового, измеренного на СПЭ и ПСЭ ($p < 0,05$), тогда как достоверных отличий в рамках самого СПЭ обнаружено не было ($p > 0,05$).

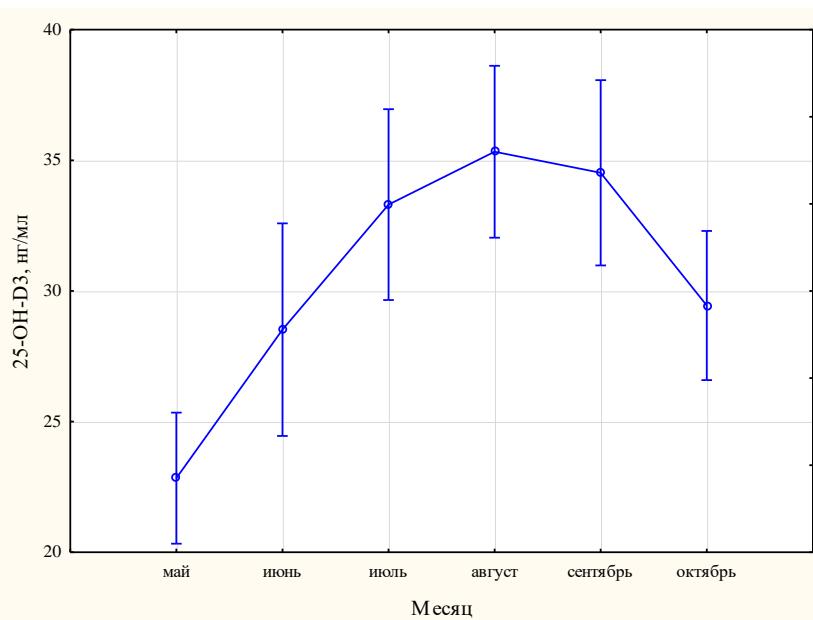


Рисунок 2.31 – Динамика концентраций витамина D, измеренного в крови биатлонистов высокого класса ($n=23$) в подготовительном периоде годичного макроцикла ($\bar{X} \pm \sigma$)

Согласно клиническим рекомендациям Российской ассоциации эндокринологов по диагностике, лечению и профилактике дефицита витамина D у взрослых используется следующая классификация оценки витаминного статуса:

- выраженный дефицит: концентрация витамина D в сыворотке < 10 нг/мл (< 25 нМ/л);
- дефицит: < 20 нг/мл (< 50 нМ/л);
- недостаточность: $20\text{--}30$ нг/мл ($50\text{--}75$ нМ/л);
- оптимальные уровни витамина D: > 30 нг/мл (> 75 нМ/л);
- уровни с возможным проявлением токсичности витамина D: > 150 нг/мл (> 375 нМ/л);
- при профилактике рекомендуется придерживаться целевого уровня в диапазоне $30\text{--}60$ нг/мл ($75\text{--}150$ нМ/л);
- рекомендуемый референтный интервал: $30\text{--}100$ нг/мл ($75\text{--}250$ нМ/л) [245].

Аналогичные нормы установлены Институтом медицины (IOM), однако в отчете данной организации подчеркивается, что референтные значения определены на уровне, обеспечивающем в первую очередь оптимальное функционирование костной системы и общего состояния здоровья, в то время как рекомендации по содержанию витамина D в сыворотке для сохранения нервно-мышечной производительности не установлены [246]. Оптимальные уровни витамина D для спортсменов также не определены.

Анализ полученных данных показал, что дефицит и недостаточность витамина D выявлены в 16.8 % и 33.6 % случаев, соответственно, из которых 71.8 %, 36.4 % и 52.1 %

приходятся, соответственно, на ОПЭ, СПЭ и ПСЭ. Высокая доля случаев недостатка витамина D у биатлонистов в начале и конце подготовительного периода может быть связана с недостаточным пребыванием на солнце и проведением тренировок в закрытых помещениях. Несмотря на то, что влияние уровня витамина D на спортивный результат еще не доказано, имеющийся у него эргогенный потенциал, очевидно, приводит ко множественным физиологическим улучшениям. На основании литературных данных можно заключить, что содержание витамина D выше нормального референтного диапазона (> 40 нг/мл) может положительно влиять на функцию скелетных мышц, снизить утомляемость, сократить время восстановления после тренировки, повысить выработку силы и мощности, а также увеличить выработку тестостерона и, как следствие, привести к улучшению спортивных результатов. Оптимальное его содержание способно снизить риск получения травм у спортсменов, косвенно влияя на работоспособность.

Во избежание долговременных проблем со здоровьем и улучшения результатов спортсменам высокого класса следует осуществлять мониторинг содержания микро- и макроэлементов, дефицит которых на фоне выполнения тренировочной нагрузки может отрицательно сказаться на работоспособности. Снижение концентраций общего кальция и магния ниже 0.7 мМ/л, а неорганической фракции фосфора менее 1.5 мМ/л указывает на выполнение чрезмерного объема или интенсификацию нагрузок в рамках микро-/мезоцикла подготовки, создающего угрозу нарушений в работе сердечной и скелетных мышц. При такой реакции организма спортсмена на нагрузки рекомендуется срочная коррекция питания с целью восстановления микроэлементов и снижение нагрузок до полного восстановления макроэргического гомеостаза организма. С целью поддержания достигнутого на ПСЭ уровня процессов энергообеспечения мышечной деятельности необходимо увеличить поступление неорганического фосфора. Несмотря на корреляцию между адекватным статусом витамина D и улучшенными спортивными результатами, в группе биатлонистов, как и во многих недавних исследованиях, зафиксирована высокая частота дефицита витамина D. Несмотря на то, что дефицит витамина D усиливает окислительный стресс, неконтролируемый прием пищевых добавок может оказывать негативное влияние на скелетные мышцы так же, как антиоксиданты при передозировке. Коррекция дефицита витамина D должна проводиться только врачами во избежание негативных последствий сверхэкспрессии витамина D рецепторами мышечных клеток и токсичности самого витамина D с учетом его биодоступности, индивидуальных потребностей и долгосрочного мониторинга.

3 Особенности динамики кинематических характеристик специализированных локомоций у биатлонистов высокого класса в рамках подготовительного периода

Процесс подготовки биатлониста на этапе высшего спортивного мастерства преследует цель обеспечения готовности спортсмена к демонстрации максимально высокого спортивного результата. В свою очередь спортивный результат является продуктом специально организованных движений и перемещений спортсмена, позволяющих ему реализовать имеющийся уровень развития физических качеств в направлении решения конкретной двигательной задачи [247]. Соответственно, процесс повышения спортивного результата предусматривает два направления:

- повышение уровня развития физических качеств – процесс специальной физической подготовки (далее – СФП);
- совершенствование техники и навыков эффективно реализовывать достигнутый уровень физической подготовленности в рамках специализированной структуры соревновательного упражнения (технико-тактическая подготовка).

Соревновательное упражнение биатлониста состоит из двух компонентов: перемещение на лыжах по дистанции различной протяженности и стрельба из винтовки по мишеням, расположенных на расстоянии 50 м от стрелка. Соответственно, можно выделить две двигательных задачи, стоящие перед спортсменом при выполнении соревновательного упражнения:

- достижение максимально высокой скорости преодоления дистанции;
- достижение максимально высокого качества и надежности стрельбы на огневых рубежах.

В нашей работе мы не будем затрагивать аспекты стрелковой подготовки, а сконцентрируемся на изучении динамики кинематических параметров специализированных локомоций биатлонистов на этапе бесснежной подготовки, то есть на компонентах техники движений, прямо или косвенно влияющих на скорость перемещения спортсмена по дистанции.

В рамках подготовительного периода средства физической и технической подготовки должны быть упорядочены таким образом, чтобы работа над повышением функциональных возможностей организма создавала благоприятные предпосылки для направленного совершенствования техники и расширения рабочих возможностей специализированных локомоций биатлониста в направлении роста дистанционной скорости. С другой стороны, работа над совершенствованием техники зачастую требует определенного уровня функционального состояния спортсмена, в том числе «неперегруженной» нервной системы и мышечного аппарата, тем самым вынуждая тренера

ограничивать объем и интенсивность средств общей подготовки и СФП. В результате чего замедляется прогресс специальной работоспособности биатлониста в подготовительном периоде на фоне улучшения «внешней» картины специализированных движений. Таким образом, нахождение компромисса при организации средств технической и физической подготовки является непростой задачей, успешность решения которой во многом характеризует методическую грамотность и компетентность тренера.

На сегодняшний день можно выделить два варианта построения тренировочного процесса, преследующих цель рационального упорядочивания средств физической и технической подготовки:

1) чередование коротких «блоков» тренировок, направленных на развитие функциональных возможностей организма, и тренировок технического характера. В качестве положительного момента такой организации нагрузок следует отметить тот факт, что у спортсмена не наблюдается устойчивого снижения работоспособности и длительного недовосстановления, а значит существует возможность эффективно влиять на моторное обучение или переобучение спортсмена, изменяя кинематические параметры движения. В качестве отрицательного явления необходимо подчеркнуть тот факт, что кратковременное снижение работоспособности может ограничивать расширение функциональных возможностей организма и повышение физической подготовленности спортсмена;

2) создание массированного воздействия на организм спортсмена с помощью средств СФП, что обуславливает устойчивое снижение его работоспособности, которое затем в период снижения нагрузки не просто восстанавливается, а существенно превышает исходный уровень, отражая закон суперкомпенсации. В свою очередь, стойкое снижение работоспособности спортсмена отражает определенное недовосстановление нагружаемых систем организма, создавая препятствия для параллельного совершенствования техники специализированных локомоций в этот период времени.

Естественно предположить, что в разных видах спорта и на разных этапах подготовительного периода помимо представленных выше вариантов могут наблюдаться «гибридные» способы организации средств физической и технической подготовки, позволяющие с различной эффективностью разрешать противоречия между решением задач СФП и работой над техникой движений.

В связи с вышесказанным актуальным является вопрос изучения динамики кинематических параметров специализированных локомоций у биатлонистов высокого класса на различных этапах подготовительного периода в условиях, когда меняются не только параметры нагрузок СФП, но и текущее состояние спортсменов, о котором косвенно можно судить по изменениям биохимических показателей крови.

3.1 Анализ динамики нагрузок и кинематических характеристик и параметров специализированных локомоций у биатлонистов в рамках подготовительного периода

Одним из основных стилей перемещения на лыжах у биатлонистов выступает одновременный одношажный коньковый ход (далее – ООКХ), представляющий собой сложную по координации систему двигательных действий, в которой спортсмен синхронно выполняет отталкивание руками при попеременном отталкивании ногой с акцентированным переносом тела на скользящую лыжу. Технику ООКХ целесообразно рассматривать с позиции кинематических характеристик и параметров, проявляемых в различных фазах упражнения (рисунок 3.1). Фаза представляет собой упорядоченную во времени и пространстве систему двигательных операций, ориентированных на достижение конкретных целей. Соответственно, для каждой фазы движения характерно наличие определенного упорядоченного набора двигательных действий, временной протяженности и частных двигательных задач, ориентированного на достижение главной цели движения. Помимо взаимосвязанных двигательных действий для каждой фазы характерно наличие «стартовой» рабочей позы, из которой начинает выполняться движение, и «финальной» рабочей позы, которой движение заканчивается. Под позой в данном случае понимается взаимное расположение частей скелета в определенном ситуации.

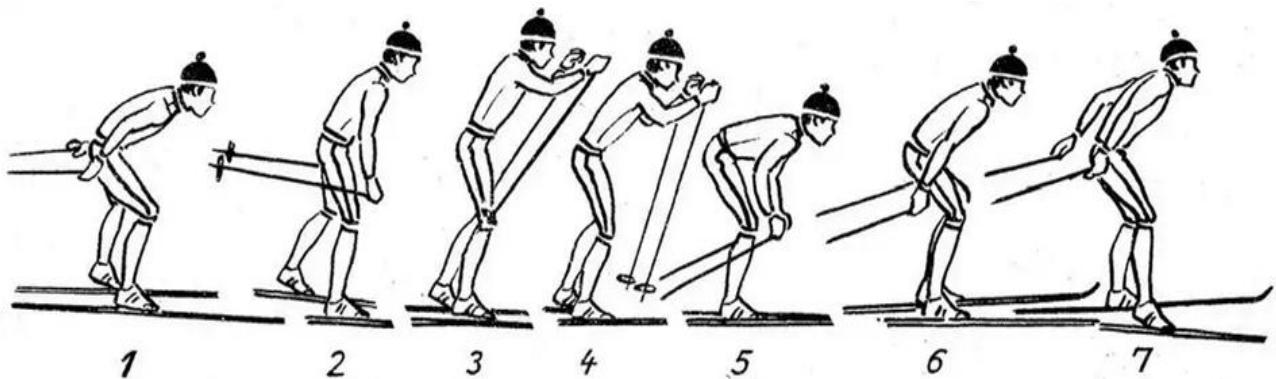


Рисунок 3.1 – Фазовый состав одновременного одношажного конькового хода

Представленную на рисунке 3.1. последовательность двигательных действий (положения спортсмена в пространстве, включая граничные моменты рабочих поз) в рамках полного цикла ООКХ, предлагается объединить в следующие фазы:

1) свободное скольжение – положение спортсмена с «1» по «4» (начало фазы – граничный момент «отрыв лыжи от опоры», окончание фазы – граничный момент «постановка палок на опору»);

2) скольжение с отталкиванием руками – положение спортсмена с «4» по «6» (начало фазы – граничный момент «постановка палок на опору», окончание фазы – граничный момент «отрыв палок от опоры»);

3) скольжение с отталкиванием ногой – положение спортсмена с «6» по «1» (начало фазы – граничный момент «отрыв палок от опоры», окончание фазы – граничный момент «отрыв лыжи от опоры»).

После определения фазового состава ООКХ более информативными и наполненными содержательным смыслом становятся кинематические характеристики движения, которые в рамках фазовой структуры упорядочиваются следующим образом:

Фаза 1 – свободное скольжение:

- время и длина проката;
- длина и частота шагов.

Фаза 2 – скольжение с отталкиванием руками:

– время отталкивания руками, длина проката при отталкивании руками, угол палок в момент их отрыва от опоры, время рассинхрон, все угловые и амплитудные параметры в плечевом (ПС), коленном (КС) и тазобедренном (ТБС) суставах, а именно:

1) положение спортсмена «4» (граничный момент постановки палок на опору): угол ТБС1, угол КС1, угол ПС1;

2) положение спортсмена «5»: угол ТБС2, угол КС2 (момент максимального сгибания в КС и ТБС);

3) положение спортсмена «6» (граничный момент отрыва палок от опоры): угол ПС2, амплитуда движений в ПС, КС и ТБС;

- суммарное время, затрачиваемое при отталкивании руками и ногой;
- общая длина пройденного пути при отталкивании руками и ногой;
- длина и частота шагов.

Фаза 3 – скольжение с отталкиванием ногой:

– время отталкивания ногой, длина проката при отталкивании ногой (активное давление на опору);

- суммарное время, затрачиваемое при отталкивании руками и ногой;
- длина пройденного пути при отталкивании руками и ногой;
- длина и частота шагов.

Выделенные фазы движения объединяются в более крупные образования – периоды, которые в структуре ОКХ обозначаются как период активного давления на опору и период свободного скольжения (рисунок 3.2).

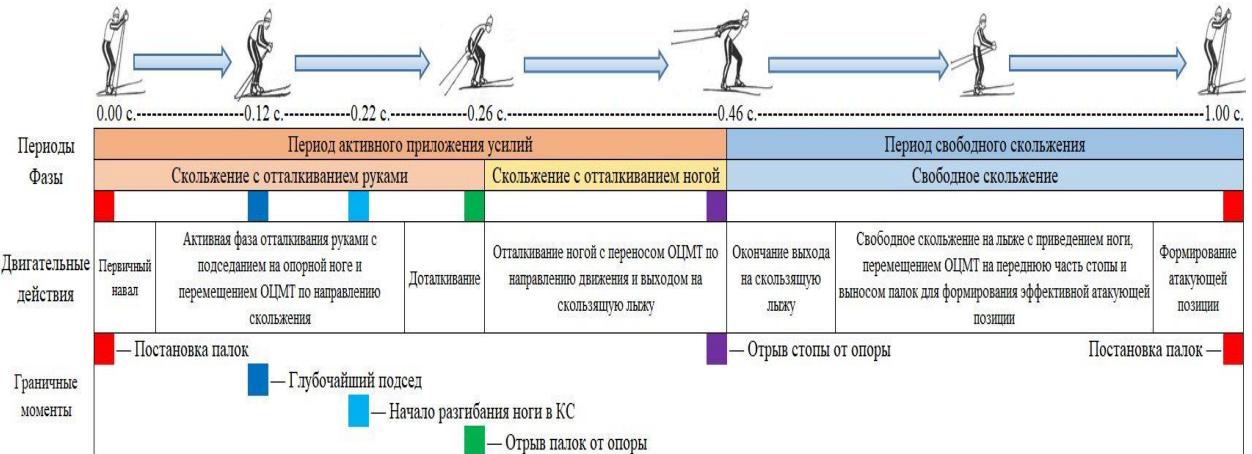


Рисунок 3.2 – Структурная организация одновременного одношажного конькового хода

Прежде чем переходить к описанию фаз лыжного движения, проясним ряд терминологических аспектов, которые в дальнейшем будут встречаться в тексте:

1) толчковая нога – нога, выполняющая активное отведение в сторону и назад, производя отталкивание от опорной поверхности, на которой располагается лыжа. В момент отталкивания нога разгибается в ТБС, КС и голеностопном суставе (ГС), создавая импульс для ускорения и переходу к скольжению на противоположной (опорной) ноге (лыже). После завершения отталкивания толчковая нога становится маховой и готовится к следующему циклу движения. Толчковая нога является синонимом термина «толчковая лыжа»;

2) опорная нога – нога, на которой в данный момент находится основной вес тела спортсмена во время скольжения. На опорной ноге лыжник удерживает равновесие и выполняет скользящий прокат на лыже. Опорная нога является синонимом термина «опорная лыжа»;

3) в ООХ опорная и толчковая ноги постоянно сменяют друг друга: одна нога обеспечивает скольжение и устойчивость, а другая совершают отталкивание и создает ускорение.

Как следует из рисунка 3.2, цикл ООХ начинается с момента окончания фазы свободного скольжения и представляет собой систему двигательных действий, направленных на формирование атакующей позиции и постановки палок на опору. Затем начинается фаза скольжения с отталкиванием руками, в рамках которой спортсмен осуществляет давление или «навал» на палки, после чего следует активное отталкивание руками с подседанием на опорной ноге и ориентацией общего центра массы тела (далее – ОЦМТ) по направлению скользящей лыжи. После того как кисти спортсмена оказались на уровне бедер, следует окончательное разгибание рук в локтевых суставах с разжиманием

кистей в финальной части рабочей амплитуды движения. На этом фаза скольжения с отталкиванием руками заканчивается и начинается фаза скольжения с отталкиванием ногой. Основное двигательное действие, совершающееся в данной фазе, представляет собой опережающее по отношению к отталкиванию ногой смещение ОЦМТ по направлению скользящей лыжи. После выполнения отталкивания ногой спортсмен окончательно переносит массу тела на скользящую лыжу, стремясь при этом создать острый угол сгибания в голеностопном суставе, и формируя, таким образом, биомеханически выгодные условия для проявления инерционных сил в последующей фазе свободного скольжения.

В первой части фазы свободного скольжения спортсмен частично разгибает коленный сустав, удерживая при этом острый угол наклона голени, что создает благоприятные условия для горизонтального перемещения ОЦМТ во второй части данной фазы, когда спортсмен удерживает оптимальный диапазон колебания углов в ГС, КС и ТБС с обязательным сохранением положения ОЦМТ в плоскости опорной базы. Следует также отметить, что на всем протяжении обеих частей данной фазы выполняется возвратное движение рук. В заключительной части рассматриваемой фазы спортсмен выполняет активное перемещение ОЦМТ в переднюю часть плоскости опоры (к переднему краю лыжного ботинка) или за нее с одновременным сгибанием рук в плечевых суставах и формированием атакующей позиции, после чего следует постановка палок на опору и начнется новый цикл движения.

В связи с тем, что ООКХ является одним из ведущих лыжных стилей, с помощью которого биатлонист преодолевает соревновательную дистанцию, именно данный тип специализированных локомоций является основным объектом тренирующих воздействий и функционального совершенствования в рамках подготовительного периода. Для того чтобы проследить динамику кинематических характеристик и параметров ООКХ в рамках данного периода подготовки в зависимости от характера и специфики тренировочных нагрузок, мы предварительно рассчитали какой объем нагрузки выполняли биатлонисты в единицу времени, то есть фактически определили интенсивность воздействия. Предварительный анализ сроков проведения тестирования физической и технической подготовленности спортсменов в период с 2023 по 2024 годы показал, что наиболее корректным для расчета интенсивности нагрузки следует рассматривать период подготовки, предшествующий тестированию в течении двух учебно-тренировочных мероприятий каждый продолжительностью 18-21 день, а также период самоподготовки («домашняя» подготовка) длительностью 6-7 дней. Таким образом, в среднем анализировалось 50-55 дней подготовки спортсменов между тестированиями в рамках подготовительного периода (с мая по октябрь). При этом циклическая нагрузка

рассчитывалась в часах и минутах, а средства силовой подготовки в количестве выполненных подходов. Соответственно, интенсивность циклической нагрузки определялась как «час/день», а силовой нагрузки – «подход/день». В рамках циклической нагрузки мы дополнительно рассчитали интенсивность (час/день), приходящуюся на схожие (биомеханически подобные) или отличные (небиомеханически подобные) упражнения относительно биомеханики ООКХ. К биомеханически подобным средствам нами были отнесены упражнения на лыжероллерах, выполняемые коньковым стилем, тогда как легкоатлетический бег/ходьба, велоезда и прыжки/имитация рассматривались как небиомеханически подобные упражнения.

За период с 2023 по 2024 годы было проведено 9 лабораторных обследований спортсменов по оценке уровня физической подготовленности и 18 «полевых» тестирований, оценивающих кинематические характеристики и параметры (технику) выполнения биатлонистами ООКХ на соревновательной скорости. В наблюдении приняли участие 9 высококвалифицированных биатлонистов (мастера спорта, мастера спорта международного класса и заслуженные мастера спорта). В таблице 3.1 представлены параметры нагрузки, выполняемой биатлонистами за период наблюдений.

Таблица 3.1 – Объем и специфичность различных средств тренирующих воздействий, выполненных высококвалифицированными биатлонистами на различных этапах подготовительного периода

Параметры нагрузки	Этап подготовительного периода		
	ОПЭ	СПЭ	ПСЭ
Часы	03:13:00	04:01:25	02:52:17
1-2 зоны интенсивности по ЧСС	02:18:06	02:51:34	01:59:51
3 зона интенсивности по ЧСС	00:10:37	00:16:10	00:10:47
4-5 зона зоны интенсивности по ЧСС	00:06:23	00:12:13	00:15:12
Неспецифические циклические упражнения	01:34:22	01:22:14	01:01:31
Специфические циклические упражнения	01:32:59	01:50:05	02:25:04
Максимальная сила (90 % от ПМ, ~5 повторов, жимовое усилие, низкий темп)	9	15	10
Взрывная сила (60-80 % от ПМ, ~6 повторов, взрывное усилие, низкий темп)	3	11	12
Быстрая сила (30-50 % от ПМ, ~8-10 повторов, взрывное усилие, высокий темп)	3	11	7
Гипертрофия (70-85 % от ПМ, ~8-12 повторов, до отказа, жимовое усилие, средний/высокий темп)	17	13	13
Силовая выносливость (30-70% от ПМ, 15> повторов)	20	17	15
Количество подходов на плечевой пояс и мышечный корсет	19	19	19
Количество подходов на ноги	8	7	7
Прыжки из глубокого приседа	8	8	7
Прыжки из не глубокого приседа	12	10	8

Как следует из данных, представленных в таблице 3.1, на ОПЭ основной объем циклической нагрузки составляли низкоскоростные упражнения, выполняемые в 1-2 зонах интенсивности по ЧСС. При этом доля биомеханически подобных и небиомеханически

подобных дистанционных средств подготовки схожая. Силовые упражнения на данном этапе в основном направлены на повышение мышечной гипертрофии и силовой выносливости.

В рамках СПЭ наблюдалось возрастание объема низкоскоростных дистанционных средств подготовки на фоне одновременного увеличения объема высокоскоростных упражнений. При этом доля упражнений на лыжероллерах, то есть специфических по биомеханике средств подготовки, превышала объем неспецифических циклических локомоций (бег, велоезда, ходьба, имитационные упражнения). Наблюдалось изменение направленности силовых упражнений – возрастила доля средств, направленных на повышение максимальной и взрывной силы мышц.

На ПСЭ бесснежной подготовки общий объем нагрузки снижался, но при этом доля специфических по биомеханике локомоций (лыжероллеров) существенно превышала объем неспецифических дистанционных средств подготовки. Объем высокоинтенсивных силовых нагрузок в режиме максимальной силы и силовой выносливости снижался, при этом увеличивался объем упражнений, направленных на повышение взрывной силы мышц. Кроме этого, сохранялся объем упражнений «жимового» характера, направленных на повышение мышечной гипертрофии.

В заключение отметим, что на всем протяжении подготовительного периода объем силовых упражнений, направленный на тренировку нервно-мышечного аппарата плечевого пояса, существенно превосходит объем упражнений на мышцы нижних конечностей.

3.2 Особенности динамики кинематических характеристик специализированных локомоций у биатлонистов высокого класса в рамках подготовительного периода

Процесс подготовки биатлониста на этапе высшего спортивного мастерства преследует цель обеспечения готовности спортсмена к демонстрации максимально высокого спортивного результата. В свою очередь спортивный результат является продуктом специально организованных движений и перемещений спортсмена, позволяющих ему реализовать имеющийся уровень развития физических качеств в направлении решения конкретной двигательной задачи [247]. Соответственно, процесс повышения спортивного результата предусматривает два направления:

- повышение уровня развития физических качеств – процесс СФП;
- совершенствование техники и навыков эффективно реализовывать достигнутый уровень физической подготовленности в рамках специализированной структуры соревновательного упражнения (технико-тактическая подготовка).

Соревновательное упражнение биатлониста состоит из двух компонентов: перемещение на лыжах по дистанции различной протяженности и стрельба из винтовки по мишеням, расположенных на расстоянии 50 м от стрелка.

Соответственно, можно выделить две двигательные задачи, стоящие перед спортсменом при выполнении соревновательного упражнения:

- достижение максимально высокой скорости преодоления дистанции;
- достижение максимально высокого качества и надежности стрельбы на огневых рубежах.

В нашей работе мы не будем затрагивать аспекты стрелковой подготовки, а сконцентрируемся на изучении динамики кинематических параметров специализированных локомоций биатлонистов на этапе бесснежной подготовки, то есть на компонентах техники движений, прямо или косвенно влияющих на скорость перемещения спортсмена по дистанции.

В рамках подготовительного периода средства физической и технической подготовки должны быть упорядочены таким образом, чтобы работа над повышением функциональных возможностей организма создавала благоприятные предпосылки для направленного совершенствования техники и расширения рабочих возможностей специализированных локомоций биатлониста в направлении роста дистанционной скорости. С другой стороны, работа над совершенствованием техники зачастую требует определенного уровня функционального состояния спортсмена, в том числе «неперегруженной» нервной системы и мышечного аппарата, тем самым вынуждая тренера ограничивать объем и интенсивность средств общей подготовки и СФП. Как результат, замедляется прогресс специальной работоспособности биатлониста в подготовительном периоде на фоне улучшения «внешней» картины специализированных движений. Таким образом, поиск компромисса при организации средств технической и физической подготовки является непростой задачей, успешность решения которой во многом характеризует методическую грамотность и компетентность тренера.

На сегодняшний день можно выделить два варианта построения тренировочного процесса с целью рационального упорядочивания средств физической и технической подготовки:

- в рамках первого варианта предусматривается чередование коротких «блоков» тренировок, направленных на развитие функциональных возможностей организма и тренировок технического характера. В качестве положительного момента такой организации нагрузок следует считать тот факт, что у спортсмена не наблюдается устойчивого снижения работоспособности и длительного недовосстановления, а значит

существует возможность эффективно влиять на моторное обучение или переобучение, изменения кинематические параметры движения. В качестве отрицательного явления следует подчеркнуть тот факт, что кратковременное снижение работоспособности может ограничивать расширение функциональных возможностей организма и повышение физической подготовленности спортсмена;

– другим вариантом построения тренировочного процесса является создание массированного воздействия на организм спортсмена с помощью средств СФП, что обуславливает устойчивое снижение его работоспособности, которое затем в период снижения нагрузки не просто восстанавливается, но и существенно превышает исходный уровень, отражая закон суперкомпенсации. В свою очередь, стойкое снижение работоспособности спортсмена отражает определенное недовосстановление нагружаемых систем организма, создавая препятствия для параллельного совершенствования техники специализированных локомоций в этот период времени.

Естественно предположить, что в разных видах спорта и на разных этапах подготовительного периода помимо представленных выше вариантов могут использоваться «гибридные» способы организации средств физической и технической подготовки, позволяющие с различной эффективностью разрешать противоречия между решением задач СФП и работой над техникой движений. В связи с вышесказанным актуальным является вопрос изучения динамики кинематических параметров специализированных локомоций у биатлонистов высокого класса на различных этапах подготовительного периода в условиях, когда меняются не только параметры нагрузок СФП, но и текущее состояние спортсменов, о котором косвенно можно судить по изменениям биохимических показателей крови.

Интерес к изучению изменений техники ООКХ в рамках подготовительного периода у биатлонистов на этапе высшего спортивного мастерства обусловлен в первую очередь тем, что это один из основных вариантов лыжных ходов, с помощью которого спортсмен преодолевает соревновательную дистанцию. В этой связи наибольший интерес представляет изучение динамики кинематических характеристик лыжного упражнения, определяющих скорость цикла движения. Такими характеристиками для всех циклических локомоций являются длина и частота шагов.

Приведенный нами и представленный выше анализ фазового состава ООКХ позволяет утверждать, что динамку отношения длины и частоты лыжных шагов целесообразно рассматривать через показатели времени производства движений верхних и нижних конечностей и длину проката в двух периодах:

– периоде активного давления на опору, включающего фазы скольжения с

- отталкиванием руками и скольжения с отталкиванием ногой;
– периоде скольжения, включающего фазу свободного скольжения.

3.2.1 Общеподготовительный этап

Анализ техники ООКХ на ОПЭ показал, что время и длина проката в фазе активного давления на опору остаются неизменными на фоне снижения времени и длины проката в фазе свободного скольжения (см. рисунки 3.3 и 3.4). Как результат, по окончании двух учебно-тренировочных мероприятий и микроциклов самоподготовки суммарной продолжительностью 45-50 дней у биатлонистов высокого класса наблюдается снижение длины полного цикла движения при стабильной (неизменной) частоте шагов, что сопровождается падением скорости цикла ООКХ на лыжероллерах.

Вероятные причины снижения скорости цикла ООКХ могут заключаться в следующем:

- 1) недостаточный уровень развития физических качеств;
- 2) сниженная способность проявлять физические качества в рамках созданной механики перемещения на лыжероллерах (изменяется способность мышц или двигательной системы проявлять необходимую силу и координацию в конкретном движении);
- 3) неэффективная техника, создающая стопорящие моменты скорости цикла;
- 4) неблагоприятное самочувствие спортсмена, на фоне которого проводились «технические» тренировки в рамках учебно-тренировочных мероприятий.

Как следует из усредненных данных команды спортсменов, представленных на рисунках 3.4, у биатлонистов высокого класса практически отсутствуют колебания различных компонентов физической подготовленности на всем протяжении подготовительного периода. Соответственно, при анализе речь может идти скорее о некоторых тенденциях динамики подготовленности спортсменов.

Анализируя вероятные причины того, почему у спортсменов снизилась скорость цикла в рамках ОПЭ, следует в первую очередь указать на незначительное увеличение времени, затрачиваемого на отталкивание руками, и стагнацию времени отталкивания ногой. Длина проката при этом существенно снижается, а расстояние, преодолеваемое спортсменом за время приложения усилий в фазе активного давления на опору, практически не меняется. В этом случае можно говорить о том, что основная причина, вероятно, скрывается в снижении способности биатлонистов проявлять необходимую величину усилий верхними и нижними конечностями за время отталкивания руками и ногой. В этой связи целесообразно проанализировать показатели силовых и скоростно-силовых способностей мышц верхних и нижних конечностей, а также направленность средств силовой подготовки в этот период времени.

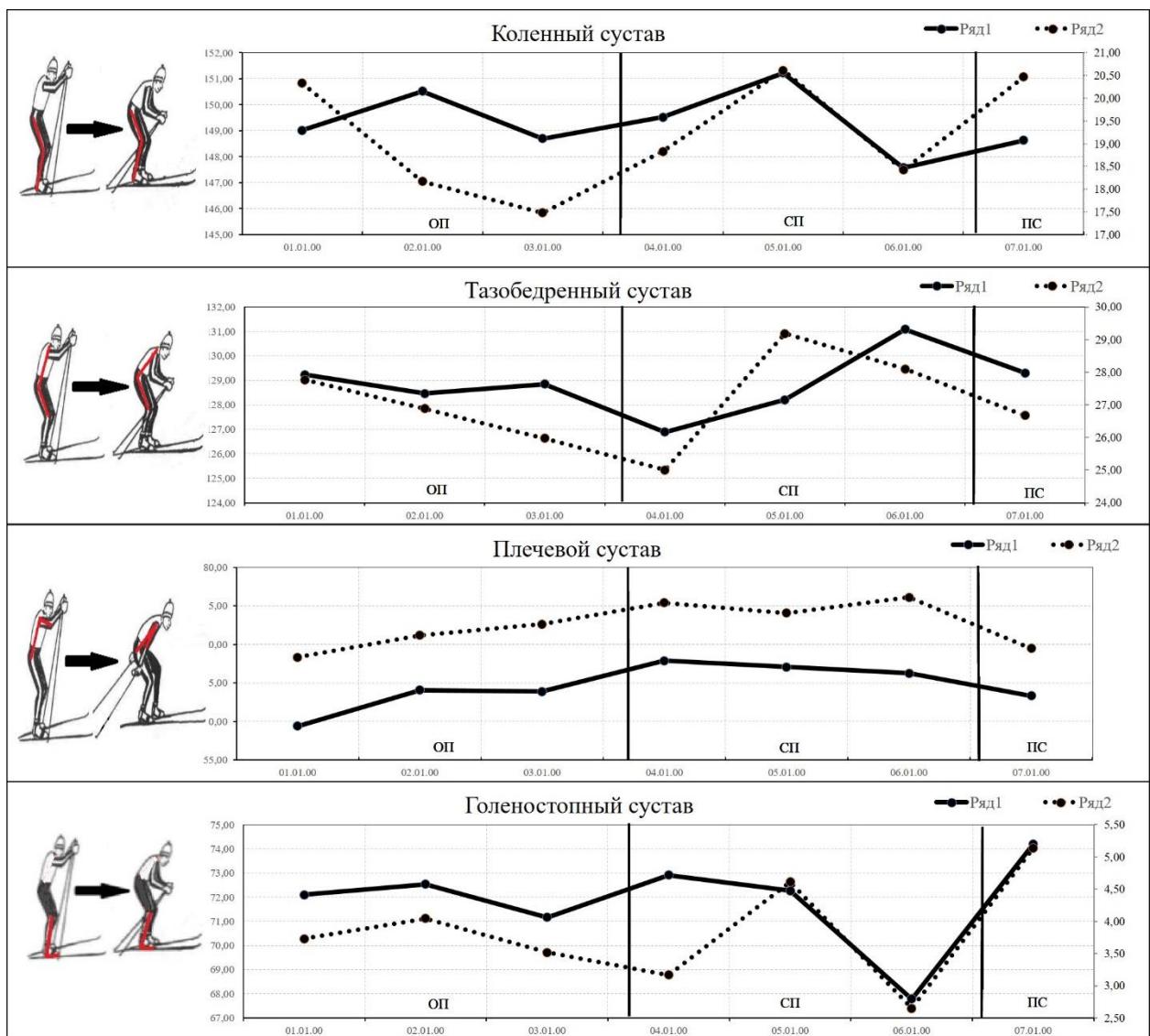


Рисунок 3.3 – Параметры тренировочных нагрузок и динамика угловых и амплитудных показателей ООКХ биатлонистов в рамках подготовительного периода

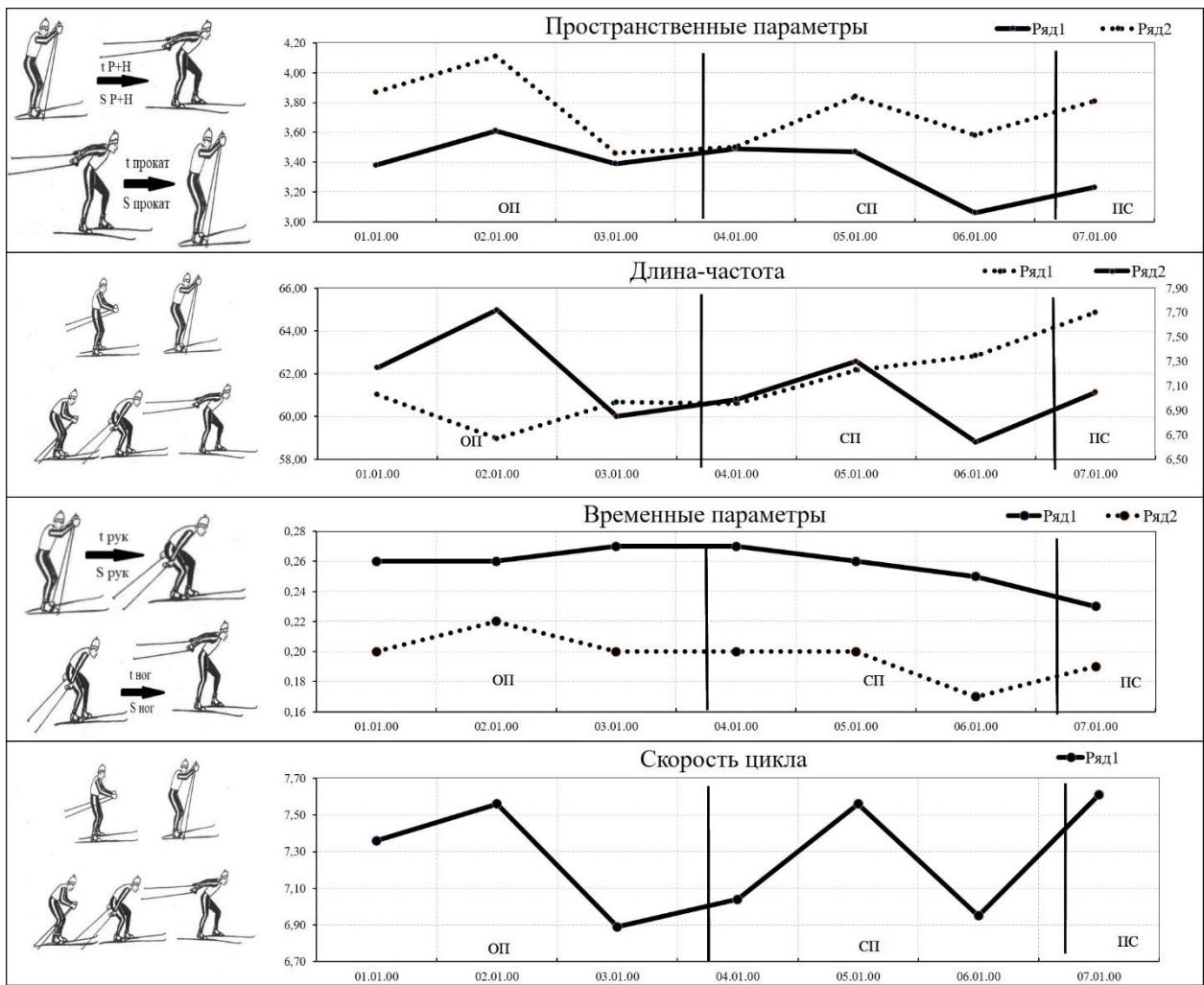


Рисунок 3.4 – Параметры тренировочных нагрузок и динамика пространственных, временных и пространственно-временных показателей ООКХ биатлонистов в рамках подготовительного периода

Результаты, представленные на рисунке 3.5, указывают на то, что за время ОПЭ показатели максимальной силы и максимальной алактатной мощности (далее – МАМ) верхних и нижних конечностей практически не изменились, однако спортсмен при этом перестал успевать развивать усилие практически за это же время движения в суставах. Соответственно сила и мощность мышц у спортсмена не изменилась, но скорость цикла и длина проката существенно снизилась, следовательно, причина этого может заключаться в изменении самой техники лыжного движения, а точнее в его пространственно-временной организации. Проведенный анализ показал, что на ОПЭ у спортсменов наблюдается тенденция к снижению амплитуды сгибания коленного сустава, а также амплитуды сгибания ТБС и КС в фазе активного давления на опору. Сокращение амплитуды ведущих суставов на фоне стагнации силовых способностей привело к тому, что спортсмен стал более медленным и относительно «слабым» для создаваемой им пространственно-временной организации лыжероллерных локомоций.

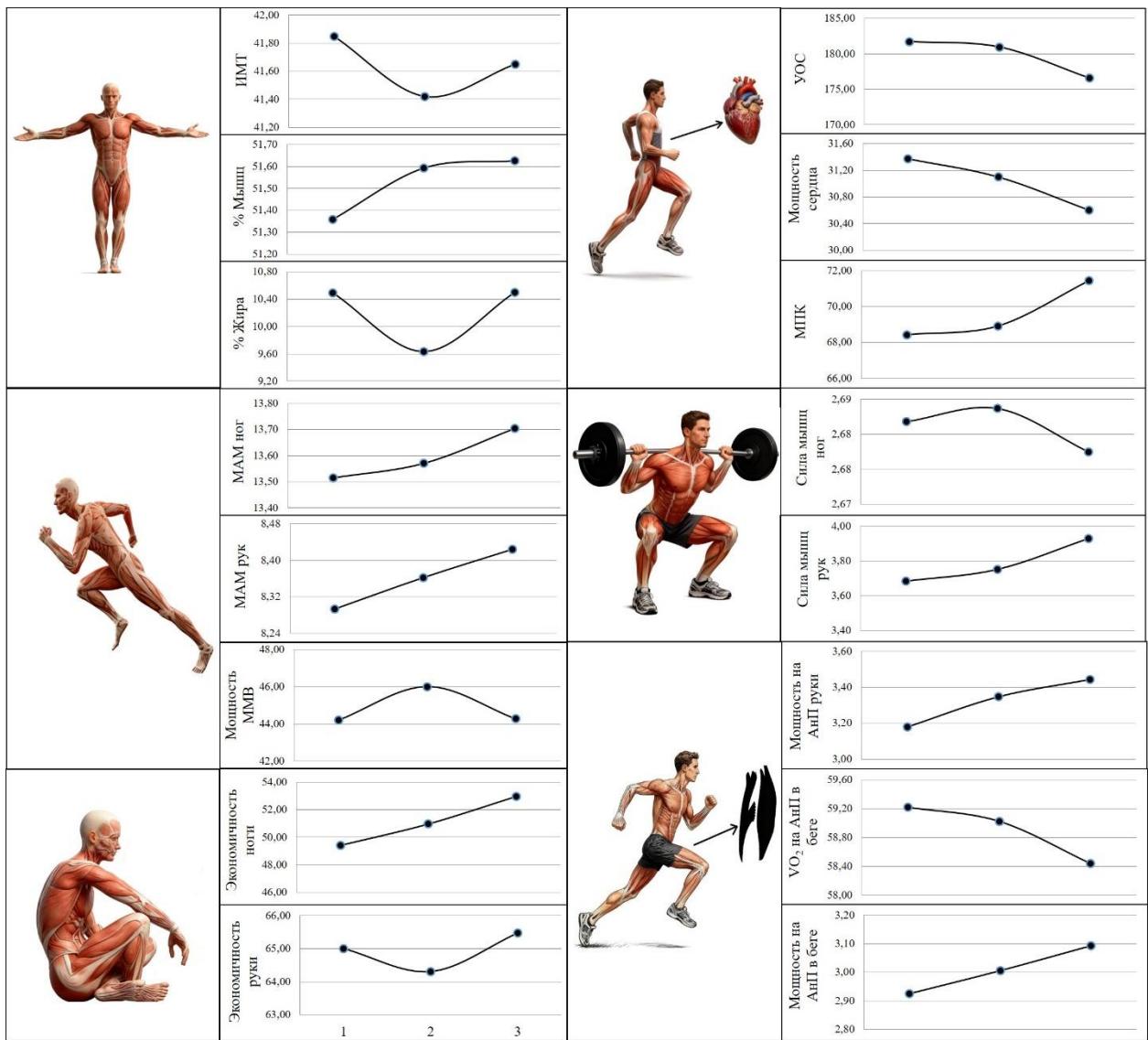


Рисунок 3.5 – Динамика морфофункциональных показателей подготовленности биатлонистов высокой квалификации на различных этапах подготовительного периода

Кроме этого, следует отметить, что угол сгибания в ГС в фазе активного давления на опору и амплитуда движения в этом суставе в фазе свободного скольжения у спортсмена снижаются. В этом случае можно говорить о том, что в рамках ОПЭ у спортсмена наблюдаются благоприятные изменения в технике движений, позволяющей снижать горизонтальные колебания ОЦМТ в момент приложения усилий и минимизировать его вертикальные колебания в фазе одноопорного скольжения.

С точки зрения направленности нагрузок можно утверждать, что на ОПЭ основной акцент делается на выполнение низкоскоростных упражнений как силовой направленности (гипертрофия мышц и силовая выносливость), так и циклического характера (дистанционные средства в 1-2 зонах интенсивности по ЧСС), при этом объем силовых нагрузок на мышцы плечевого пояса существенно превосходит объем упражнений на мышцы нижних конечностей.

Анализ биомеханической специфики применяемых средств подготовки в рамках ОПЭ показал, что в этот период времени применяются в основном неспецифические локомоции (бег, велоезда, ходьба), тогда как объем лыжероллерных упражнений значительно ниже. Ожидаемо, что высокий объем аэробных средств подготовки, выполняемых в низкоскоростном двигательном режиме (1-2 зоны интенсивности по ЧСС), практически не привел к изменению среднегрупповых показателей спортсменов, аэробной мощности быстрых мышечных волокон (мощность на уровне АиП) и максимального потребления кислорода. В то же время несколько неожиданно было наблюдать минимальные значения показателей мощности медленных мышечных волокон на данном этапе, хотя с логической точки зрения низкоскоростные длительные нагрузки должны были эффективно повышать сократительные возможности именно этих элементов мышц. По всей видимости, уровень механического стресса был недостаточным для инициации адаптационных перестроек в медленных мышечных волокнах высококвалифицированных спортсменов.

С позиции функциональных возможностей сердца также наблюдается интересная особенность: несмотря на низкоскоростной режим циклических упражнений большого объема, дилатация сердца существенно не изменилась (показатели ударного объема сердца), а значит уровень стрессогенности нагрузки по ЧСС, возможно, был недостаточен. Известно, что ударный объем сердца наиболее эффективно развивается при ЧСС равной 150-155 уд./мин, и вполне вероятно, что именно нагрузок в этом пульсовом коридоре биатлонистам высокой квалификации было недостаточно.

С позиции мощности работы сердца или его выталкивающей силы зафиксирована прогнозируемая картина – низкоинтенсивные нагрузки в 1-2 зонах ЧСС не создают должной силы тренирующих воздействий на данный компонент функциональных возможностей сердца спортсменов высокой квалификации.

В заключение обратимся к анализу динамики отдельных биохимических показателей крови, измеренных в крови биатлонистов на различных этапах подготовительного периода, и представленных на рисунке 3.6. В рамках ОПЭ наблюдались наиболее низкие за весь подготовительный период показатели повреждения мышц (КФК) на фоне максимальных анаболических возможностей гормональной системы (тестостерон). Умеренные концентрации кортизола в крови спортсменов на данном этапе подготовки указывают на то, что несмотря на высокий объем неспецифической циклической работы, создающей значительный уровень парасимпатического стресса, а также силовых нагрузок многоповторного характера, формирующих метаболический стресс, организму спортсменов удавалось удерживать умеренный уровень стрессогенности нагрузки.

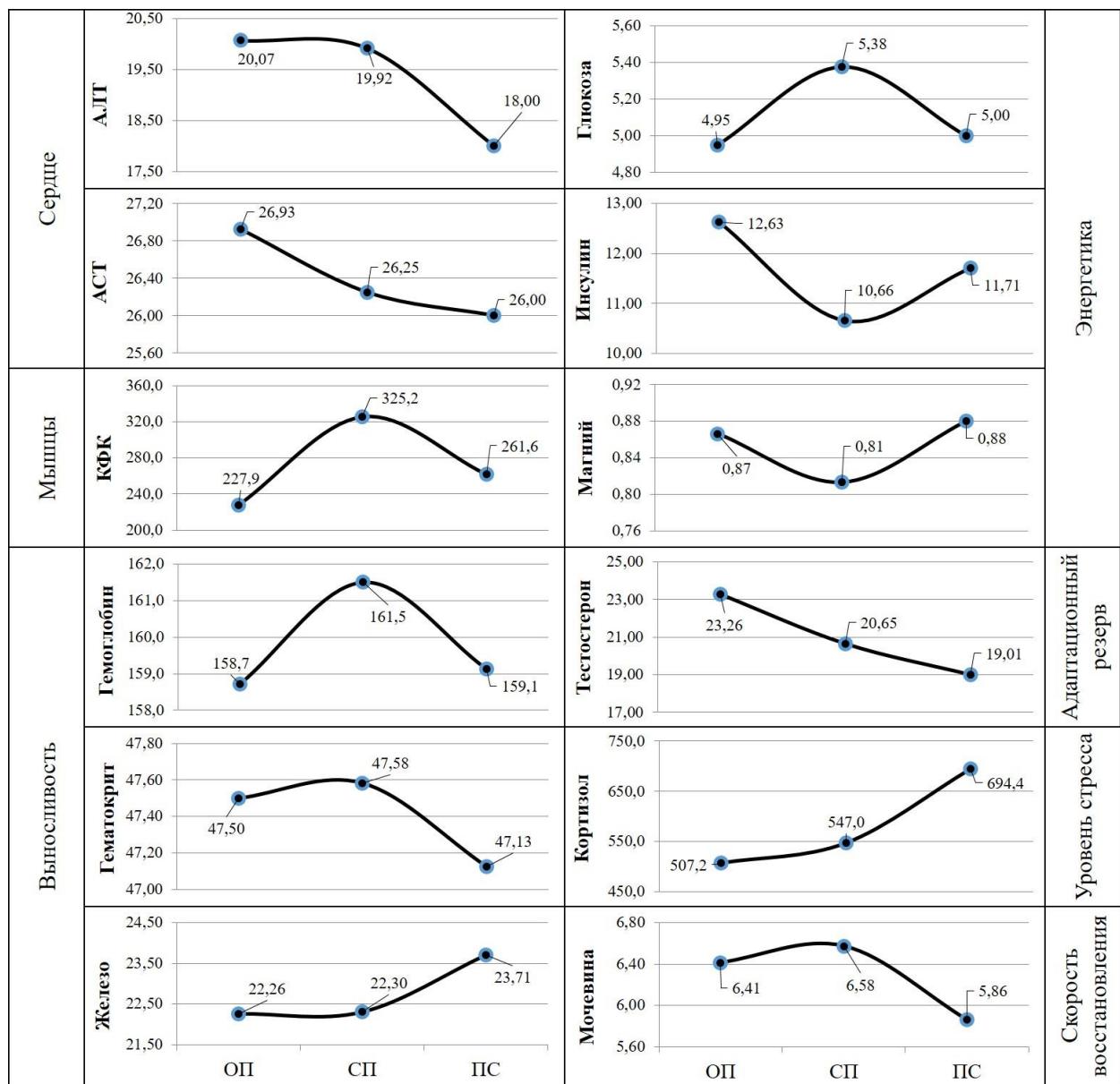


Рисунок 3.6 – Динамика биохимических маркеров, отражающих стресс-реакцию различных систем организма высококвалифицированных биатлонистов на различных этапах подготовительного периода

Спортсмены успешно справлялись с предлагаемыми циклическими и силовыми нагрузками, о чем указывают относительно невысокие концентрации мочевины в крови. Напомним, что уровень мочевины является индикатором предлагаемых нагрузок и восстановления – его повышение свидетельствует о напряженной мышечной работе и начале распада белков, а скорость нормализации отражает эффективность процессов восстановления.

Уровень маркеров, отражающих возможности энергетического обеспечения нервной системы и мышечного аппарата (глюкоза, инсулин), существенно не изменялся на всем протяжении подготовительного периода. При этом на ОПЭ значения обозначенных выше показателей были несколько ниже, чем на СПЭ. Концентрация магния, как

важнейшего регулятора процессов сокращения-расслабления мышц, а также катализатора метаболизма углеводов и жиров для выработки мышечной энергии, также практически не изменялась, и лишь тенденциозно была выше на ОПЭ по сравнению с другими этапами.

Таким образом, обобщив всю информацию, представленную выше, можно сделать ряд выводов:

1) у биатлонистов высокой квалификации на ОПЭ нагрузки не создают предельного уровня механического и метаболического стресса, что обеспечивает быстрое восстановление работоспособности мышц и нервной системы, тем самым создавая благоприятные условия для совершенствования отдельных элементов техники ООКХ или моторного переобучения спортсмена;

2) изменения техники ООКХ в первую очередь касаются снижения показателей суставных углов в КС, ТБС и ГС на фоне уменьшения рабочей амплитуды движения в этих суставах;

3) на ОПЭ не создается благоприятных условий для совершенствования техники ООКХ на высокой скорости – низкоскоростной характер силовых упражнений и неспецифических по биомеханике дистанционных средств подготовки не позволяют спортсмену проявлять высокие усилия в условиях снижения рабочей амплитуды движения в суставах, особенно в КС в фазе активного давления на опору;

4) низкоскоростные по времени и низкоинтенсивные по усилиям упражнения силового и циклического характера не обладают должной силой тренирующих воздействий на ССС с позиции увеличения размера сердца и повышения сократительных возможностей медленных мышечных волокон, что возможно требует пересмотра отношения объемов нагрузок в сторону 2-ой зоны интенсивности по ЧСС (150-155 уд./мин).

3.2.2 Специально-подготовительный этап

С позиции преимущественной направленности нагрузок на данном этапе возрастает доля дистанционных средств, выполняемых со скоростями, приближенными к предсоревновательной (3-ая зона интенсивности по ЧСС), соревновательной (4-ая зона интенсивности по ЧСС) и сверхсоревновательной (5-ая зона интенсивности по ЧСС). Иными словами, наблюдается постепенная интенсификация режимов работы мышц и переход от низкоскоростного (1-2 зоны интенсивности по ЧСС) к более высокоскоростному двигательному режиму (3-5 зоны интенсивности по ЧСС). При этом двигательный режим работы в 3-й зоне интенсивности по ЧСС является доминирующим среди высокоскоростных режимов работы мышц.

С повышением интенсивности мышечной работы происходит постепенная смена направленности тренировочных эффектов нагрузки – существенно больше нагрузки по

сравнению с ОПЭ приходится на быстрые мышечные волокна, что повышает не только уровень механического (напряжение мышц), но и метаболического стресса, связанного с закислением скелетных мышц. При рациональной организации тренировочных нагрузок высокой интенсивности создаются условия для повышения аэробных возможностей быстрых мышечных волокон – важнейшего фактора, определяющего работоспособность биатлониста в соревновательном периоде.

Увеличение доли высокоскоростных упражнений увеличивает требование к ССС, дыхательной и кислородтранспортной системам. Быстрые мышечные сокращения требуют и более быстрой доставки кислорода к мышечным клеткам, повышая нагрузку на сердце и дыхательные мышцы, в следствие чего наблюдается рост ЧСС, увеличивается сила сокращения миокарда и дыхательных мышц. При выполнении скоростных упражнений в 4-5-й зонах интенсивности по ЧСС создаются гипоксические условия работы организма, запуская цепь адаптационных процессов, направленных на повышение кислородной емкости крови, а именно усиливается эритропоэз и возрастает уровень гемоглобина в крови. Естественно, чтобы справиться с возросшей нагрузкой требуется усиление напряжения нервной системы по регуляции взаимодействия, в первую очередь, между системой управления движениями (техникой) мышечной системы и ССС. Кроме этого, существенно повышаются требования к гормональной системе в части восстановления затраченных ресурсов организма и обеспечения готовности спортсмена к очередной тренировке. С точки зрения силовых нагрузок, следует отметить смещение акцентов с низкоскоростных и низкоинтенсивных упражнений (гипертрофия и силовая выносливость) в сторону тех же низкоскоростных средств, но выполняемых с околопредельным мышечным напряжением, то есть в режиме максимальной силы. Такая направленность силовых упражнений требует предельной мобилизации нервных центров с целью преодоления сопротивления снаряда и задействует как медленные, так и быстрые мышечные волокна.

В связи с вышесказанным проанализируем, как изменяются кинематические показатели ООКХ на лыжероллерах у высококвалифицированных биатлонистов на данном этапе подготовительного периода. В первую очередь, следует отметить увеличение угла сгибания в ТБС и КС в момент постановки палок на опору на фоне роста амплитуды движения в этих суставах, а также незначительное изменение угла в ПС в момент постановки палок и уменьшение угла и амплитуды движения в ГС. Объединив и упорядочив работу всех четырех суставов в рамках фазы активного давления на опору и фазы свободного скольжения, можно констатировать положительные и отрицательные изменения в технике ООКХ спортсменов, а именно:

1) в качестве отрицательных изменений техники – спортсмен в момент атакующей позиции, из которой впоследствии будет развертываться вся последовательность двигательных действий, формирует такое положение тела, когда его ОЦМТ чрезмерно выходит за границы площади опоры, создавая стопорящий момент скорости в момент давления на палки;

2) положительными изменениями в технике лыжного движения следует считать снижение угла сгибания в ГС как в момент постановки палок, так и в фазе свободного скольжения, что указывает на снижение вертикальных колебаний ОЦМТ и повышение экономичности движений.

Принционально важным моментом является тот факт, что на всем протяжении этапа у спортсмена наблюдается следующая тенденция в изменении показателей времени и длины проката в фазе активного давления на опору и фазе одноопорного скольжения. В первой половине этапа – устойчивая длина проката и время отталкивания ногой в фазе активного давления на опору при сокращении времени отталкивания руками на фоне роста длины свободного скольжения. При таком соотношении времени и длины проката в двух обозначенных выше фазах наблюдается рост скорости в цикле ООКХ. Во второй половине СПЭ наблюдается сокращение времени и длины проката в обеих фазах, сопровождающееся снижением скорости цикла. Также следует отметить, что если длина проката в отдельных фазах и всего цикла движения демонстрирует некоторую волнообразность изменения в первой и второй половине СПЭ, то частота движений неуклонно повышается.

Обобщая все вышесказанное, можем констатировать, что в первой половине этапа биатлонисты не просто эффективно проявляют усилия в условиях лимита времени, но и эффективно переносят ОЦМТ в фазе свободного скольжения, минимизируя стопорящие моменты скорости, и повышают скорость цикла исключительно за счет техники. Иными словами, спортсмены меньше разгибают КС и больше сгибают ГС в фазе одноопорного скольжения, снижая вертикальные колебания ОЦМТ и повышая эффективность и экономичность движений на лыжероллерах.

Данные лабораторной диагностики показателей физической подготовленности указывают на отсутствие каких-либо значимых изменений силовых и скоростно-силовых способностей биатлонистов. Исключение составляет показатель мощности медленных мышечных волокон мышц плечевого пояса, что является важным фактором повышения локальной мышечной выносливости спортсменов. Обращает на себя внимание тот факт, что несмотря на повышение доли высокоскоростных циклических нагрузок и увеличения требований к ССС и аэробной производительности быстрых мышечных волокон, мы практически не наблюдали каких-либо изменений в функциональных возможностях мышц

и сердца на среднегрупповом уровне. Вместе с тем, ударный объем и мощность работы сердца имели минимальную тенденцию к снижению. Аэробные возможности мышц нижних конечностей также тенденциозно снижались, а плечевого пояса возрастали, но столь несущественно, что этим приростом можно пренебречь.

Мощность, развиваемая мышцами на уровне порога АиП, является функциональной «базой», определяющей скорость перемещения спортсмена по дистанции. По этому показателю мышцы нижних и верхних конечностей имеют слабую тенденцию к росту, позволяя нам констатировать тот факт, что несмотря на увеличение объема дистанционной работы в 3-й зоне интенсивности по ЧСС, выступающей основным тренировочным стимулом, повышающим аэробную производительность мышц, эффект от такой работы на данном этапе минимален.

С точки зрения изменений биохимического состава крови, отражающей, в том числе, стресс-реакцию организма на предлагаемые нагрузки, отметим, что говорить о некотором повышении уровня повреждений мышц (КФК) на фоне снижения мощности анаболической функции (тестостерон) и минимальном замедлении мощности восстановительных процессов в организме (мочевина) можно только на уровне слабых тенденций. Также следует отметить рост гемоглобина как реакцию организма на гипоксию нагрузки. В целом, данный этап подготовки несколько является более стрессогенным, чем ОПЭ, о чем указывает возросший средний уровень кортизола в крови спортсменов.

Повышенный объем высокоскоростных тренировок в рамках рассматриваемого этапа вынуждает организм переключаться на углеводный механизм энергообеспечения, что в свою очередь требует адекватного выброса инсулина в кровь для транспортировки глюкозы в мышечные клетки. Наблюдаемая при этом тенденция к снижению инсулина на фоне роста утренней глюкозы в крови может указывать на некоторое снижение резервных возможностей инсулярного аппарата в связи с либо завышенной частотой высокоинтенсивных тренировок, либо с недостаточным или несбалансированным углеводным питанием спортсменов.

Анализируя все вышесказанное можно сделать ряд выводов и предположений касаемо изменений физической и технической подготовленности биатлонистов высокого класса на СПЭ:

1) у биатлонистов высокой квалификации в равных пропорциях применяются как специфичные, так и неспецифические по биомеханике высокоскоростные упражнения, задачей которых является создание высокого уровня механического и метаболического стресса на организм спортсменов;

2) мышечная (КФК) и гормональная (кортизол/тестостерон) системы спортсменов на данном этапе подготовки наиболее остро по сравнению с другими системами организма реагируют на нагрузки повышенным уровнем напряжения;

3) высокоскоростной режим работы мышц в лыжероллерных упражнениях означает, что спортсмены перешли от этапа совершенствования отдельных элементов техники ООКХ к совершенствованию целостной структуры специализированного упражнения;

4) наиболее эффективно с позиции роста скорости цикла и пространственно-временной организации лыжероллерного упражнения проходят тренировки в первой части СПЭ, тогда как во второй его части спортсмены начинают формировать движение с ошибками, особенно в углах коленного и тазобедренного суставов при формировании атакующей позиции;

5) вполне вероятно, что высокий уровень мышечного и психоэмоционального напряжения, вызванный одновременно суммарно большим объемом нагрузки в сочетании с высокоскоростными упражнениями, не позволяет биатлонистам сохранять эффективность работы над совершенствованием техники лыжного упражнения в целостной структуре и на высокой скорости;

6) отсутствие на СПЭ существенных приростов в уровне развития различных компонентов физической подготовленности биатлонистов, несмотря на сочетание объемных низкоинтенсивных и высокоскоростных упражнений, могло быть связано со следующими обстоятельствами:

а) восстановительный микроцикл, в рамках которого спортсмены проходят лабораторное тестирование по оценке уровня физической подготовленности, не позволяет спортсменам восстановиться после нагрузочного учебно-тренировочного мероприятия, то есть этот микроцикл излишне интенсифицирован и блокирует эффект суперкомпенсации работоспособности;

б) сочетание объемных низкоинтенсивных циклических нагрузок с высокоскоростными дистанционными средствами, а также силовыми высокоинтенсивными упражнениями создают чрезмерный механический и метаболический стресс, что приводит к отрицательной интерференции эффектов нагрузок, и вынуждает нервную систему перейти в режим «выживания». Последний означает снижение мощности иннервации нервно-мышечного аппарата, потерю мотивации и создание отрицательных эмоций в процессе тренировок, что в совокупности приводит к снижению нагрузки на системы организма и эффективность скоростной работы снижается, не создавая должного адаптационного эффекта;

7) биохимический контроль позволяет оценить степень нагрузки, которую испытывают спортсмены, но определяемый у биатлонистов набор маркеров, по всей видимости, не может оценить ситуацию, когда относительно невысокие биохимические сдвиги в организме отражают не переносимость нагрузки, а активацию «защитных» механизмов со стороны ЦНС, ограничивающей дальнейшие сдвиги гомеостаза. В этом случае, регулярный мониторинг изменений в технике движений и появление «свежих» ошибок, нехарактерных для спортсмена, может являться более информативным прогностическим инструментом, отражающим текущее состояние нервной системы, чего не способен сделать биохимический мониторинг.

3.2.3 Предсоревновательный этап

Следующим этапом подготовки, который мы подвергли педагогическому анализу – ПСЭ. В нашем случае это не традиционный этап, когда спортсмены переходят на снег, а тот период времени, когда они завершают бесснежную подготовку на лыжероллерах. Предсоревновательным данный этап мы назвали потому, что в рамках него проходит летний Чемпионат России, являющийся определенным рубежом в подготовительном периоде и индикатором эффективности построения тренировочного процесса.

Как следует из информации, представленной в таблице 3.1, для ПСЭ бесснежной подготовки характерно резкое снижение суммарного объема циклической работы на фоне повышения интенсивности. Объем лыжероллерных упражнений, то есть специфических по биомеханике дистанционных средств, является доминирующим относительно неспецифических циклических упражнений. Объем силовой работы также снижается, при этом акцент смещается от низкоскоростных упражнений с большими весами (максимальная сила) к упражнениям с умеренным сопротивлением и максимальной скоростью выполнения – режим взрывной силы. Такой характер и направленность средств циклической и силовой подготовки, применяемые в данный период, указывают на стремление спортсмена оптимально согласовать работу ЦНС, мышечного аппарата и ССС по отношению к специальному виду работы – преодолению соревновательной дистанции на предельной мощности функционирования организма.

Естественно, в этот период времени наблюдается постепенная мобилизация психики и формирование мотивационно-двигательных установок на демонстрацию максимально высокого спортивного результата на предстоящем Чемпионате России. В данный период времени спортсмен больше ориентирован не на работу над техникой, а концентрация его внимания переключается на конечный результат – выполнение двигательного задания по преодолению модельных отрезков соревновательной дистанции снойской скоростью. Эффективность решения такой задачи возможна только в том случае, если психика

спортсмена переключается с сознательного контроля над движением на контроль интегрального субъективного ощущения продвижения вперед или «тяги», как говорят сами спортсмены. В сознании спортсмена если и отражаются ощущения, то только отдельных, субъективно трудных элементов, тогда как субъективно легкие детали движения переходят в плоскость автоматизированного контроля.

Регулярно преодолеваемые в течение учебно-тренировочного мероприятия болевые ощущения в мышцах, вызванные накоплением лактата, а также дыхательный дискомфорт в виде отдышики, формируют у биатлонистов высокую степень психического напряжения, сопровождаемого частой сменой настроения и колебаниями мотивации (от предельной мобилизации до безразличия к тренировкам). Естественно, в этом случае создаются значительные сложности с работой над совершенствованием техники движений на лыжероллерах и предельно возрастают требования к правильному распределению нагрузок высокой и низкой интенсивности, разгружающей нервную систему внутри микроцикла, чтобы не вызвать перенапряжение или срыв адаптации у спортсменов.

Говоря об изменении кинематических параметров лыжероллерного упражнения на данном этапе подготовки, в первую очередь отметим одновременный рост у спортсменов как длины, так и частоты лыжных шагов, что сопровождается повышением скорости цикла. С точки зрения активного давления на опору, можем отметить увеличение длины проката на фоне снижения времени приложения усилий руками и увеличение времени отталкивания ногой, в результате чего общее время периода остается неизменным, однако спортсмен продвигается вперед дальше, а значит возрастает эффективность приложения усилий. Фаза свободного скольжения также претерпевает положительные изменения – увеличивается длина проката, что в сочетании с повышением длины проката в фазе активного давления на опору обеспечивает рост всего цикла ООКХ.

В то же время необходимо обратить внимание на тот факт, что момент формирования атакующей позиции, переходящий в фазу активного давления на опору, у биатлонистов в среднем по группе наблюдается увеличение угла сгибания в голеностопном и коленном суставах. Соответственно, спортсмены стали излишне высоко приподниматься на ноге при постановке палок, создавая стопорящий момент скорости движения. Кроме того, в момент подседа и сгибания КС и ТБС спортсмен не осуществляет тыльное сгибание ГС, в результате чего его ОЦМТ чрезмерно смещается назад, создавая форму движения в виде «приседа на стул», формируя стопорящий момент скорости. В фазе свободного скольжения спортсмен также не перемещает ОЦМТ вперед за счет тыльного сгибания в ГС, а решает задачу через разгибание в КС, что снижает экономичность движений и не создает инерции, наращивающей скорость движения в данной фазе. Все вышесказанное означает,

что на ПСЭ бесснежной подготовки биатлонисты наращивают скорость цикла не столько за счет техники движений, сколько за счет возросшего уровня способности проявлять усилия при неоптимальном варианте построения лыжных локомоций.

Анализ изменения показателей различных компонентов физической подготовленности позволяет заключить, что наблюдаемые усредненные изменения по всей группе биатлонистов проявляются только на уровне крайне слабых тенденций. С этих позиций можно отметить некоторое предсказуемое увеличение тех компонентов физической подготовленности, для изменения которых требуется высокоскоростной режим работы с околомаксимальным или максимальным уровнями ЧСС, отражающий степень напряжения ССС. Соответственно, на уровне тенденций мы наблюдаем у биатлонистов повышение МПК, а также механическую мощность или скорость на уровне ПАНО. Напомним, что именно мощность (скорость) перемещения спортсмена на уровне ПАНО тесно коррелирует со скоростью преодоления соревновательной дистанции.

Примечательно, что аэробные возможности мышц ног в этот период времени снижаются (VO_2 на ПАНО ног), но как мы уже отмечали, скорость на уровне ПАНО растет, а значит у спортсмена повысилась экономичность бега. Аналогичная ситуация наблюдается и при работе плечевого пояса на специальном лыжном тренажере: скорость на уровне ПАНО возрастает, тогда как потребление кислорода практически не меняется. Также отметим, что мощность мышц верхних и нижних конечностей тенденциозно возрастает аналогично мощности на уровне ПАНО, что, возможно, связано с проявлением экономичности движений, а также с повышением способности биатлонистов проявлять мышечные усилия в условиях неоптимальной механики движений.

Характерно, что максимальная сила мышц ног спортсменов в этот период не повышается, тогда как МАМ растет, что означает повышение способности спортсмена проявлять усилия в условиях лимита времени. Данное обстоятельство крайне важно с точки зрения объяснения того, почему у спортсменов возрастает частота специализированных движений на фоне роста длины шага. Умение за короткое время развить нужную величину усилий (МАМ рук и ног), по всей видимости, определяют способность биатлониста одновременно наращивать длину и частоту шагов. Соответственно, повышение мощности мышц верхних и нижних конечностей на данном этапе подготовительного периода является крайне важной стороной тренировочного процесса, расширяющей функциональные возможности соревновательной системы движений на лыжероллерах.

В качестве отдельного факта следует выделить снижение ударного объема и функциональной мощности сердца. В отношении ударного объема эффект достаточно прогнозируем – слишком высокая интенсивность ЧСС (свыше 180 уд./мин) не способствует

росту ударного объема, для которого оптимальна ЧСС в диапазоне 150-155 уд./мин. В то же время факт снижения выталкивающей силы сердца остается недостаточно объяснимым, поскольку высокий уровень ЧСС (свыше 180 уд./мин), развивающийся в процессе скоростных тренировок, теоретически должен вызвать существенное напряжение миокарда и повышение силы сердечной мышцы. Однако, исходя из результатов лабораторного тестирования данных адаптационных перестроек в сердце не происходит.

Также стоит отметить незначительное увеличение жировой и мышечной масс спортсменов на данном этапе подготовки. Рост жировой массы указывает на несбалансированность объема высокоскоростных и низкоскоростных дистанционных средств подготовки с преобладанием высокоскоростных упражнений. В то же время рост мышечной массы указывает на то, что, с одной стороны, нагрузки гликолитического (гипоксического) характера с высокой величиной механического стресса, вызывающей рост мышечной массы, действительно, являются доминирующими, а, с другой стороны, повышение мышечной массы, несмотря на высокий объем скоростной работы, указывает на то, что гормональная анаболическая система (тестостерон) хоть и работает под напряжением, но справляется с уровнем метаболического и механического стресса.

Анализ величины стресс-реакции различных систем организма в ответ на высокоскоростные тренировки на ПСЭ бесснежной подготовки по результатам биохимического мониторинга позволяет говорить о наличии существенного напряжения анаболической системы (снижение концентрации тестостерона) и возрастании общего уровня стресса (рост уровня кортизола в крови спортсменов). При этом наблюдается снижение содержания мочевины, а значит мощности анаболических процессов достаточно для восстановления организма биатлонистов после напряженных нагрузок.

Примечательно, что уровень повреждения скелетных мышц (активность КФК) снижается, несмотря на преобладание высокоскоростных нагрузок. Можно предполагать, что сформированная на предыдущих этапах с помощью неспецифических беговых и прыжковых упражнений морфофункциональная «база» скелетных мышц позволяет им на ПСЭ выдерживать механическое напряжение, вызванное менее травмирующими упражнениями на лыжероллерах. Таким образом, на ПСЭ мышцы биатлониста обладают достаточно высоким уровнем устойчивости к повреждениям и тем самым сохраняют свои сократительные способности от тренировки к тренировке, несмотря на преобладание высокоскоростного режима работы мышц в применяемых упражнениях.

Возможности кислородтранспортной системы изменяются однонаправленно – уровень гемоглобина и гематокрит снижаются несущественно. В результате минимальное снижение кислородной емкости крови (гемоглобин) компенсируется уменьшением ее

вязкости (гематокрит), и, соответственно, угроза недостаточной скорости доставки кислорода к тканям маловероятна.

Энергетические компоненты мышечной работоспособности также изменяются незначительно и не создают угрозу снижения работоспособности спортсмена – на фоне падения уровня глюкозы (отрицательный фактор) в крови наблюдается рост мощности инсулиновой функции, усиливающей доставку энергетического субстрата (глюкозы) к мышцам и мозгу (положительный фактор).

Уровень магния, как важнейшего компонента, определяющего скорость сокращения-расслабления мышц, тенденциозно повышается, поддерживая готовность мышц биатлонистов к высокоскоростному режиму работы.

Проведенный анализ параметров тренировочных нагрузок и характера изменений уровня физической и технической подготовленности высококвалифицированных биатлонистов на ПСЭ бесснежной подготовки позволяет сформулировать ряд выводов:

1) преобладание высокоскоростных и специфических по биомеханике дистанционных средств подготовки в сочетании с высокоскоростными упражнениями неспецифического характера (взрывная и быстрая сила) обеспечивает:

а) повышение скорости цикла ООКХ за счет увеличения длины фазы активного давления на опору и фазы свободного скольжения при сохранении общего времени приложения усилий;

б) одновременный рост длины и частоты лыжных шагов, а соответственно, и скорости цикла ООКХ;

2) преобладание высокоскоростных и специфических по биомеханике дистанционных средств подготовки в сочетании с высокоскоростными упражнениями неспецифического характера (взрывная и быстрая сила) не обеспечивает эффективную перестройку механики движения ООКХ, а именно:

а) спортсмен принимает излишне вертикальное положение колена и более выпрямленную ногу в коленном суставе при постановке палок на опору в момент формирования атакующей позиции;

б) в момент давления на опору руками и ногой спортсмен не создает тыльное сгибание в ГС при сгибании КС и ТБС, что вызывает смещение ОЦМТ назад за площадь лыжного ботинка, формируя стопорящий момент скорости;

в) в фазе свободного скольжения спортсмен перемещает ОЦМТ не за счет тыльного сгибания ГС, а за счет разгибания КС, что увеличивает вертикальные колебания ОЦМТ и снижает экономичность и инерционность движения;

3) можно констатировать, что основной вклад в создание скорости цикла ООКХ вносит натренированная высокоскоростными упражнениями способность спортсмена прикладывать повышенные усилия при том же времени, затрачиваемом на производство движения, а не сама техника (биомеханика) движений;

4) преобладание высокоскоростных и специфических по биомеханике дистанционных средств подготовки в сочетании с высокоскоростными упражнениями неспецифического характера (взрывная и быстрая сила), выполняемыми на фоне снижения суммарного объема работы, не создают условий для повышения максимальной силы мышц, аэробных возможностей быстрых мышечных волокон и ударного объема сердца. Соответственно, СПЭ, предшествующий ПСЭ бесснежной подготовки, является важнейшим с точки зрения формирования силовой, аэробной и вегетативной «базы», определяющей выносливость биатлониста высокой квалификации;

5) снижение суммарного объема нагрузки на фоне преобладания высокоскоростных и специфических по биомеханике дистанционных средств подготовки в сочетании с высокоскоростными упражнениями неспецифического характера (взрывная и быстрая сила) обеспечивает рост взрывной силы мышц, МПК и скорости бега на уровне ПАНО, что повышает функциональные возможности соревновательного упражнения на лыжероллерах;

6) преобладание высокоскоростных и специфических по биомеханике дистанционных средств подготовки требует постоянной готовности нервно-мышечного аппарата спортсмена к напряженной работе практически на каждой тренировке, не допуская существенного травматизма мышц. Установленное нами в ходе биохимического мониторинга спортсменов снижение уровня КФК на ПСЭ указывает на важнейшую роль СПЭ в повышении травмоустойчивости скелетных мышц, благодаря применению средств подготовки с реактивно-баллистическим типом мышечных сокращений: упругий бег, прыжки, имитация;

7) преобладание высокоскоростных и специфических по биомеханике дистанционных средств подготовки в сочетании с высокоскоростными упражнениями неспецифического характера (взрывная и быстрая сила) вызывает существенное напряжение гормональной анаболической системы (тестостерон) на фоне высокой активности стресс-реализующей системы (кортизол), что предъявляет высокие требования к сочетанию нагрузок низкой и высокой интенсивности. Обнаруженное нами увеличение жировой массы у биатлонистов на данном этапе подготовки указывает на неоптимальное сочетание в одном тренировочном дне или микроцикле восстановительно-аэробных и ударных-анаэробных типов нагрузок.

Комплексный анализ трех этапов подготовки биатлонистов высокой квалификации позволяет выделить ряд ключевых особенностей содержания и организации нагрузок физической и технической подготовки, а также особенности переносимости этих нагрузок спортсменами.

В первую очередь, говоря об изменениях техники и кинематических параметров лыжероллерного упражнения, следует выделить два направления технической подготовки биатлонистов:

1) повышение биомеханической целесообразности лыжероллерного упражнения – спортсмены совершенствуют пространственную организацию движения через изменение соотношения суставных углов и амплитуд движения в период активного давления на опору и фазе свободного скольжения с целью минимизации стопорящих моментов скорости, вертикализации и увеличения инерции перемещения ОЦМТ;

2) функциональное совершенствование лыжероллерного упражнения – спортсмены стремятся как можно эффективнее проявить усилия в сформированной биомеханике ООКХ и достичь предельной скорости передвижения.

Решение задачи по формированию биомеханически целесообразной структуры лыжероллерного движения осуществляется биатлонистами в рамках ОПЭ, когда спортсмены имеют возможность, не предъявляя высоких требований к нервно-мышечному аппарату и кардиореспираторной системе, исправить или восстановить технику отдельных элементов фаз движений. Расширение функциональных возможностей соревновательной системы лыжероллерного упражнения начинается на СПЭ, но наиболее эффективно происходит в рамках ПСЭ бесснежной подготовки.

Для обеспечения направленного функционального совершенствования соревновательного упражнения биатлонисты применяют высокоскоростные специфические упражнения на лыжероллерах, требующие высокого уровня развития аэробной мощности скелетных мышц, взрывной силы и МПК. В этой связи, задача СПЭ заключается в развитии должного уровня ударного объема сердца, максимальной силы и аэробных возможностей быстрых мышечных волокон как морффункциональной «базы» для достижения предельной моторной производительности на ПСЭ. Основная проблема в этом случае заключается в том, что спортсмены не могут сохранить достигнутую на ОПЭ биомеханическую целесообразность движений в период перехода к высокоскоростным специфическим упражнениям на ПСЭ, то есть рациональная биомеханика приносится в «жертву» функциональной мощности движений.

Одна из основных, и, к сожалению, нерешенных задач заключается в том, что к моменту начала ПСЭ, вероятно, средства СФП обеспечивают опережающее развитие

функциональных возможностей организма относительно «техники» специализированных движений. Нервная система не успевает перепрограммировать моторные схемы лыжероллерного упражнения под изменившиеся возможности организма – тело становится сильнее, быстрее и выносливее, но мозг и координация еще не оптимально «настроены» на работу в таких измененных условиях, поэтому техника страдает. Соответственно, можно предположить, что во второй части СПЭ и в начале ПСЭ требуется дополнительная работа над техникой специализированных локомоций, чтобы успеть синхронизировать ее с повышенным уровнем физической подготовленности.

Проведенный нами анализ позволяет предположить, что у биатлонистов высокой квалификации на ПСЭ бесснежной подготовки наблюдается форсированный переход от неспецифических скоростных упражнений к высокоскоростным специфическим движениям, не позволяющий нервной системе своевременно адаптировать технику под предлагаемый скоростной режим работы мышц.

С точки зрения переносимости спортсменами предлагаемых объемов и интенсивности нагрузок, следует отметить достаточно важный аспект – изменения биохимических показателей крови не сигнализируют о критичных изменениях гомеостаза организма. В то же время техника движений спортсменов претерпевает существенные изменения на различных этапах подготовительного периода. Таким образом, можно предположить, что изменением механики движений нервная система чутко реагирует на, казалось бы, незначительные, по мнению тренера и специалистов, колебания гормонов, метаболитов, микро и макроэлементов крови, определяемых после каждого биохимического обследования спортсменов. Не случайно у специалистов в области когнитивной нейробиологии существует следующее выражение – «в мозге нет ничего такого, что не было бы отражено в рабочей позе человека». Но как мы знаем, поза – это «остановленное движение», поэтому наблюдая за ее изменением, мы судим и об изменении техники движения, а через нее рассуждаем о текущем состоянии спортсмена. Опытный тренер способен без приборов и расчетов определить, в каком состоянии в данный момент времени находится спортсмен, просто увидев, как он движется.

В связи с вышесказанным можно предполагать, что биохимический мониторинг высококвалифицированных биатлонистов адекватно отражает сдвиг гомеостаза ведущих систем, но при этом неточно предсказывает текущее состояние готовности нервной системы к работе над техникой движений. В итоге тренер по изменению КФК достаточно точно предсказывает степень травматизма мышц и их готовность к работе в высокоскоростном режиме, но не может точно прогнозировать, насколько критично нервная система воспринимает такой сдвиг в мышечной или любой другой системе с

позиции управления движениями на высокой скорости. Соответственно, чтобы обеспечить эффективное сопряжение технических и функциональных тренировок, а также принимать объективные управленические решения о том, специфические или неспецифические дистанционные средства выбрать в данный момент на тренировке, необходимо постоянно мониторить технику движений спортсменов. Появление «свежих» ошибок или потеря динамики движения в той или иной фазе (неакцентированная постановка палок, затянутое по времени отталкивание ногой и так далее) мгновенно подскажут тренеру, в каком состоянии находится спортсмен, и насколько он готов выполнять нагрузки в специфической механике движений на лыжероллерах.

4 Методические рекомендации по планированию тренировочного процесса высококвалифицированных биатлонистов в рамках подготовительного периода

Планирование тренировочного процесса в рамках подготовительного периода представляет собой специально организованную деятельность, предусматривающую разработку, организацию и контроль тренировочных мероприятий, содержание которых упорядочено таким образом, что они превращают весь период подготовки в монолитную и конкретно-целенаправленную систему тренирующих воздействий, ориентированную на достижение готовности спортсмена к демонстрации максимально высокого спортивного результата. В соответствии с данным определением ниже представлены рекомендации по организации и контролю процесса подготовки биатлонистов высокого класса в подготовительном периоде годичного цикла.

4.1 Методические рекомендации по организации и содержанию тренировочных нагрузок

Организация нагрузок представляет собой процесс системного использования комплекса разнообразных средств и методов подготовки, основанный на таком сочетании и упорядочивания во времени тренирующих воздействий, при котором достигается запланированный адаптационный эффект в рамках конкретного периода времени.

1. С позиции организации нагрузок СФП у высококвалифицированных биатлонистов в рамках подготовительного периода рекомендуется:

- в рамках ОПЭ планировать следующие задачи:
 - ✓ повышение мышечной гипертрофии, в том числе медленных мышечных волокон, а также максимальной силы мышц;
 - ✓ повышение полостей сердца и аэробных возможностей преимущественно медленных мышечных волокон дистанционными средствами невысокой интенсивности;
- в рамках ОПЭ планировать следующий объем «силовых» и циклических средств подготовки:
 - ✓ силовые упражнения для роста мышечной массы и максимальной силы: 2 тренировки в микроцикл (6-7 дней); комплекс из 5-6 упражнений, 3-4 подхода по 5 повторений для роста максимальной силы и 10-12 повторений для гипертрофии мышц;
 - ✓ циклические упражнения для повышения полостей сердца и аэробных возможностей преимущественно медленных мышечных волокон в рамках тренировочного мезоцикла продолжительностью 18-21 день:
 - а) в среднем в день рекомендуется 2-2.5 ч низкоинтенсивных нагрузок (1-2-я зоны интенсивности по ЧСС);
 - б) 10-11 мин нагрузок умеренной интенсивности (3-я зона интенсивности по ЧСС);

в) 6-7 мин высокоинтенсивных нагрузок (4-5-ая зоны интенсивности по ЧСС);

✓ в первой половине данного этапа преимущественно использовать неспецифические по биомеханике дистанционные средства подготовки (бег, велоезда, ходьба, шаговая и прыжковая имитация), выполняемые продолжительное время на низкой скорости, тогда как во второй половине этапа акцент должен постепенно смещаться к применению биомеханически подобных упражнений – лыжероллеров, а также имитационных упражнений (прыжковая имитация и лыжный тренажер), выполняемых на невысокой скорости с акцентом на силовой компонент работы рук/ног при оптимальной частоте движений;

– в рамках СПЭ планировать следующие задачи:

✓ поддержание максимальной и повышение взрывной силы мышц;

✓ повышение мощности сердца и дыхательных мышц, аэробной мощности и функциональной производительности системы транспорта лактата из быстрых мышечных волокнах в кровь преимущественно за счет циклических упражнений, выполняемых со скоростью ниже соревновательной, но с высоким акцентом усилий; на соревновательной и сверхсоревновательной скоростях;

– в рамках СПЭ планировать следующий объем «силовых» и циклических средств подготовки:

✓ силовые упражнения для роста максимальной и взрывной силы: 2 тренировки в микроцикл (6-7 дней); 5-6 упражнений в комплексе, 3-4 подхода по 5 повторений для роста максимальной силы и 6-7 повторений для повышения взрывной силы мышц;

✓ циклические упражнения для повышения мощности сердца и аэробной мощности быстрых мышечных волокон в рамках тренировочного мезоцикла продолжительностью 18-21 день:

а) 2.5-3 ч нагрузок низкой интенсивности (1-2-ая зоны интенсивности по ЧСС);
б) 16-17 мин умеренной интенсивности (3-ая зона интенсивности по ЧСС);
в) 12-13 мин высокоинтенсивных нагрузок с соревновательной и сверхсоревновательной скоростями (4-5-ая зоны интенсивности по ЧСС);

✓ основной объем дистанционных упражнений развивающего характера – биомеханически подобные упражнения (лыжероллеры) и высокоинтенсивные прыжковые упражнения (прыжковая имитация);

– в рамках ПСЭ планировать следующие задачи:

✓ поддержание максимальной и взрывной силы мышц;

✓ достижение высокой скорости развертывания функциональных реакций организма с момента начала высокоскоростной работы;

✓ достижение предельной способности кардиореспираторной системы сохранять мощность работы на фоне нехватки кислорода и закисления крови;

– в рамках **ПСЭ планировать следующий объем «силовых» и циклических средств подготовки:**

✓ силовые упражнения для поддержания максимальной и взрывной сил: 2 тренировки в микроцикл (6-7 дней); 4-5 упражнений в комплексе, 2-3 подхода по 5 повторений для сохранения максимальной силы и 5-6 повторений для поддержания взрывной силы мышц;

✓ циклические упражнения для повышения устойчивости работы кардиореспираторной системы в условиях нехватки кислорода и закисления крови в рамках тренировочного мезоцикла продолжительностью от 21 до 25 дней:

- а) 2-2.2 ч нагрузок низкой интенсивности (1-2-ая зоны интенсивности по ЧСС);
- б) 10-11 мин нагрузок до соревновательной скорости (3-я зона интенсивности по ЧСС);
- в) 15-12 мин высокоинтенсивных нагрузок с соревновательной и сверхсоревновательной скоростями (4-5-ая зоны интенсивности по ЧСС);

✓ основной объем дистанционных упражнений развивающего характера – перемещение на лыжах в высокоскоростном двигательном режиме, в том числе, моделирующем тактику прохождения соревновательной дистанции.

2. С позиции организации нагрузок специальной технической подготовки у высококвалифицированных биатлонистов в рамках подготовительного периода рекомендуется:

– в рамках **ОПЭ планировать следующие задачи:**

- ✓ повышение длины лыжных шагов при снижении частоты движений;
- ✓ увеличение времени производства движения в фазе активного давления на опору;
- ✓ сокращение длины проката в фазе свободного скольжения на фоне увеличения длины шага в фазе активного давления на опору;

– в рамках **ОПЭ планировать нагрузку и концентрировать внимание на следующих аспектах техники выполнения циклических упражнений, обладающих биомеханическим подобием соревновательному движению:**

- ✓ 1.5 ч/день упражнений на лыжероллерах;
- ✓ исходя из анализа временных параметров выполнения различных фаз ООКХ, с целью повышения эффективности «переноса» мощности рабочих усилий, достигнутой при выполнении имитационных упражнений, на соревновательное движение

рекомендуется выполнять биомеханически подобные упражнения (коньковая прыжковая имитация, лыжный тренажер) с такой величиной дополнительного сопротивления, чтобы время каждого цикла составляло ~1 с, при этом темп может быть ниже соревновательного, чтобы не вызывать чрезмерного закисления мышц (лактат выше 3.5-4 мМ/л) и интенсификации работы кардиореспираторной системы (ЧСС выше 155-165 уд./мин);

✓ основной акцент упражнений на лыжероллерах с дополнительным сопротивлением (волокуша, пересеченная местность, добавочное отягощение в форме жилета и так далее) необходимо делать на мощности усилий, развиваемых за 1 с при сниженном темпе, и обязательном сохранении техники движений;

✓ упражнения на лыжероллерах с дополнительным отягощением рекомендуется включать в тренировочную программу только после того, как будет выполнен блок силовых тренировок в режиме максимальной силы и устраниены «свежие» ошибки в технике, которые могли появиться у спортсмена после длительного весеннего переходного периода;

✓ при выполнении упражнений на лыжероллерах с дополнительным отягощением рекомендуется сохранять постоянную концентрацию внимания и контроль мышечных ощущений на тех элементах техники, которые обладали низкой надежностью в прошедшем соревновательном периоде;

✓ рекомендуется в одном задании сочетать упражнения на лыжероллерах с повышенным сопротивлением и «чистые» неотягощенные движения, выполняемые на околосоревновательной скорости. В таком случае снятие дополнительной нагрузки означает мгновенное ограничение дополнительных «шумовых» сигналов в нервную систему и резкое улучшение качества восприятия и осознанности «чистого» движения, а, следовательно, повышается эффективность работы над техникой специализированных локомоций;

✓ упражнения на лыжероллерах скоростно-силового характера, направленные на поддержание скоростной координации движений, рекомендуется включать во второй части этапа подготовки, когда спортсмен уже восстановил технику специализированных локомоций, при этом:

а) упражнение должно выполняться со скоростью, незначительно превышающей скорость на дистанции 10 км, с целью сохранения сознательного контроля за техникой движений;

б) работа выполняется серийно (5-7 отрезков в серии) для недопущения чрезмерного закисления мышц и появления ошибок в технике;

в) продолжительность каждого отрезка от 10 до 45 с;

- г) отношение нагрузки и отдыха в рамках каждой серии – 1:1 или 1:2;
- д) количество серий 2-3;
- е) отдых между сериями 4-6 мин;
- в рамках **СПЭ планировать следующие задачи:**
- ✓ повышение длины и частоты лыжных шагов;
 - ✓ сокращение времени производства движения в фазе активного давления на опору;
 - ✓ сохранение длины проката в фазе активного давления на опору и свободного скольжения;
- в рамках **СПЭ планировать нагрузку и концентрировать внимание на следующих аспектах техники выполнения циклических упражнений, обладающих биомеханическим подобием соревновательному движению:**
- ✓ 2 ч/день упражнений на лыжероллерах;
 - ✓ исходя из анализа временных параметров выполнения различных фаз ООКХ, с целью повышения эффективности «переноса» мощности рабочих усилий, достигнутой при выполнении имитационных упражнений, на соревновательное движение рекомендуется выполнять биомеханически подобные упражнения (коньковая прыжковая имитация, лыжный тренажер) с такой величиной дополнительного сопротивления, чтобы время каждого цикла составляло ~1 с, при этом темп движений должен соответствовать соревновательному либо незначительно (2-3 цикл/мин) превышать его;
 - ✓ в рамках микроцикла подготовки (6-7 дней) рекомендуется включать 1-2 тренировочных занятия, комбинируя упражнения с повышенной величиной внешнего сопротивления и темпом 1 цикл/с на лыжном тренажере и/или в коньковой имитации с перемещением на лыжероллерах со скоростью, не превышающей 3-ю зону интенсивности по ЧСС и концентрацией лактата в крови не выше 4-5 мМ/л. В таком случае предварительная активация моторной схемы движения и ведущих «лыжных» мышечных групп в имитационных упражнениях позволит спортсмену эффективнее корректировать технику в последующем лыжероллерном упражнении;
 - ✓ основной акцент на лыжероллерах с дополнительным сопротивлением (волокуша, пересеченная местность, добавочное отягощение в форме жилета и так далее) необходимо делать на мощности усилий, развиваемых за 1 с при соревновательном темпе, и обязательном сохранении техники движений;
 - ✓ когда спортсмен выполняет упражнения на лыжероллерах с высоким усилием или скоростью перемещения по дистанции, рекомендуется после каждого отрезка работы осуществлять срочный контроль за техникой движения. В случае если у спортсмена

появляются «свежие» ошибки, не целесообразно начинать следующий отрезок работы без выполнения этого же (или имитационного) упражнения на низкой скорости и акцентом внимания на технике появившегося «нестабильного» элемента движений, чтобы стереть из памяти ошибочную моторную схему и запустить процессы обновления моторной программы лыжного паттерна;

✓ силовые нагрузки в режиме максимальной и взрывной (быстрой) сил целесообразно планировать на дни перед так называемым «разгрузочным» днем и накануне сугубого отдыха;

✓ первая (утренняя) тренировка на лыжероллерах после силовой работы должна быть «технически-коррекционной» и низкоинтенсивной, то есть посвящена восстановлению соотношения силового «тонуса» между ведущими мышечными группами, который мог быть нарушен неспецифическими по биомеханике силовыми упражнениями;

– в рамках **ПСЭ бесснежной подготовки планировать следующие задачи:**

✓ обеспечить повышение длины и частоты лыжных шагов;

✓ сохранить, а при возможности сократить время производства движения в фазе активного давления на опору;

✓ увеличить длину проката в фазах активного давления на опору и свободного скольжения;

– в рамках **ПСЭ бесснежной подготовки планировать нагрузку и концентрировать внимание на следующих аспектах техники выполнения циклических упражнений, обладающих биомеханическим подобием соревновательному движению:**

✓ разделить условно этап на два «блока» или мезоцикла – первый «блок» продолжительностью 3-4 недели ставит задачу применения высокоскоростных упражнений на лыжероллерах в состоянии относительного восстановления организма спортсмена, тогда как второй протяженностью 1.5-2 недели должен решать задачу совершенствования техники ООКХ на фоне утомления;

✓ в каждом «блоке» планировать микроциклы подготовки таким образом, чтобы на фоне высокоинтенсивных средств СФП удавалось решать две задачи технической подготовки: поддержание биомеханической целесообразности и функциональное совершенствование техники ООКХ;

✓ стремиться обеспечивать биомеханическую целесообразность техники ООКХ за счет:

а) одновременного сгибания в КС и ГС в момент постановки палок и активного давления на опору, не допуская горизонтального смещения ОЦМТ назад;

б) с целью повышения экономичности и инерционности движений перемещения ОЦМТ в фазе свободного скольжения осуществлять преимущественно за счет тыльного сгибания голени, а не разгибания в КС;

✓ функциональное совершенствование техники ООКХ обеспечивать за счет тренировок на лыжероллерах, выполняемых с соревновательной и сверхсоревновательной скоростями движений с концентрацией внимания на наиболее субъективно сложных элементах техники;

✓ в рамках первого «блока» в первой половине недельного микроцикла целесообразно применять высокоскоростные и относительно продолжительные упражнения (8-10 мин), направленные на функциональное совершенствование техники ООКХ, тогда как во второй половине микроцикла, когда у биатлонистов наблюдается накопление утомления, лучше совершенствовать отдельные детали техники на низкой скорости и устойчивым контролем внимания;

✓ в связи с тем, что во второй половине микроцикла у спортсменов наблюдается высокий уровень утомления, целесообразно применять высокоинтенсивные и продолжительные упражнения в неспецифической биомеханике движений (темповой кросс, прыжковая имитация) с целью минимизации появления ошибок в технике ООКХ;

✓ для восстановления психики спортсменов и сохранения четкости восприятия ощущений техники движений на лыжероллерах рекомендуется во второй части микроцикла (5-6 тренировочный день) выполнять упражнения с непредельной скоростью (немного выше соревновательной скорости на 10 км) повторно-серийным или переменным методом;

✓ в рамках повторно-серийного метода рекомендуется использовать 2-4 серии из 5-6 отрезков ускорений продолжительностью 10-30 с с интервалом отдыха между отрезками от 30 с до 1 мин и 5-6 мин между сериями;

✓ при выполнении упражнений переменным методом рекомендуется включать в длительную равномерную работу 10-12 отрезков ускорений с непредельной скоростью продолжительностью от 10 до 20 с и интервалом отдыха от 2 до 6-8 мин;

✓ силовые тренировки должны быть направлены не на развитие «силы» как самоцели, а создавать тонус в нервной системе и мышечном аппарате, который как фон мог бы быть использован для повышения мощности отталкивания и лучшей осознанности (контроля) над техникой упражнений на лыжероллерах, в том числе на высокой скорости;

✓ в рамках микроцикла рекомендуется сочетать два тренировочных дня: в первый день проводится вечерняя силовая тренировка, а утром следующего дня – упражнение на лыжероллерах со скоростью 3-4 зоны интенсивности по ЧСС;

- ✓ в случае если силовая тренировка «перегрузила» нервно-мышечный аппарат спортсмена, рекомендуется сместить скоростную тренировку на лыжероллерах на вечер следующего дня, а утром провести низкоскоростную тренировку для восстановления баланса возбуждения и торможения в нервной системе;
- ✓ во втором «блоке» рекомендуется строить микроцикл с акцентом на закрепление техники ООКХ на фоне утомления, достигнутого преимущественно неспецифическими дистанционными или силовыми упражнениями;
- ✓ рекомендуется выполнять силовые нагрузки накануне утренней скоростной тренировки на лыжероллерах или утром того же дня, но в этом случае высокоскоростная тренировка переносится на вечернее время;
- ✓ силовые упражнения рекомендуется выполнять кластерным методом в режиме максимальной силы:
 - а) каждый подход из 5 повторов разбить на 3 серии (например, 2-2-1) с интервалом отдыха 30 с между кластерами и 3 мин между сериями;
 - б) величина сопротивления – 85 % от 1 ПМ;
 - в) количество серий – 3;
 - г) количество упражнений – 3-4;
- ✓ для спортсменов, испытывающих ограничение амплитуды в суставах после работы с большими весами, рекомендуется применять кластерный метод, сочетающий режимы максимальной и быстрой сил:
 - а) каждый подход из 5 повторов с отягощением 85 % от 1 ПМ разбить на 3 серии (например, 2-2-1);
 - б) после каждого кластера выполняется скоростное упражнение в количестве 4-5 повторений на те же группы мышц, после чего следует 30 с интервалом отдыха и вновь выполняется кластер из 2 повторов в режиме максимальной силы;
 - в) количество серий – 3;
 - г) количество упражнений – 3-4;
- ✓ желательно добиваться предварительного утомления за счет неспецифических по координации, но утомительных движений (бег, велоезда), после чего (с интервалом 4-5 ч) выполнять высокоскоростные упражнения на лыжероллерах;
- ✓ возможны варианты, когда утомление достигается в одной тренировке с помошью одного и того же упражнения, но выполняемого в разных двигательных режимах: 2/3 длительной тренировки на лыжероллерах с низкой скоростью (~ 2 ч), затем отрезок с соревновательной скоростью ~ 10-15 мин с хорошим контролем техники;

✓ рекомендуется несколько вариантов технических тренировок с предварительным утомлением: утро – неспецифическое утомление; вечер – техника/скорость; в одной тренировке – 2/3 занятия на утомление, а в конце – упражнения на скорость;

✓ в связи с тем, что утомление вызывает у спортсменов смещение сознательного контроля в сторону субъективно сложных элементов и автоматизацию деталей техники, после «разгрузочного» дня или сугодного отдыха рекомендуется проведение тренировки на отработку отдельных элементов техники, чтобы поддержать навык правильного «конструирования» движения и при необходимости исправить «свежие» ошибки.

Несмотря на то, что ПСЭ снежной подготовки не нашел своего отражения в данной работе, мы обобщили свой опыт методической работы с тренерским штабом по подготовке спортсменов к Чемпионатам Мира и Олимпийским Играм и разработали ряд рекомендаций, логически дополняющих рекомендации для бесснежной подготовки:

– в рамках **ПСЭ снежной подготовки планировать следующие задачи:**

✓ обеспечить повышение длины и частоты лыжных шагов;
✓ сократить время производства движения в фазе активного давления на опору;
✓ увеличение длины проката в фазах активного давления на опору и свободного скольжения;

– в рамках **ПСЭ снежной подготовки планировать нагрузку и концентрировать внимание на следующих аспектах техники выполнения циклических упражнений, обладающих биомеханическим подобием соревновательному движению:**

✓ 2.5-3 ч/день упражнений на лыжах;
✓ первые 7-8 дней от начала этапа подготовки посвятить восстановлению техники лыжных локомоций за счет выполнения большого объема низкоинтенсивных упражнений на лыжах;
✓ для восстановления ощущений баланса тела на скользящей лыже в первые 3-4 тренировочных дня сделать акцент на «классическом» лыжном ходе;
✓ при определении соотношения объема средств лыжной подготовки с применением «классического» и «конькового» хода необходимо принимать во внимание тот факт, что лыжероллеры не аналог лыж, а соответственно, при переходе на снег мышцы и психика спортсмена работают иначе, испытывая повышенную нагрузку;
✓ с целью предотвращения нервно-мышечного перенапряжения спортсмена и создания условий эффективного протекания восстановительных процессов рекомендуется

в первом микроцикле уделить больше внимания классическому лыжному ходу, проводя такие тренировки как минимум во второй половине дня;

✓ в первые 7 дней этапа подготовки проводить технические «коночковые» тренировки, в том числе с использованием метода расчлененного упражнения, то есть разделить лыжное упражнение на фазы и акцентировать внимание на технике выполнения и мышечных ощущениях движений в каждой фазе;

✓ при выполнении конькового упражнения целостным методом особое внимание уделить тем элементам техники, которые являлись «слабыми» звенями в течении подготовительного периода или прошлогоднего соревновательного сезона;

✓ при выявлении в 1-ом микроцикле грубых технических ошибок, особенно не свойственных спортсмену, рекомендуется подобрать такие имитационные упражнения на земле, при выполнении которых легче исправить эту ошибку, и посвятить вечерние тренировки, а также утренние зарядки выполнению этих упражнений;

✓ в 1-ом микроцикле (6-7 дней) с особой осторожностью применять средства силовой подготовки в условиях тренажерного зала, поскольку силовые упражнения могут «перегрузить» нервную систему и мышечный аппарат спортсмена, что повлечет за собой ухудшение восприятия техники движений и потерю его управления, особенно если появились мышечные боли;

✓ начиная со 2-го микроцикла силовые упражнения в режиме максимальной силы рекомендуется выполнять кластерным методом:

а) каждый подход из 5 повторов разбить на 3 серии (например, 2-2-1) с интервалом отдыха 30 с между кластерами и 3 мин между сериями;

б) величина сопротивления – 85 % от 1 ПМ;

в) количество серий – 3;

г) количество упражнений – 3-4;

✓ силовые упражнения, в том числе выполняемые кластерным методом, должны обладать морфологическим подобием соревновательному упражнению, имитировать амплитуду и по возможности траекторию движения, а также преследовать цель стимуляции нервно-мышечного аппарата для повышения чувственного восприятия движения и мощности рабочих усилий;

✓ спортсменам с недостаточным уровнем развития силового компонента тренировки с большими весами целесообразно проводить вечером накануне технической тренировки с высокой скоростью движений, а спортсменам с высоким уровнем развития силы – утром перед вечерней скоростной тренировкой на лыжах;

- ✓ по прошествии 9-10 дней после начала этапа подготовки (середина 2-го микроцикла) в связи с большим объемом циклической работы и постоянным вовлечением психики в анализ выполняемых упражнений рекомендуется добавлять в тренировки двигательные задания, создающие у спортсмена контраст ощущений, с целью сохранения тонкости восприятия техники лыжного движения;
- ✓ контрастные тренировки рекомендуется проводить в нескольких вариантах:
 - а) сочетать в одной тренировке низкоскоростные и скоростно-силовые упражнения на лыжах, выполняемые повторно-серийным методом, то есть 2-3 серии из 5-6 отрезков ускорений с непредельной скоростью и продолжительностью 15-30 с с отдыхом от 30 с до 1 мин между отрезками и 5-6 мин между сериями;
 - б) проводить тренировки переменным методом, в рамках которого в длительную равномерную работу включаются 10-12 отрезков ускорений с непредельной скоростью продолжительностью от 10 до 30 с и интервалом отдыха от 2 до 6-8 мин;
- ✓ тренировки на лыжах с применением повышенной величины внешнего сопротивления рекомендуется проводить только при условии сформировавшейся устойчивой техники и в сочетании с отрезками скоростного характера для поддержания баланса длины и частоты лыжных шагов;
- ✓ во второй части этапа рекомендуется включать модельные тренировки, имитирующие тактику прохождения спортсменом соревновательной дистанции;
- ✓ модельные тренировки создают повышенный уровень психоэмоционального напряжения у спортсмена, вынуждая его психику переключать внимание с контроля над многочисленными деталями техники, характерного для обычных тренировок, на субъективно трудные элементы, что позволяет существенным образом автоматизировать движения и закрепить технику лыжных локомоций перед началом соревновательного периода.

4.2 Методические рекомендации по управлению силой и специфичностью тренировочных нагрузок, исходя из особенностей стресс-реакций различных систем организма высококвалифицированных биатлонистов в рамках подготовительного периода

При планировании на ОПЭ большого объема низкоскоростных и неспецифических по биомеханике дистанционных средств в сочетании с низкоскоростными и непредельной мышечной интенсивностью силовыми упражнениями рекомендуется учитывать уровень их стрессогенности на различные системы организма.

1) Мышечный аппарат:

- ✓ оценку степени повреждений скелетных мышц под влиянием нагрузок различной направленности рекомендуется осуществлять на основе мониторинга активности КФК в крови спортсменов;
- ✓ на ОПЭ скелетные мышцы испытывают наибольшее повреждение по отношению к другим этапам подготовительного периода;
- ✓ отсутствие устойчивого уровня мышечных усилий в течение микроцикла создает угрозу травматизма суставно-связочного аппарата спортсмена;
- ✓ в рамках микроцикла рекомендуется разделять во времени (не менее 36-48 ч) тренировки силового характера и длительные беговые тренировки, а также занятия, включающие прыжковые упражнения;
- ✓ при наличии мышечных болей рекомендуется сместить акцент технических тренировок на совершенствование фаз ООКХ с минимальным мышечным дискомфортом;
- ✓ для совершенствования техники отдельных элементов ООКХ рекомендуется больше использовать упрощенных по координации имитационных упражнений на земле, а не на лыжероллерах;
- ✓ в случае острой болезненности мышц (особенно нижних конечностей) рекомендуется на один день заменить тренировки бегового и прыжкового характера на велосипед, лыжный тренажер или перемещение на лыжероллерах классическим ходом;
- ✓ рекомендуется не совершенствовать технику ООКХ в тех фазах движения, в которых мышцы проявляют болезненные ощущения, так как в этом случае спортсмен концентрирует сознание на боли от движения и стремится исправить технику в направлении снижения болезненного дискомфорта, а не улучшить механику движений;
- ✓ при тренировках на гипертрофию скелетных мышц не доводить каждый подход до мышечного отказа по причине угрозы перенапряжения ЦНС и повышенного травматизма мышц – «отказной» подход должен быть заключительным для упражнения, после чего спортсмену следует приступить к выполнению другого упражнения;
- ✓ соблюдать паузы отдыха между подходами не менее трех минут с целью минимизации риска перенапряжения центральной нервной системы и перегрузки мышечного аппарата кальцием, замедляющим мышцы спортсмена;
- ✓ с позиции стресс-реакции мышечного аппарата на СПЭ и ПСЭ, для которых характерно возрастание доли специфических средств с «мягкой» амортизацией движений (лыжероллеры и лыжи) в сочетании с жестко-компрессионными упражнениями (темповой бег, прыжки), рекомендуется:
 - а) при планировании тренировочных нагрузок принимать во внимание тот факт, что

уровень травмоустойчивости мышц на данных этапах по сравнению с ОПЭ возрастает (уровень КФК в крови спортсменов ниже), однако циклические упражнения с предельной скоростью, особенно длительностью 15-20 с и короткими паузами отдыха (30 с-1 мин), провоцируют риск мышечных повреждений;

б) основная причина травматизма мышц заключается в том, что короткие паузы отдыха не позволяют восстановиться креатинфосфату как основному «скоростному» топливу, в результате чего при высокой частоте движений мышцы-антагонисты не успевают вовремя расслабиться, и происходит механический разрыв их сократительных элементов;

✓ для снижения травматизма рекомендуется выполнять скоростные отрезки в виде «аэробных сеток», то есть:

а) не развивать предельную скорость в каждом отрезке. На финише у спортсмена должно оставаться внутреннее ощущение, что есть запас скорости;

б) работать сериями по 5-6 отрезков;

в) поддерживать отношение времени отдыха между отрезками к длительности работы 1:1 или 1:2;

г) паузы отдыха между сериями должны составлять 5-6 мин для восстановления мышц и нервной системы;

✓ с особой осторожностью рекомендуется применять скоростные упражнения, особенно на предельной мощности рабочих усилий на утро после силовой работы, поскольку микропроламы мышц, особенно поясничного отдела позвоночного столба, могут провоцировать риск травмы;

✓ после силовой тренировки циклические упражнения, выполняемые на скорости значительно выше соревновательной, рекомендуется выполнять спустя 40-45 мин после низкоскоростной работы, которая в этом случае будет служить элементом стретчинга для мышц и восстановления межмышечной координации в суставах;

✓ высокие активности КФК в крови спортсменов и наличие жалоб на болезненность мышц имеют разную «цену» для этапов подготовки – на ОПЭ периодический болевой дискомфорт является естественным отражением адаптационных процессов в мышцах, тогда как на этапах, когда требуется существенно повысить скорость в условиях специфической биомеханики движений, боль является сдерживающим фактором прогресса;

✓ чем выше активность КФК в крови, тем менее мышца управляема со стороны нервной системы, а значит риск появления ошибок в технике движений возрастает, соответственно, для оценки текущей готовности спортсмена к работе над

совершенствованием техники движений рекомендуется осуществлять утренний мониторинг КФК;

- ✓ повышенная активность КФК в крови зачастую сопровождается болезненными ощущениями в мышцах, что инициирует защитную реакцию нервной системы, снижающую уровень напряжения поврежденных мышц и уменьшающую не только эффективность работы над техникой, но и скорость движения;
- ✓ в связи с тем, что болевые стимулы смешиваются с сигналами от рецепторов мышц, происходит дезинформация нервной системы о реальной величине прикладываемых усилий. Другими словами, под воздействием болевого «шума» ЦНС воспринимает усилия выше, чем она планировала и дает команду мышцам уменьшить напряжение, тем самым снижая эффективность силовой и скоростной работы;
- ✓ длительно сохраняющаяся высокая активность КФК в крови и болезненность мышц требуют от тренера переоценки стрессогенности нагрузки не только на мышечный аппарат, но и на психику спортсмена;
- ✓ чем выше активность КФК и длительнее отложенная болезненность мышц, тем больше требуется мотивации и волевых усилий спортсмена, чтобы ежедневно сохранять заданные параметры нагрузки, а значит, создается угроза его психического и эмоционального выгорания.

2) Гормональная система (кортизол):

- ✓ при оценке адекватности предлагаемых тренировочных нагрузок с точки зрения угрозы перенапряжения и перетренировки спортсменов рекомендуется руководствоваться следующим правилом – снижающийся на фоне развивающих нагрузок уровень кортизола может указывать на чрезмерную интенсификацию тренирующих воздействий;
- ✓ повышение уровня кортизола в состоянии покоя следует рассматривать как норму, но в этом случае тренерскому штабу рекомендуется обратить внимание на возможный дефицит у спортсменов гликогена в печени;
- ✓ в случае, когда уровень кортизола в крови спортсменов не увеличивается, несмотря на рост нагрузки, следует в первую очередь снизить объем и координационную сложность упражнений, например, включить в тренировки велосипед или походы вместо имитационных упражнений, а также задания на лыжероллерах, направленные на совершенствование отдельных элементов техники ООКХ;
- ✓ не рекомендуется сочетать в одном тренировочном дне объемные низкоинтенсивные циклические локомоции и силовые нагрузки, особенно на гипертрофию скелетных мышц, так как это прямой путь к перетренированности спортсмена;

- ✓ в период проведения максимальных по объему микроциклов нагрузки рекомендуется снизить объем специально-подготовительных и подводящих упражнений, направленных на совершенствование техники лыжных локомоций, во избежание стойкого утомления нервной системы и риска травм суставно-связочного аппарата спортсмена;
- ✓ в период объемных низкоинтенсивных нагрузок особое внимание рекомендуется обратить на восстановление гликогена в печени и уровень глюкозы в крови спортсменов, так как недостаток гликогена и глюкозы запускает цепь гормональных перестроек в скелетных мышцах, вызывающих сдвиг быстрых мышечных волокон в сторону более медленных;
- ✓ снижение доли быстрых мышечных волокон по окончании ОПЭ может отрицательно сказаться на решении задач, связанных с повышением скорости соревновательного упражнения на последующих этапах подготовительного периода, в связи с чем рекомендуется постоянный утренний контроль концентрации глюкозы в процессе подготовки;
- ✓ на СПЭ и ПСЭ рекомендуется с периодичностью 1 раз в 9-10 дней осуществлять мониторинг кортизола в крови спортсменов в условиях выполнения высокоскоростных циклических упражнений интервальным или повторным методом;
- ✓ уменьшении концентрации кортизола в ходе многократного выполнения высокоинтенсивной работы в рамках одной тренировки следует рассматривать как снижение нейроэндокринного ресурса организма и готовности спортсмена к дальнейшей адаптации к нагрузкам;
- ✓ ситуацию, когда утренний уровень кортизола в крови неуклонно возрастает в течение 4-6 дней, следует рассматривать как предиктор напряжения/перенапряжения спортсмена, в связи с чем рекомендуется снизить механическую и метаболическую стрессогенность нагрузок минимум на 24-36 ч;
- ✓ в качестве дополнительного метода контроля при утреннем мониторинге концентрации кортизола в крови рекомендуется использовать морфологический расчет и оценку процентного содержания мышц и жира у спортсменов. Так, первым признаком чрезмерной интенсификации тренировочного процесса на фоне роста уровня кортизола следует считать увеличение процента жира и снижение мышечной массы;
- ✓ в рамках СПЭ и ПСЭ многократно возрастает роль углеводного и белкового насыщения организма в процессе и после выполнения высокоинтенсивных нагрузок, в связи с чем рекомендуется в процессе тренировки на регулярной основе принимать углеводный напиток, а сразу после тренировки – белково-минеральный комплекс.

3) Гормональная система (тестостерон):

- ✓ изменения уровня тестостерона в крови следует интерпретировать как текущий адаптационный резерв спортсмена, позволяющий ему приспосабливаться к любому типу нагрузок;
- ✓ при планировании высокообъемных низкоинтенсивных нагрузок в рамках микроцикла рекомендуется с особой осторожностью комбинировать их с силовыми тренировками, поскольку на фоне значительных объемов дистанционных средств применение силовых упражнений может приводить к снижению уровня тестостерона и, как следствие, лимитировать адаптационные возможности спортсмена;
- ✓ не рекомендуется в одном тренировочном дне сочетать объемные средства циклического характера (утро) и силовые тренировки (вечер), так как такая комбинация приводит к нестабильной работоспособности спортсмена в последующие тренировочные дни микроцикла;
- ✓ в рамках циклических «объемных» микроциклов подготовки рекомендуется проводить силовые тренировки перед разгрузочным днем или днем полного отдыха;
- ✓ для определения адекватности сочетания объемных дистанционных средств подготовки и силовых нагрузок рекомендуется осуществлять контроль уровня тестостерона и кортизола в крови спортсменов на следующий день после силовой работы;
- ✓ в качестве прогностического маркера оценки уровня адаптационных возможностей организма спортсменов рекомендуется использовать отношение концентраций тестостерона к кортизолу (T/K) – чем ниже T/K, тем ниже адаптационный ресурс организма спортсменов;
- ✓ в случае значительного снижения уровня тестостерона, рекомендуется:
 - а) снизить объем средств силовой подготовки за счет сокращения количества упражнений;
 - б) не сочетать в одном дне силовые упражнения и объемные дистанционные средства;
 - в) использовать кластерный метод при работе над максимальной силой и при работе на гипертрофию мышц не доводить каждый подход до отказа;
- ✓ при снижении уровня тестостерона в крови спортсменов в состоянии покоя и необходимости коррекции плана нагрузок рекомендуется опираться на среднюю скорость восстановления тестостерона у биатлонистов высокой квалификации, составляющую 24-48 ч;

- ✓ на СПЭ и ПСЭ подготовки рекомендуется с периодичностью 1 раз в 9-10 дней осуществлять мониторинг содержания тестостерона в условиях выполнения высокоскоростных циклических упражнений интервальным или повторным методом;
- ✓ уменьшение концентрации тестостерона в ходе многократного выполнения высокоинтенсивной работы в рамках одной тренировки является объективным предиктором исчерпания адаптационного ресурса и указывает на необходимость снизить объем и интенсивность нагрузки (в том числе мышечную) на 24-36 ч.

4) Кислородтранспортная система:

- ✓ для увеличения кислородной емкости крови и скорости доставки кислорода к тканям рекомендуется сочетать низкоскоростные циклические и силовые нагрузки, направленные на гипертрофию и максимальную силу мышц;
- ✓ силовые нагрузки стимулируют эритропоэз посредством увеличения секреции эритропоэтина, а также увеличивают биодоступность железа, в связи с чем, рекомендуется обязательное включение силовых тренировок в микроциклы низкоинтенсивных циклических нагрузок;
- ✓ при планировании объема нагрузок циклического характера в рамках микроцикла подготовки рекомендуется обращать внимание на наличие или отсутствие высокой механической нагрузки в применяемых упражнениях;
- ✓ беговые и прыжковые упражнения обладают максимальной компрессионной нагрузкой на суставы нижних конечностей, что может вызывать повреждение эритроцитов и потерю выносливости;
- ✓ после длительных беговых или шаговых тренировок (походы, кросс-походы) рекомендуется снизить уровень ударного воздействия на опорно-двигательный аппарат спортсменов путем применения лыжероллеров или велосипеда в качестве средств тренирующих воздействий;
- ✓ наибольший риск повреждения эритроцитов возникает при выполнении беговых и прыжковых нагрузок выполняются на утомленных мышцах голеностопного сустава, обеспечивающими амортизационную функцию при соприкосновении стопы с опорной поверхностью;
- ✓ при выполнении в рамках одной тренировки длительных циклических нагрузок рекомендуется соблюдать питьевой режим, принимая каждые 15 мин несколько глотков жидкости, не дожидаясь чувства жажды, так как дефицит жидкости приводит к уменьшению объема плазмы, увеличивая плотность крови, и, соответственно, механическую нагрузку на эритроциты, вызывая их повреждение;

- ✓ до начала и в процессе «объемных» низкоскоростных микроциклов рекомендуется применять витамины группы В, железо и антиоксиданты (витамины С и Е), помогающие защитить эритроциты и улучшить их восстановление;
- ✓ в рамках СПЭ и ПСЭ снижается количество эритроцитов и концентрация гемоглобина, в связи с чем рекомендуется осуществлять постоянный мониторинг уровня лактата в процессе выполнения высокоинтенсивных нагрузок, так как завышенный объем тренировок с уровнем лактата выше 4 мМ/л создает риск повреждения эритроцитов, что снижает доставку кислорода к тканям и ограничивает работоспособность спортсмена;
- ✓ рекомендуется обращать особое внимание на так называемые «круговые тренировки на выносливость» с применением силовых упражнений с весом собственного тела или незначительным сопротивлением, поскольку уровень лактата в крови спортсменов на таких занятиях зачастую находится в пределах 6-8.2 мМ/л, что может в совокупности с высокоскоростными циклическими упражнениями провоцировать риск повреждения эритроцитов.

5) Энергетические субстраты:

- ✓ одной из важнейших задач ОПЭ является повышение силы и аэробных возможностей медленных мышечных волокон, создающих функциональную «базу» для экономичности усилий и эффективной работы быстрых мышечных волокон при преодолении спортсменом соревновательной дистанции;
- ✓ преследуя цель повышения силы и аэробных возможностей медленных мышечных волокон, рекомендуется использовать низкоскоростной режим работы мышц, при котором главным субстратом аэробного механизма энергообеспечения являются жирные кислоты;
- ✓ при определении интенсивности мышечной работы, в рамках которой активно расходуются жирные кислоты, рекомендуется ориентироваться на концентрации лактата в крови в диапазоне 1.6-2.2 мМ/л;
- ✓ при отсутствии возможности контроля интенсивности мышечной работы по степени закисления крови, рекомендуется ориентироваться на носовое дыхание – до тех пор, пока у спортсмена не появляется желание перейти на смешанное, носо-ротовое дыхание, концентрация лактата в крови невысокая, а значит есть вероятность, что жирные кислоты выступают основным субстратом энергообеспечения;
- ✓ при усиленном окислении жирных кислот формируются адаптационные стимулы для расширения капиллярной сети, в том числе в мозговой ткани, а также повышается способность нервной системы к созданию новых нейронных связей и

улучшению обучаемости, в том числе в аспектах, связанных с совершенствованием техники лыжных локомоций;

✓ у спортсменов, имеющих проблемы с повышенным уровнем жировой массы, рекомендуется проводить аэробные тренировки натощак или через 2-3 ч после еды для более эффективного использования жирных кислот в качестве топлива;

✓ рекомендуется использовать низкоскоростные лыжероллерные упражнения «на жирах» в качестве средства совершенствования техники специфических локомоций – спортсмен должен научиться двигаться быстро за счет правильной механики движений, а не за счет повышенных усилий скелетных мышц;

✓ с целью совершенствования техники движений на низкой скорости рекомендуется концентрировать внимание на поиске такого варианта «конструирования» движения, при котором спортсмен, не прикладывая значительных усилий, получает внутреннее ощущение «тяги» вперед;

✓ на СПЭ уровень триглицеридов в крови спортсменов не отличается от ОПЭ, что указывает на достаточно эффективную утилизацию жиров в этот период времени и позволяет рекомендовать сочетание низко- и высокоинтенсивных циклических нагрузок как эффективного варианта нормализации жировой массы спортсменов;

✓ концентрация триглицеридов на ПСЭ увеличивается, что свидетельствует о снижении мощности жирового обмена и смещении акцента энергообеспечения в сторону гликолитического механизма, в связи с чем рекомендуется усилить контроль над интенсивностью нагрузок, в том числе за счет еженедельного мониторинга жирового и мышечного компонентов состава тела спортсменов;

✓ во второй части ОПЭ (конец июня) рекомендуется увеличить долю циклических упражнений, в которых доминирующим субстратом энергообеспечения является гликоген мышц и печени;

✓ доминирующий объем развивающей циклической нагрузки должен выполняться с интенсивностью, при которой уровень лактата не превышает 3-4 мМ/л;

✓ с целью повышения аэробной производительности мышечной работы рекомендуется выполнять интервальные тренировки с концентрацией лактата в крови 3-3.5 мМ/л;

✓ интервальные тренировки на уровне лактата в крови в диапазоне 3-3.5 мМ/л рекомендуется выполнять в форме 5-6 кратного выполнения отрезков в виде кросса, шаговой имитации или на лыжероллерах продолжительностью 12-15 мин и интервалом восстановительной работы между отрезками 2-3 мин;

- ✓ при планировании нагрузок следует принимать во внимание тот факт, что дистанционные тренировки на уровне лактата в крови в диапазоне 3-3.5 мМ/л крайне важны с позиции создания необходимой на СПЭ аэробной «базы»;
- ✓ во избежание срыва адаптации и появления стойкого снижения работоспособности биатлониста на СПЭ рекомендуется в рамках ОПЭ применять постепенно повышающуюся интенсивность нагрузки, начиная с уровня лактата в крови от 2-2.2 мМ/л и постепенно переходя к нагрузкам большого объема, выполняемого в лактатном коридоре от 3-3.5 мМ/л;
- ✓ не рекомендуется, не выполнив на ОПЭ достаточного объема нагрузки на уровне лактата в диапазоне 3-3.5 мМ/л, на СПЭ сразу переходить к высокоскоростным тренировкам на уровне лактата в крови 4.5-8 мМ/л;
- ✓ утренний мониторинг уровня лактата в крови спортсмена натощак рекомендуется использовать в качестве эффективного прогностического средства контроля интенсивности нагрузки – при правильной организации нагрузок уровень лактата в крови не должен превышать 0.9-1.2 мМ/л, что указывает на преобладание у спортсмена аэробных механизмов энергообеспечения;
- ✓ измеренная утром концентрация лактата от 1.5 мМ/л и выше означает, что интенсивность тренировочных нагрузок завышена, и биатлонист не совершенствует механизмы аэробного энергообеспечения, что является главной задачей ОПЭ подготовки;
- ✓ мониторинг уровня лактата в крови спортсмена в процессе выполнения циклических упражнений с интенсивностью 3-5 зоны по ЧСС является надежным методом предсказания перетренированности спортсменов – в случае если в ответ на высокоинтенсивную нагрузку у спортсмена не наблюдается адекватного увеличения лактата в крови, то это первый признак перенапряжения;
- ✓ с целью понимания того, по какой причине происходит снижение уровня лактата в крови спортсмена в ответ на нагрузку, мы рекомендуем пользоваться простой моделью, объясняющей эффекты объемных низкоинтенсивных нагрузок с позиции синдрома парасимпатической перетренированности и высокоинтенсивных нагрузок, вызывающих симпатическую перетренированность;
- ✓ среди причин неадекватного снижения уровня лактата в крови под влиянием низкоинтенсивных нагрузок можно выделить следующие:
 - а) истощение нервной системы «объемными» циклическими нагрузками приводит к снижению ее возможности стимулировать выброс в кровь адреналина и норадреналина – стимуляторов распада гликогена в мышцах для образования энергии, в связи с чем уровень лактата в крови не растет;

б) «объемные» тренировки приводят к снижению чувствительности мышечных клеток к адреналину, а значит даже при наличии гликогена в мышцах отсутствуют стимуляторы для его расщепления и образовании энергии, соответственно, уровень лактата в крови не растет;

- ✓ причина неадекватного снижения уровня лактата в крови под влиянием высокоинтенсивных циклических и/или силовых нагрузок заключается в том, что применение высокоинтенсивных нагрузок многократно стимулирует выброс адреналина и норадреналина в кровь, что приводит к потере чувствительности мышечных клеток к этим гормонам и нейромедиаторам и сопровождается снижением мощности распада гликогена в мышцах и образования лактата;
- ✓ для предотвращения риска симпатической перетренированности у биатлонистов высокого класса рекомендуется рассматривать силовые упражнения, а бег в гору, роллеры и имитацию на тяжелом рельефе с невысоким пульсом, как мощные стимуляторы механического стресса и факторы риска перетренированности;
- ✓ длительные низкоинтенсивные нагрузки рекомендуется рассматривать в качестве стимуляторов утомления ЦНС и факторов риска парасимпатической перетренированности;
- ✓ особое внимание следует обращать на одновременное сочетание «объемных» и «высокоинтенсивных» нагрузок в рамках микроциклов и по возможности не комбинировать более двух смежных дней нагрузки с высоким уровнем симпатического и парасимпатического стресса.

6) Макро- и микроэлементный обмен:

- ✓ оценку компонентов макро- и микроэлементного обмена как индикаторов готовности спортсмена к выполнению нагрузок рекомендуется осуществлять на основе мониторинга уровней железа, ферритина (депо железа), кальция, магния и неорганического фосфора в крови спортсмена;
- ✓ в рамках подготовительного периода на СПЭ рекомендуется уделить особое внимание мониторингу уровней железа и ферритина в крови спортсменов, поскольку высокоскоростные нагрузки, создающие гипоксические условия работы мышечных клеток, стимулируют синтез эритроцитов и, как следствие, повышенный расход железа;
- ✓ при контроле уровня ферритина рекомендуется учитывать тот факт, что при выполнении большого объема высокоскоростных нагрузок, особенно бегового и прыжкового характера, что характерно для СПЭ, его концентрация повышается за счет гибели клеток, создавая искаженное представление о его достаточности в организме спортсменов;

- ✓ контроль уровня магния, как важнейшего элемента, обеспечивающего мощность энергетических процессов в мышечных клетках, рекомендуется осуществлять на СПЭ ввиду того, что высокоскоростные нагрузки повышенного объема провоцируют снижение данного макроэлемента, что может сопровождаться снижением работоспособности спортсмена;
- ✓ рекомендуемая концентрация магния в крови, при которой можно объективно судить о превышении индивидуально допустимого для спортсмена объема или интенсивности нагрузки, составляет 0.7 мМ/л;
- ✓ концентрации кальция и фосфора в крови спортсменов на всем протяжении подготовительного периода практически не изменяются вне зависимости от направленности и объема предлагаемых нагрузок, в связи с чем рекомендуется осуществлять мониторинг данных показателей с периодичностью не чаще 1 раза в 7-10 дней.

7) Эффективность процессов восстановления:

- ✓ оценку эффективности процессов восстановления и адекватности нагрузок рекомендуется осуществлять на основе мониторинга концентрации мочевины в крови спортсменов;
- ✓ на ОПЭ рекомендуется выполнять основной объем нагрузок низкой и средней интенсивности при уровне мочевины равном 5-7.5 мМ/л;
- ✓ на СПЭ и ПСЭ, учитывая высокую интенсивность нагрузок, уровень мочевины в крови не должен превышать 6-8 мМ/л;
- ✓ на ОПЭ циклические нагрузки в виде темпового кросса, бега под спуск и прыжковой имитации обладают наиболее высоким уровнем механического стресса, вызывая значительное повреждение скелетных мышц, что требует значительных сроков восстановления и разделение таких нагрузок в рамках микроцикла не менее, чем на 48 ч;
- ✓ на СПЭ основной рост уровня мочевины в крови биатлонистов может быть обусловлен высокой плотностью и сочетанием в микроцикле двух типов упражнений: с высоким уровнем механического стресса (силовые упражнения, темповой кросс, прыжковая имитация) и метаболического стресса (лыжероллеры в 4-5 зонах интенсивности по ЧСС);
- ✓ во избежание явлений перетренированности на СПЭ и ПСЭ рекомендуется:
 - а) не сочетать более двух дней высокоинтенсивных нагрузок;
 - б) не включать силовые тренировки в разгрузочный день, обеспечивая возможность организму восстановиться;

в) в рамках микроцикла обязательно включать тренировки без сознательного контроля над техникой для восстановления нервной системы;

г) в рамках микроцикла обязательно включать короткие высокоскоростные отрезки продолжительностью до 10 с с целью сохранения скоростной координации движений, при этом освобождая нервную систему от необходимости «терпеть» закисление мышц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тренировочный процесс биатлонистов на этапе высшего спортивного мастерства представляет собой завершающий этап многолетнего процесса подготовки, направленный на достижение максимально высоких спортивных результатов. Особенностью данного этапа является то, что здесь спортсмен должен предельно полно раскрыть весь имеющийся моторный потенциал в конкретном виде циклических локомоций – перемещении на лыжах коньковым ходом. Проведенное нами в период с 2023 по 2025 гг. исследование процесса подготовки биатлонистов высокого класса позволило выявить ряд особенностей организации и содержания тренировочных нагрузок спортсменов. Кроме этого, удалось установить определенные тенденции в динамике технической и физической подготовленности биатлонистов, а также особенностей реакций их организма на нагрузки различной преимущественной направленности.

Не повторяя ранее представленных в данной работе фактов, логических умозаключений и рассуждений, хотелось бы остановиться на тех ключевых и в ряде случаев противоречивых аспектах подготовки и подготовленности биатлонистов, которые на наш взгляд представляют наибольший интерес для науки и практики. В первую очередь отметим, что подготовительный период биатлонистов на этапе высшего спортивного мастерства включает в себя ОПЭ, СПЭ и ПСЭ. Традиционно считается, что названия этапов подготовки определяются их содержанием. Однако проведенный нами анализ соотношения объемов циклических упражнений, обладающих биомеханическим подобием соревновательному упражнению, практически не отличается от объема неспецифических средств дистанционной подготовки. Соответственно, уже на ОПЭ доля специфических упражнений достаточна высока, и название этапа скорее отражает доминирующий низкоскоростной режим работы мышц и менее напряженный режим функционирования организма спортсменов, относительно СПЭ и ПСЭ подготовки.

В отношении направленности средств силовой подготовки следует отметить традиционную для биатлонистов периодизацию, при которой концентрация средств силовой выносливости и гипертрофии мышц на ОПЭ сменяется упражнениями, выполняемыми в режиме максимальной и быстрой/взрывной силы на СПЭ. На ПСЭ беснежной подготовки доминируют упражнения на взрывную силу при поддерживающих объемах гипертрофии и силовой выносливости. В тоже время на ПСЭ снежной подготовки доля высокointенсивных средств силовых упражнений снижается, а объем упражнений на гипертрофию мышц и силовую выносливость, напротив, возрастает.

Изучая динамику кинематических характеристик и параметров наиболее специфичного для биатлонистов упражнения – передвижения на лыжероллерах ООКХ, нас в первую очередь интересовал следующий круг вопросов:

– изменяется ли у биатлонистов техника и кинематические параметры движения на этапе высшего спортивного мастерства?

– как изменение уровня физической подготовленности и текущее состояние систем организма биатлонистов на различных этапах подготовительного периода влияет на изменение техники и кинематических параметров движения на лыжероллерах?

Когда мы говорим о технике движений на лыжероллерах, то в первую очередь подразумеваем особенности «конструирования» спортсменом своего движения, то есть его качественную сторону. С этих позиций можно рассуждать о биомеханически целесообразном и нецелесообразном движении. Основной критерий биомеханической целесообразности – это минимум стопорящих моментов скорости, возникающих в различных фазах движения. У биатлонистов высокого класса таких стопорящих моментов несколько, и они, как правило, связаны с неоптимальным положением ОЦМТ в момент создания атакующей позиции при постановке палок на опору, в фазе скольжения с отталкиванием руками и ногой, а также в фазе свободного скольжения. Неэффективное динамическое взаиморасположение суставов и создаваемое спортсменом соотношение межзвенных и межсуставных углов – основная причина неоптимального положения и вектора перемещения ОЦМТ у биатлонистов высокого класса.

Еще одним предметом нашего наблюдения за специфическими движениями биатлонистов являлись компоненты кинематики, определяющие скорость цикла. В первую очередь речь идет о длине и частоте шагов, длине отдельных фаз движения и времени, затрачиваемом для реализации движения в каждой фазе. В этом случае мы больше рассуждали не столько с позиции биомеханической целесообразности движений, сколько об умении спортсмена проявлятьнюю величину усилий за время каждой фазы и об изменении скорости цикла в этом случае. В литературе такая способность спортсмена обозначается как реализационная эффективность. Мы же рассматривали динамику длины отдельных фаз и всего цикла движения, временной протяженности фаз, а также частоты движений и скорости цикла с позиции процесса функционального совершенствования спортивного движения биатлонистов. Соответственно, на протяжении всего подготовительного периода мы наблюдали за специализированными локомоциями биатлонистов с позиции изменения биомеханической целесообразности и функционального совершенствования их движений на лыжероллерах.

В ходе наблюдений было установлено, что наибольшей биомеханической целесообразности движений на лыжероллерах биатлонисты добиваются в первой половине ОПЭ, когда преобладают низкоскоростные нагрузки, а отношение специфических и неспецифических по биомеханике циклических упражнений практически одинаково. Иными словами, большой объем упражнений на лыжероллерах с низкой скоростью эффективно изменяет технику движений. При этом наблюдается высокая скорость в тестовом задании, указывая на то, что спортсмены преодолевают дистанцию исключительно за счет биомеханической целесообразности своих движений, а не функционального напряжения организма. В то же время это, естественно, не означает, что если бы в этот момент биатлонисты участвовали в соревнованиях, то показали бы максимально высокий результат. Функциональные возможности организма на данном этапе подготовки вероятнее всего не позволили бы спортсменам это сделать, но к этому вопросу мы еще вернемся.

Во второй части ОПЭ спортсмены изменили технику в худшую сторону и снизили скорость цикла. На первой части СПЭ спортсмены продемонстрировали восстановление биомеханической целесообразности движений, а к концу этапа вновь изменили технику в худшую сторону. Причем именно на данном этапе подготовки, когда наблюдается одновременное повышение объема и интенсивности дистанционных средств подготовки, начинает проявляться существенная дестабилизация техники движений на лыжероллерах. Соответственно, рост скорости цикла больше обусловлен функциональным совершенствованием движения на лыжероллерах в условиях неоптимальной биомеханики. И вновь мы наблюдаем то, что основной дестабилизирующий период приходится на вторую часть этапа подготовки.

В рамках ПСЭ бесснежной подготовки биатлонисты не восстанавливают утраченную биомеханическую целесообразность специализированных локомоций, добиваясь скорости цикла преимущественно за счет эффективности проявления усилий в условиях неоптимальной механики.

Полученные данные позволяют под несколько иным научным и практическим углом зрения изучить процесс технической подготовки биатлонистов высокого класса, по крайней мере на уровне среднегрупповых тенденций. Очевидно, что улучшение техники от ОПЭ к ПСЭ бесснежной подготовки мы не наблюдаем, и это может противоречить классическим канонам, описанным в учебниках. Складывается впечатление, что в рамках подготовительного периода биомеханическая целесообразность специфических локомоций приносится в «жертву» функциональному совершенствованию организма спортсменов с применением лыжероллеров. Ошибочность или правомерность такого подхода в

построении технической подготовки биатлонистов на этапе высшего спортивного мастерства требует дополнительного изучения и проверки.

С особой осторожностью можно предполагать, что устойчивые многолетние ошибки в технике движений биатлонистов маскируются на ОПЭ с помощью сознательного контроля и волевых усилий спортсменов по удержанию «образцовой» механики движения. Как только наступает утомление (вспомните, что техника «рассыпается» во второй части каждого этапа подготовки) или требуется проявить более высокую скорость движения, сознательный контроль уступает место автоматизму и прежние ошибки техники вновь возвращаются.

Еще одним вопросом, имеющим значение для теории и практики спортивной подготовки, является то, как на этапах подготовки изменяется уровень физической подготовленности и текущее состояния различных систем организма спортсменов под влиянием нагрузок различной направленности, в том числе в контексте изменения техники специализированных локомоций. Поставленный вопрос отнюдь непраздный. Если принять во внимание тот факт, что на этапе высшего спортивного мастерства спортсмены практически достигают пределов адаптационных возможностей своего организма реагировать на нагрузки, то особый интерес представляет динамика показателей физической подготовленности и выраженность стресс-реакции систем организма на тренирующие воздействия.

Полученные материалы и проведенный нами анализ позволяет утверждать, что на среднегрупповом уровне в период с 2023 по 2025 гг. изменения уровня физической подготовленности высококвалифицированных биатлонистов от этапа к этапу подготовительного периода имеют очень слабые тенденции или стагнацию. Из наиболее заслуживающих внимание фактов следует выделить то, что мощность работы сердца высококвалифицированных биатлонистов снижается от этапа к этапу несмотря на то, что интенсивность нагрузок, вызывающих рост частоты сердечных сокращений и являющихся основным фактором тренировки сердечной мышцы, возрастает. Кроме этого, снижается уровень аэробных возможностей мышц нижних конечностей несмотря на то, что объем нагрузок в 3-ей зоне интенсивности по ЧСС от ОПЭ к СПЭ возрастает. Причины обнаруженных отрицательных тенденций функциональных возможностей мышц и сердца у биатлонистов высокого класса, возможно, заключаются в недостаточном объеме беговых упражнений на СПЭ и чрезмерном смещении развивающих нагрузок в сторону упражнений на лыжероллерах. В отличие от лыжероллеров, где фаза отталкивания сочетается с протяженной фазой проката (восстановления), бег в высоком темпе минимизирует фазу расслабления мышц и постоянно удерживает в напряжении кардиореспираторную систему,

создавая мощный стимул для развития мышечной и вегетативной выносливости. Отчасти «увлечение» лыжероллерами может быть оправдано спецификой вида спорта биатлонистов, у которых соревновательное упражнение представляет собой перемещение на лыжах с винтовкой и стрельбой на огневых рубежах. Поскольку биатлонисты не практикуют легкоатлетический бег с винтовкой, вполне объяснимо, что на СПЭ с целью тренировки соревновательного упражнения спортсмены смещают акцент в развивающих моделях нагрузок в сторону лыжероллеров, а не темпового бега.

Функциональные возможности нервно-мышечного аппарата (сила и аэробная мощность) в отличие от показателей вегетативной выносливости (ударный объем и мощность сердца) демонстрируют на уровне тенденции положительную динамику на всем протяжении подготовительного периода. Также наблюдается слабая тенденция к увеличению МПК, что вполне предсказуемо, учитывая неуклонное возрастание силы и специфичности нагрузок от ОПЭ к ПСЭ подготовки.

Один из основных выводов, который можно сделать на основе вышесказанного, заключается в следующем – если на ОПЭ биатлонисту не удастся решить задачу повышения ударного объема сердца (то есть увеличение размера его камер), то впоследствии уже никакими нагрузками этого добиться не удастся. Все остальные характеристики физической подготовленности спортсменов на каждом этапе подготовительного периода так или иначе демонстрируют адекватные предлагаемым нагрузкам тенденции. Соответственно, ограничение по продолжительности ОПЭ и ранний переход в сторону применения более скоростных и специфичных по биомеханике упражнений не создают условий для повышения показателей ударного объема и, как не странно, мощности работы сердца.

С точки зрения величины стресс-реакции ведущих систем организма биатлонистов на предлагаемые нагрузки, мы отмечаем очень слабые тенденции к изменениям биохимических показателей крови спортсменов на всем протяжении подготовительного периода. Динамика большинства из них отражает направленность тренировочного процесса и не выходит за границы допустимых значений. Таким образом, биатлонисты на этапе высшего спортивного мастерства обладают достаточно высокой устойчивостью к предлагаемым тренирующим воздействиям, не допуская длительного изменения гомеостаза внутренней среды организма.

Исходя из вышесказанного, возникает ряд вопросов, и в первую очередь, за счет каких сторон подготовленности, биатлонисты высокого класса прогрессируют на этапе высшего спортивного мастерства? Анализ полученных данных указывает на то, что на групповом уровне практически не наблюдается изменений ни в уровне физической

подготовленности, ни в реакции систем организма на предлагаемые воздействия. Таким образом, создается впечатление, что спортсмены на всем протяжении подготовительного периода не достигают через тренировочные нагрузки состояния глубокого исчерпания адаптационных резервов в организме, приводящего сначала к стойкому снижению работоспособности, а затем к ее суперкомпенсации. Ни на одном из этапов подготовительного периода в рамках лабораторной диагностики не было зафиксировано ни существенного снижения, ни прироста функциональных возможностей различных систем организма. Вполне возможно, что повышение функциональных возможностей специализированных локомоций на протяжении подготовительного периода, в частности одновременное увеличение длины и частоты шагов, дающих максимальный прирост скорости цикла, выступает приоритетным направлением подготовки биатлонистов на этапе высшего спортивного мастерства.

Оценивая динамику физической подготовленности биатлонистов, необходимо также принимать во внимание тот факт, что лабораторная диагностика осуществляется преимущественно с применением неспецифических по биомеханике двигательных тестов. В этом случае, вполне возможно, что достигнутый в ходе тренировок адаптационный эффект предельно специфичен для тех упражнений, в рамках которых он развивался. Соответственно, проявление повышенной работоспособности у спортсменов следует ожидать преимущественно в специфических локомоциях и соответствующих двигательных режимах, нехарактерных для протокола нагрузочного тестирования биатлонистов в лабораторных условиях.

В заключение отметим, что мы анализировали показатели подготовленности спортсменов посредством усреднения всех данных, полученных в ходе тестирования физической и технической подготовленности. На индивидуальном уровне изменения у биатлонистов, естественно, более заметны, что требует отдельного дополнительного изучения и анализа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

-
- 1 Верхошанский Ю.В. Программирование и организация тренировочного процесса. – М.: Физкультура и спорт, 1985. – 176 с.
- 2 Ратов И.П., Попов Г.И., Логинов А.А., Шмонин Б.В. Биомеханические технологии подготовки спортсменов. – М.: Физкультура и спорт, 2007. – 118с.
- 3 Бондарчук А.П. Управление тренировочным процессом спортсменов высокого класса. – М.: Олимпия Пресс, 2007. – 273 с.
- 4 Зациорский В.М. Биомеханические аспекты выносливости. – М.: Физкультура и спорт, 1983. – 207 с.
- 5 Донской Д.Д. Законы движений в спорте: очерки по структурности движений. – М.: Физкультура и спорт, 1968. – 176 с.
- 6 Попов Г.И. Биомеханика: учебник для студентов вузов. – М.: Академия, 2007. – 254 с.
- 7 Менхин Ю.В. Физическое воспитание: теория, методика, практика. – М.: СпортАкадемПресс, Физкультура и Спорт, 2006. – 312 с.
- 8 Шестаков М.П. К вопросу об основных принципах технической подготовки в спорте // Юбилейн. сб. тр. учен. РГАФК, посвящ. 80-летию акад. – М., 1998. – Т. 3. – С. 55-59.
- 9 Матвеев Л.П. Общая теория спорта и ее прикладные аспекты: учеб. для вузов физ. культуры. – М.: Сов. спорт, 2010. – 340 с.
- 10 Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практическое приложение : учебник для тренеров : в 2 кн. – К.: Олимпийская литература, 2015. – Кн.1. – 680 с.
- 11 Бондарчук А.П. Периодизация спортивной тренировки в легкоатлетических метаниях // Построение и содержание тренировочного процесса высококвалифицированных спортсменов на различных этапах годичной подготовки: сб науч. тр. – М., 1988. – С. 22-32.
- 12 Bompa T., Haff G.G. Periodization: theory and methodology of training. – Champaign IE: Human Kinetics, 2009. – R63-R84.
- 13 Stone M.H., Stone M.E., Sands W.A. Principles and practice of resistance training. – Champaign, IL: Human Kinetics, 2007. – 376 р.
- 14 Чхайдзе Л.В. Об управлении движениями человека. – М. : Физкультура и спорт, 1970. – 136 с.
- 15 Солодков А.С., Сологуб Е.Б. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная. – М.: Терра-Спорт, Олимпия Пресс, 2005. – 528 с.
- 16 Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. – СПб.: Питер, 2025. – 384 с.
- 17 Туревский И.М. Биомеханика двигательной деятельности: формирование психомоторных способностей: учебник для среднего профессионального образования. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 353 с.
- 18 Ильин Е.П. Психомоторная организация человека : учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2003. – 384 с.
- 19 Козолино Л. Нейробиология психотерапии : пер. с англ. – СПб.: ООО «Диалектика», 2024. – 240 с.
- 20 Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.
- 21 Альтернативные и перспективные объекты биохимического исследования в спорте: литературный обзор / Г.А. Дудко, М.А. Дикунец, Э.Д. Вирюс, А.С. Крючков // Клиническая лабораторная диагностика. – 2021. – Т. 66, № 11. – С. 655-660.

-
- 22 Федотова Е.В., Сиделев П.А. Оптимальные модели распределения нагрузки и использование целевых тренировочных зон в циклических видах спорта на выносливость (анализ зарубежных исследований) // Вестник спортивной науки. – 2021. – № 6. – С. 17-22.
- 23 Rosenblat M.A., Perrotta A.S., Vicenzino B. Polarized vs. threshold training intensity distribution on endurance sport performance: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // *J. Strength. Cond. Res.* – 2019. – Vol. 33, No. 12. – P. 3491-3500.
- 24 Seiler S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2010. – Vol. 5, No. 3. – P. 276-291.
- 25 Stögg T., Sperlich B. The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes // *Front. Physiol.* – 2015. – Vol. 6. – P. 295.
- 26 Sylta Q., Tønnessen E., Seiler S. From heart-rate data to training quantification: a comparison of 3 methods of training-intensity analysis // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2014. – Vol. 9, No. 1. – P. 100-107.
- 27 Sperlich B., Matzka M., Holmberg H.C. The proportional distribution of training by elite endurance athletes at different intensities during different phases of the season // *Front. Sports Act. Living.* – 2023. – Vol. 5. – P. 1258585.
- 28 Tønnessen E., Sylta Ø., Haugen T. et al. The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance // *PLoS One.* – 2014. – Vol. 9, No. 7. – P. e101796.
- 29 Solli G.S., Tønnessen E., Sandbakk Ø. The training characteristics of the world's most successful female cross-country skier // *Front. Physiol.* – 2017. – Vol. 8. – P. 1069.
- 30 Sandbakk Ø., Holmberg H.C. A reappraisal of success factors for Olympic cross-country skiing // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2014. – Vol. 9, No. 1. – P. 117-121.
- 31 Seiler S., Tønnessen E. Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training // *Sportscience.* – 2009. – Vol. 13. – P. 32-53.
- 32 Casado A., González-Mohino F., González-Ravé J.M., Foster C. Training periodization, methods, intensity distribution, and volume in highly trained and elite distance runners: a systematic review // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2022. – Vol. 17, No. 6. – P. 820-833.
- 33 González-Ravé J.M., Hermosilla F., González-Mohino F. et al. Training intensity distribution, training volume, and periodization models in elite swimmers: a systematic review // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2021. – Vol. 16, No. 7. – P. 913-926.
- 34 Kenneally M., Casado A., Gomez-Ezeiza J., Santos-Concejero J. Training intensity distribution analysis by race pace vs. physiological approach in world-class middle- and long-distance runners // *Eur. J. Sport Sci.* – 2021. – Vol. 21, No. 6. – P. 819-826.
- 35 Tønnessen E., Sandbakk O., Sandbakk S. et al. Training session models in endurance sports: a Norwegian perspective on best practice recommendations // *Sports Med.* – 2024.
- 36 Haugen T., Sandbakk Ø., Seiler S., Tønnessen E. The training and development of world-class long-distance running performance: an integration of scientific and best practice literature // *Sports Med. Open.* – 2022. – Vol. 8. – P. 46.
- 37 Haugen T., Sandbakk Ø., Enoksen E. et al. Crossing the golden divide: the science and practice of training world-class 800- and 1500-m runners // *Sports Med.* – 2021. – Vol. 51, No. 9. – P. 1835-1854.
- 38 Tønnessen E., Svendsen I., Rønnestad B. et al. The annual training periodization of 8 world champions in orienteering // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2015. – Vol. 10, No. 1. – P. 29-38.
- 39 Foster C., Rodriguez-Marroyo J.A., de Koning J.J. Monitoring training loads: The past, the present, and the future // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2017. – Vol. 12, No. 2. – P. 22-28.
- 40 Bourdon P.C., Cardinale M., Murray A. et al. Monitoring athlete training loads: consensus statement // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2017. – Vol. 12, No. 2. – P. 2161-2170.
- 41 Sandbakk B.S., Tønnessen E., Haugen T., Sandbakk Ø. Training and coaching of female vs. male endurance athletes on their road to gold. Perceptions among successful elite athlete coaches // *German J. Sports Med.* – 2022. – Vol. 73, No. 7. – P. 251-257.

-
- 42 Laursen P.B. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* – 2010. – Vol. 20, No. 2. – P. 1-10.
- 43 Talsnes R.K., van den Tillaar R., Sandbakk Ø. Effects of increased load of low- versus high-intensity endurance training on performance and physiological adaptations in endurance athletes // *Int. J. Sports Physiol. Perf.* – 2022. – Vol. 17, No. 2. – P. 216-225.
- 44 Mikkola J., Rusko H., Nummela A. et al. Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners // *Int. J. Sports Med.* – 2007. – Vol. 28, No. 7. – P. 602-611.
- 45 Kubo K., Kanehisa H., Fukunaga T. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo // *J. Physiol.* – 2002. – Vol. 538, No. 1. – P. 219-226.
- 46 Millet G.P., Jaouen B., Borrani F., Candau R. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2002. – Vol. 34, No. 8. – P. 1351-1359.
- 47 Trehearn T.L., Buresh R.J. Sit-and-reach flexibility and running economy of men and women collegiate distance runners // *J. Strength. Cond. Res.* – 2009. – Vol. 23, No. 1. – P. 158-162.
- 48 Тураев В.Т., Тюпа В.В. Мышечно-сухожильный комплекс: анатомия, биомеханика, спортивная практика. – М: ТВТ Дивизион, 2023. – 319 с.
- 49 Østerås H., Helgerud J., Hoff J. Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2002. – Vol. 88, No. 3. – P. 255-263.
- 50 Hoff J., Gran A., Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* – 2002. – Vol. 12, No. 5. – P. 288-295.
- 51 Hoff J., Helgerud J., Wisløff U. Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 1999. – Vol. 31, No. 6. – P. 870-877.
- 52 Aagaard P., Bennekou M., Larsson B. et al. Resistance training leads to altered muscle fiber type composition and enhanced longterm cycling performance in elite competitive cyclists // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2007. – Vol. 39, No. 5. – P. S448-S449.
- 53 Aagaard P., Andersen J.L., Bennekou M. et al. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* – 2011. – Vol. 21, No. 6. – P. e298-e307.
- 54 Mujika I., Rønnestad B.R., Martin D.T. Effects of increased muscle strength and muscle mass on endurance-cycling performance // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* – 2016. – Vol. 11, No. 3. – P. 283-289.
- 55 Tanaka H., Swensen T. Impact of resistance training on endurance performance. A new form of cross-training? // *Sports Med.* – 1998. – Vol. 25, No. 3. – P. 191-200.
- 56 Llanos-Lagos C., Ramirez-Campillo R., Moran J., Sáez de Villarreal E. The effect of strength training methods on middle-distance and long-distance runners' athletic performance: a systematic review with meta-analysis // *Sports Med.* – 2024. – Vol. 54, No. 7. – P. 1801-1833.
- 57 Bazyler C.D., Abbott H.A., Bellon C.R. et al. Strength training for endurance athletes: theory to practice // *Strength Condit. J.* – 2015. – Vol. 37, No. 2. – P. 1-12.
- 58 Rønnestad B.R., Hansen E.A., Raastad T. Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2010. – Vol. 108, No. 5. – P. 965-975.
- 59 Minahan C., Wood C. Strength training improves supramaximal cycling but not anaerobic capacity // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2008. – 102, No. 6. – P. 659-666.
- 60 Aagaard P., Raastad T. Strength training for endurance performance (Chapter 6). In: Mujika I. (ed.), *Endurance training – science and practice.* – Inigo Mujika: Vitoria-Gasteiz, Basque Country, 2012. – pp. 51-59.

-
- 61 Aagaard P., Andersen J.L. Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes // Scand. J. Med. Sci. Sports. – 2010. – Vol. 20, No. 2. – P. 39-47.
- 62 Селуянов В.Н., Рыбаков В.А., Шестаков М.П. Контроль и физическая подготовка горнолыжников. – URL: <https://prosportlab.com/works/skiing#skiing115> (дата обращения: 18.07.2025).
- 63 Sweeney H.L., Hammers D.W. Muscle contraction // Cold. Spring Harb. Perspect. Biol. – 2018. – Vol. 10, No. 2. – P. a023200.
- 64 Мякинченко Е.Б., Крючков А.С., Фомиченко Т.Г. Силовая подготовка спортсменов высокого класса в циклических видах спорта с преимущественным проявлением выносливости: монография. – М.: Спорт, 2022. – 280 с.
- 65 Кузнецов В.В. Специальная силовая подготовка спортсмена. – М.: Советская Россия, 1975. – 208 с.
- 66 Sattlecker G., Edfelderand J., Gressenbauer C. Exercise catalogue for biathlon shooting. – University of Salzburg-Aut / International Biathlon Union, 2018. – 80 p.
- 67 Aasen S., Frøyd C., Madsen Ø. et al. Utholdenhets: trening som gir resultater. – Oslo: Akilles, 2005. – 130 p.
- 68 Wada Y., Kaneoka K., Takemura M. et al. The effect of core stability exercise on the reaction time of deep trunk muscles // J. Sports Sci. – 2018. – Vol. 6, No. 5.
- 69 Roberts M.D., Haun C.T., Vann C.G. et al. Sarcoplasmic hypertrophy in skeletal muscle: a scientific “unicorn” or resistance training adaptation? // Front. Physiol. – 2020. – Vol. 11. – P. 816.
- 70 Haun C.T., Vann C.G., Roberts B.M. et al. A critical evaluation of the biological construct skeletal muscle hypertrophy: size matters but so does the measurement // Front. Physiol. – 2019. – Vol. 10. – P. 247.
- 71 Huijing P.A. Muscle, the motor of movement: properties in function, experiment and modelling // J. Electromyogr. Kinesiol. – 1998. – Vol. 8, – No 2. – P. 61-77.
- 72 Hedayatpour N., Falla D. Physiological and neural adaptations to eccentric exercise: mechanisms and considerations for training // Biomed. Res. Int. – 2015. – Vol. 2015. – P. 193741.
- 73 Мякинченко Е.Б. Концепция воспитания локальной выносливости в циклических видах спорта: дис. ... д-ра пед. наук. – М.: РГАФК, 1997. – 343 с.
- 74 Tanimoto M., Ishii N. Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men // J. Appl. Physiol. – 2006. – Vol. 100, No. 4. – P. 1150-1157.
- 75 Федотова Е.В. Научно-методическое обеспечение подготовки спортивного резерва. – М.: ПРИНТ-ЛЕТО, 2023. – 480 с.
- 76 Физиологические эффекты низкоинтенсивной силовой тренировки без расслабления / А.И. Нетреба, Д.В. Попов, Я.Р. Бравый и др. // Физиология человека. – 2009. – Т. 35, № 4. – С. 1-6.
- 77 Smith D.J. A framework for understanding the training process leading to elite performance // Sports Med. – 2003. – Vol. 33, No. 15. – P. 1103-1126.
- 78 Chen Y., Feng X., Huang L. et al. Comparative efficacy of concurrent training types on lower limb strength and muscular hypertrophy: a systematic review and network meta-analysis // J. Exerc. Sci. Fit. – 2024. – Vol. 22, No. 1. – P. 86-96.
- 79 Doma K., Deakin G.B., Schumann M., Bentley D.J. Training considerations for optimising endurance development: an alternate concurrent training perspective // Sports Med. – 2019. – Vol. 49, No. 5. – P. 669-682.
- 80 Fyfe J.J., Bishop D.J., Stepto N.K. Interference between concurrent resistance and endurance exercise: molecular bases and the role of individual training variables // Sports Med. – 2014. – Vol. 44, No. 6. – P. 743-762.
- 81 Huiberts R.O., Wüst R.C.I., van der Zwaard S. Concurrent strength and endurance training: a systematic review and meta-analysis on the impact of sex and training status // Sports Med. – 2024. – Vol. 54, No. 2. – P. 485-503.

-
- 82 Lundberg T.R., Feuerbacher J.F., Sünkeler M., Schumann M. The effects of concurrent aerobic and strength training on muscle fiber hypertrophy: a systematic review and meta-analysis // *Sports Med.* – 2022. – Vol. 52, No. 10. – P. 2391-2403.
- 83 Methenitis S. A brief review on concurrent training: from laboratory to the field // *Sports*. – 2018. – Vol. 6, No. 4. – P. 127.
- 84 Petré H., Löfving P., Psilander N. The effect of two different concurrent training programs on strength and power gains in highly-trained individuals // *J. Sports Sci. Med.* – 2018. – Vol. 17, No. 2. – P. 167-173.
- 85 Schumann M., Feuerbacher J.F., Sünkeler M. et al. Compatibility of concurrent aerobic and strength training for skeletal muscle size and function: an updated systematic review and meta-analysis // *Sports Med.* – 2022. – Vol. 52, No. 3. – P. 601-612.
- 86 Vechin F.C., Conceição M.S., Telles G.D. et al. Interference phenomenon with concurrent strength and high-intensity interval training-based aerobic training: an updated model // *Sports Med.* – 2021. – Vol. 51, No. 4. – P. 599-605.
- 87 Hickson R.C. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* – 1980. – Vol. 45, No. 2-3. – P. 255-263.
- 88 Leveritt M., Abernethy P. Acute effects of high-intensity endurance exercise on subsequent resistance activity // *J. Strength Cond. Res.* – 1999. – Vol. 13, No. 1. – P. 47-51.
- 89 Docherty D., Sporer B. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training // *Sports Med.* – 2000. – Vol. 30, No. 6. – P. 385-394.
- 90 Wilson J.M., Marin P.J., Rhea M.R. et al. Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises // *J. Strength Cond. Res.* – 2012. – Vol. 26, No. 8. – P. 2293-2307.
- 91 Hawley J.A. Molecular responses to strength and endurance training: are they incompatible? // *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* – 2009. – Vol. 34, No. 3. – P. 355-361.
- 92 Bell G.J., Syrotuik D., Martin T.P. et al. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2000. – Vol. 81, No. 5. – P. 418-427.
- 93 Hakkinen K., Alen M., Kraemer W.J. et al. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2003. – Vol. 89, No. 1. – P. 42-52.
- 94 McCarthy J.P., Pozniak M.A., Agre J.C. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2002. – Vol. 34, No. 3. – P. 511-519.
- 95 Leveritt M., Abernethy P.J., Barry B.K., Logan P.A. Concurrent strength and endurance training. A review // *Sports Med.* – 1999. – Vol. 28, No. 6. – P. 413-427.
- 96 Baar K. Training for endurance and strength: lessons from cell signaling // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2006. – Vol. 38, No. 11. – P. 1939-1944.
- 97 Hennessy L., Watson A. The interference effects of training for strength and endurance simultaneously // *J. Strength Cond. Res.* – 1994. – Vol. 8, No. 1. – P. 12-19.
- 98 Schumann M., Rønnestad B. Concurrent aerobic and strength training: scientific basics and practical applications. – Cham: Springer International Publishing AG, 2019. – 416 p.
- 99 Rønnestad B., Hansen E., Raastad T. High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2012. – Vol. 112, No. 4. – P. 1457-1466.
- 100 Gao J., Yu L. Effects of concurrent training sequence on VO₂max and lower limb strength performance: a systematic review and meta-analysis // *Front. Physiol.* – 2023. – Vol. 14. – P. 1072679.
- 101 Coffey V.G., Hawley J.A. Concurrent exercise training: do opposites distract? // *J. Physiol.* – 2017. – Vol. 595, No. 9. – P. 2883-2896.

-
- 102 Nader G.A. Concurrent strength and endurance training: from molecules to man // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2006. – Vol. 38, No. 11. – P. 1965-1970.
- 103 Pérez-Schindler J., Hamilton D., Moore D. et al. Nutritional strategies to support concurrent training // *Eur. J. Sport Sci.* – 2014. – Vol. 15, No. 1. – P. 41-52.
- 104 Michalsik L. Concurrent aerobic and strength training in elite team handball // European Handball Federation (eds.). *Scientific approach to the player's environment – from participation to the top. Proceedings of the fourth International Conference on Science in Handball*, Vienna, Austria, 17-18 Nov. 2017. – P. 70-77.
- 105 De Souza E.O. Molecular adaptations to concurrent strength and endurance training. In: Schumann M., Rønnestad B.R. (eds) *Concurrent aerobic and strength training*. – Cham: Springer International Publishing, 2019. – P. 99-123.
- 106 Vikmoen O., Raastad T., Ellefsen S., Rønnestad B.R. Adaptations to strength training differ between endurance-trained and untrained women // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2020. – Vol. 120, No. 7. – P. 1541-1549.
- 107 Clarke R., Aspe R.R., Hughes J. Concurrent training. In: *Advanced strength and conditioning: an evidence-based approach*. – London: Routledge, 2017 – pp. 101-114.
- 108 Wick J. General principles and special basics for training in elite biathlon // *IBU Coach Seminar 2011*. – Pokljuka, SLO, 2011. – 80 p.
- 109 Blagrove R. Programmes of concurrent strength and endurance training: how to minimise the interference effect. Part 1: Evidence and mechanisms of interference // *Prof. Strength Cond.* – 2013. – Vol. 31. – P. 7-14.
- 110 Blagrove R. Minimising the interference effect during programmes of concurrent strength and endurance training. Part 2: Programming recommendations // *Prof. Strength Cond.* – 2014. – Vol. 32. – P. 15-22.
- 111 Losnegard T., Mikkelsen K., Ronnestad B.R. et al. The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross-country skiers // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* – 2011. – Vol. 21, No. 3. – P. 389-401.
- 112 Vahtra E., Pind R., Mäestu E. et al. The effect of different periodization and modes of concurrent strength and endurance training on double poling performance and body composition in adolescent cross-country skiers // *Sports.* – 2022. – Vol. 10, No. 2. – P. 15.
- 113 Meeusen R., Duclos M., Foster C. et al. 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 // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2013. – Vol. 45, No. 1. – P. 186-205.
- 114 Gabbett T.J. Infographic: the training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? // *Br. J. Sports Med.* – 2018. – Vol. 52, No. 3. – P. 203.
- 115 Макарова Г.А., Холявко Ю.А. *Лабораторные показатели в практике спортивного врача: справочное руководство*. – М.: Советский спорт, 2006. – 200 с.
- 116 Референтные интервалы биохимических показателей крови у юных спортсменов / Ж.В. Гришина, С.О. Ключников, В.С. Фещенко и др. // *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. – 2022. – Т. 67, № 4. – С. 60-68.
- 117 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 и др. // *Прикладная спортивная наука*. – 2021. – Т. 13, № 1. – С. 28-36.
- 118 Ozarda Y. Reference intervals: current status, recent developments and future considerations // *Biochem. Med.* – 2016. – Vol. 26, No. 1. – P. 5-16.
- 119 International Standard ISO 15189. Medical laboratories – requirements for quality and competence – URL: <https://iacld.com/UpFiles/Documents/2e096ce5-485b-4f22-b7be-e557fb7d06f8.pdf> (дата обращения: 23.07.2025).

-
- 120 Kanzaki K., Watanabe D., Shi J., Wada M. Mechanisms of eccentric contraction-induced muscle damage and nutritional supplementations for mitigating it // *J. Muscle Res. Cell Motil.* – 2022. – Vol. 43, No. 3. – P. 147-156.
- 121 Allen D.G. Eccentric muscle damage: mechanisms of early reduction of force // *Acta Physiol. Scand.* – 2001. – Vol. 171, No. 3. – P. 311-319.
- 122 Zhang B.T., Yeung S.S., Allen D.G. et al. Role of the calcium-calpain pathway in cytoskeletal damage after eccentric contractions // *J. Appl. Physiol.* – 2008. – Vol. 105, No. 1. – P. 352-357.
- 123 He F., Chuang C.C., Zhou T. et al. Redox correlation in muscle lengthening and immune response in eccentric exercise // *PLoS One.* – 2018. – Vol. 13, No. 12. – P. e0208799.
- 124 Baumert P., Lake M.J., Stewart C.E. et al. Genetic variation and exercise-induced muscle damage: implications for athletic performance, injury and ageing // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2016. – Vol. 116, No. 9. – P. 1595-1625.
- 125 Totsuka M., Nakaji S., Suzuki K. et al. Break point of serum creatine kinase release after endurance exercise // *J. Appl. Physiol.* (1985). – 2002. – Vol. 93, No. 4. – P. 1280-1286.
- 126 Dufour D.R., Lott J.A., Nolte F.S. et al. Diagnosis and monitoring of hepatic injury. I. Performance characteristics of laboratory tests // *Clin. Chem.* – 2000. – Vol. 46, No. 12. – P. 2027-2049.
- 127 Clénin G., Cordes M., Huber A. et al. Iron deficiency in sports—definition, influence on performance and therapy // *Swiss Med. Wkly.* – 2015. – Vol. 145. – P. w14196.
- 128 McKay A.K.A., Peeling P., Pyne D.B. et al. Chronic adherence to a ketogenic diet modifies iron metabolism in elite athletes // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 2019. – Vol. 51, No. 3. – P. 548-555.
- 129 Custer E.M., Finch C.A., Sobel R.E., Zettner A. Population norms for serum ferritin // *J. Lab. Clin. Med.* – 1995. – Vol. 126, No. 1. – P. 88-94.
- 130 Archer N.A., Brugnara C. Diagnosis of iron-deficient states // *Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.* – 2015. – Vol. 52, No. 5. – P. 256-272.
- 131 Peeling P., Blee T., Goodman C. et al. Effect of iron injections on aerobic-exercise performance of iron-depleted female athletes // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* – 2007. – Vol. 17, No. 3. – P. 221-231.
- 132 Sim M., Garvican-Lewis L.A., Cox G.R. et al. Iron considerations for the athlete: a narrative review // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2019. – Vol. 119, No. 7. – P. 1463-1478.
- 133 Andelković M., Baralić I., Dorđević B. et al. Hematological and biochemical parameters in elite soccer players during a competitive half season // *J. Med. Biochem.* – 2015. – Vol. 34, No. 4. – P. 460-466.
- 134 Volpe S.L. Magnesium in disease prevention and overall health // *Adv. Nutr.* – 2013. – Vol. 4, No. 3. – P. 378S-383S.
- 135 Fredericson M., Roche M., Barrack M.T. et al. Healthy Runner Project: a 7-year, multisite nutrition education intervention to reduce bone stress injury incidence in collegiate distance runners // *BMJ Open Sport Exerc. Med.* – 2023. – Vol. 9, No 2. – P. e001545.
- 136 Рыбина И., Ширковец Е., Нехвядович А. Лабораторные маркеры адаптации организма биатлонистов высокой квалификации к тренировочным нагрузкам // Наука в олимпийском спорте. – 2017. – № 2. – С. 28-33.
- 137 Baggish A.L., Wood M.J. Athlete's heart and cardiovascular care of the athlete: scientific and clinical update // *Circulation.* – 2011. – Vol. 123, No. 23. – P. 2723-2735.
- 138 Utomi V., Oxborough D., Whyte G.P. et al. Systematic review and meta-analysis of training mode, imaging modality and body size influences on the morphology and function of the male athlete's heart // *Heart.* – 2013. – Vol. 99, No. 23. – P. 1727-1733.
- 139 Sejersen C., Volianitis S., Secher N.H. The athlete's heart: allometric considerations on published papers and relation to cardiovascular variables // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2024. – Vol. 124, No. 5. – P. 1337-1346.

-
- 140 Patterson S.W., Starling E.H. On the mechanical factors which determine the output of the ventricles // *J. Physiol.* – 1914. – Vol. 48, No. 5. – P. 357-379.
- 141 Динамика маркера повреждения миокарда тропонина Т у биатлонистов высокого класса на этапах подготовительного периода / М.А. Дикунец, Е.В. Федотова, Г.А. Дудко, Э.Д. Вирюс // Спортивная медицина: наука и практика. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 46-54.
- 142 White G.P. Clinical significance of cardiac damage and changes in function after exercise // *Med. Sci. Sport. Exerc.* – 2008. – Vol. 40, No. 8. – P. 1416-1423.
- 143 Aengevaeren V.L., Hopman M.T.E., Thompson P.D. et al. Exercise-induced cardiac troponin I increase and incident mortality and cardiovascular events // *Circulation.* – 2019. – Vol. 140, No. 10. – P 804-814.
- 144 Omland T., Aakre K.M. Cardiac troponin increase after endurance exercise // *Circulation.* – 2019. – Vol. 140, No. 10. – P. 815-818.
- 145 Kleiven Ø., Omland T., Skadberg Ø. et al. Occult obstructive coronary artery disease is associated with prolonged cardiac troponin elevation following strenuous exercise // *Eur. J. Prev. Cardiol.* – 2019. – Vol. 27, No. 11. – P. 1212-1221.
- 146 Tesema G., George M. Associations between cardiac troponin I and cardiovascular parameters after 12-week endurance training in young moderately trained amateur athletes // *BMJ Open Sport Exerc. Med.* – 2021. – Vol. 7, No. 1. – P. e001065.
- 147 Díaz-Garzón J., Fernández-Calle P., Aarsand A.K. et al. Increases in high-sensitivity cardiac troponin I in athletes during a long-term period of routine training out of competition // *Clin. Chem.* – 2020. – Vol. 66, No. 8. – P. 1109-1111.
- 148 Особенности динамики концентрации маркеров остеогенеза и резорбции костной ткани у биатлонистов высокого класса в связи с компрессионной спецификой используемых циклических средств подготовки на этапах подготовительного периода / Е.В. Федотова, Г.А. Дудко, П.А. Сиделев, М.А. Дикунец // Спортивная медицина: наука и практика. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 5-13.
- 149 Влияние циклических нагрузок с различной величиной «компрессионного» воздействия на процессы костеобразования и резорбции у биатлонистов высокого класса в рамках подготовительного периода / А.С. Крючков, Г.А. Дудко, М.А. Дикунец, Н.В. Адодин // Инновационные технологии спортивной медицины и реабилитологии: материалы III Междунар. научно-практич. конф. (Минск, 26-27 окт. 2023 г.). – Минск, 2023. – С. 111-117.
- 150 Верхушанский Ю.В., Виру А.А. Некоторые закономерности долговременной адаптации организма спортсмена к физическим нагрузкам // *Физиология человека.* – 1987. – Т. 13, № 5. – С. 811-818.
- 151 Crewther B.T., Cook C., Cardinale M. et al. Two emerging concepts for elite athletes: the short-term effects of testosterone and cortisol on the neuromuscular system and the dose-response training role of these endogenous hormones // *Sports Med.* – 2011. – Vol. 41, No. 2. – P. 103-123.
- 152 Swerdloff R.S., Dudley R.E., Page S.T. et al. Dihydrotestosterone: biochemistry, physiology, and clinical implications of elevated blood levels // *Endocr. Rev.* – 2017. – Vol. 38, No. 3. – P. 220-254.
- 153 Smith A.A., Toone R., Peacock O. et al. Dihydrotestosterone is elevated following sprint exercise in healthy young men // *J. Appl. Physiol.* (1985). – 2013. – Vol. 114, No. 10. – P. 1435-1440.
- 154 Эндокринная система, спорт и двигательная активность: пер. с англ./под ред. У. Дж. Кремера и А.Д. Рогола. – К.: Олимпийская литература, 2008. – 600 с.
- 155 Дикунец М.А., Дудко Г.А., Крючков А.С. Особенности изменения адаптационного резерва у биатлонистов высокого класса на различных этапах подготовительного периода // Актуальные вопросы развития теории и методики

физической культуры и спорта: материалы Междунар. научно-практич. конф. (Москва, 16 – 17 нояб. 2023 г.). – М., 2023. – С. 492-502.

156 Roberts M.D., Haun C.T., Mobley C.B. et al. Physiological differences between low versus high skeletal muscle hypertrophic responders to resistance exercise training: current perspectives and future research directions // *Front. Physiol.* – 2018. – Vol. 9. – P. 834.

157 Gharahdaghi N., Phillips B.E., Szewczyk N.J. et al. Links between testosterone, oestrogen, and the growth hormone/insulin-like growth factor axis and resistance exercise muscle adaptations // *Front. Physiol.* – 2020. – Vol. 11. – P. 621226.

158 Horwath O., Apro W., Moberg M. et al. Fiber type-specific hypertrophy and increased capillarization in skeletal muscle following testosterone administration in young women // *J. Appl. Physiol.* – 2020. – Vol. 128, No. 5. – P. 1240-1250.

159 Sato K., Iemitsu M., Matsutani K. et al. Resistance training restores muscle sex steroid hormone steroidogenesis in older men // *FASEB J.* – 2014. – Vol. 28, No. 4. – P. 1891-1897.

160 Aizawa K., Iemitsu M., Maeda S. et al. Acute exercise activates local bioactive androgen metabolism in skeletal muscle // *Steroids.* – 2010. – Vol. 75, No. 3. – P. 219-223.

161 Mueller J.W., Gilligan L.C., Idkowiak J. et al. The regulation of steroid action by sulfation and desulfation // *Endocr. Rev.* – 2015. – Vol. 36, No. 5. – P. 526-563.

162 Kroboth P., Salek F. DHEA and DHEA-S: a review // *J. Clin. Psychopharmacol.* – 1999. – Vol. 39, No. 4. – P. 327-348.

163 Corona G., Vena W., Pizzocaro A. et al. Testosterone supplementation and bone parameters: a systematic review and meta-analysis study // *J. Endocrinol. Invest.* – 2022. – Vol. 45, No. 5. – P. 911-926.

164 Cvijetic S., Keser I., Jurasović J. et al. Diurnal salivary cortisol in relation to body composition and heart rate variability in young adults // *Front. Endocrinol.* – 2022. – Vo. 13. – P. 831831.

165 Дикунец М.А., Дудко Г.А. Адаптационные реакции иммунной системы биатлонистов высокого класса на различных этапах подготовительного периода // Актуальные вопросы развития теории и методики физической культуры и спорта: материалы Междунар. научно-практич. конф. (Москва, 16 – 17 нояб. 2023 г.). – М., 2023. – С. 485-491.

166 Gleeson M. Immune function in sport and exercise // *J. Appl. Physiol.* – 2007. – Vol. 103, No. 2. – P. 693-699.

167 Bogdanis G.C., Philippou A., Stavrinou P.S., Tenta R. Acute and delayed hormonal and blood cell count responses to high-intensity exercise before and after short-term high-intensity interval training // *Res. Sports Med.* – 2022. – Vol. 30, No. 4. – P. 400-414.

168 Mathes S., Mester J., Bloch W., Wahl P. Impact of high-intensity and high-volume exercise on short-term perturbations in the circulating fraction of different cell types // *J. Sports Med. Phys. Fitness.* – 2017. – Vol. 57, No. 1-2. – P. 130-137.

169 Zacher J., Wesemann F., Joisten N., Walzik D. Cellular integrative immune markers in elite athletes // *Int. J. Sports Med.* – 2023. – Vol. 44, No. 4. – P. 298-308.

170 Song M., Graubard B.I., Rabkin C.S., Engels E.A. Neutrophil-to-lymphocyte ratio and mortality in the United States general population // *Sci. Rep.* – 2021. – Vol. 11, No. 1. – P. 464.

171 Wahl P., Mathes S., Bloch W., Zimmer P. Acute impact of recovery on the restoration of cellular immunological homeostasis // *Int. J. Sports Med.* – 2020. – Vol. 41, No. 1. – P. 12-20.

172 Zeng P., Jiang C., Liu A., Yang X. Association of systemic immunity-inflammation index with metabolic syndrome in U.S. adult: a cross-sectional study // *BMC Geriatr.* – 2024. – Vol. 24, No. 1. – P. 61.

173 Hu B., Yang X.R., Xu Y. et al. Systemic immune-inflammation index predicts prognosis of patients after curative resection for hepatocellular carcinoma // *Clin. Cancer Res.* – 2014. – Vol. 20, No. 23. – P. 6212-6222.

174 Клеточные интегративные маркеры системного иммунного воспаления как предикторы изменения силовых способностей биатлонистов высокого класса /

М.А. Дикунец, Г.А. Дудко, Н.В. Адодин, Э.Д. Вирюс // Вестник спортивной науки. – 2024. – № 2. – С. 32-36.

175 Walzik D., Joisten N., Zacher J., Zimmer P. Transferring clinically established immune inflammation markers into exercise physiology: focus on neutrophil-to-lymphocyte ratio, platelet-to-lymphocyte ratio and systemic immune-inflammation index // Eur. J. Appl. Physiol. – 2021. – Vol. 121, No. 7. – P. 1803-1814.

176 Антистрессорные реакции и активационная терапия / Л.Х. Гаркави, Е.Б. Квакина, Т.С. Кузьменко, А.И. Шихлярова. – Екатеринбург: Филантроп, 2002-2003. – 416 с.

177 Макарова Г.А. Спортивная медицина. – М.: Советский спорт, 2006. – 480 с.

178 Рыбина И.Л., Михеев А.А., Нехвядович А.И. Адаптационные изменения гомеостаза под влиянием высокоинтенсивных физических нагрузок // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2016. – Т. 93, № 1. – С. 21-24.

179 Zhang X., Li S., Wang J. et al. Relationship between serum inflammatory factor levels and differentiated thyroid carcinoma // Technol. Cancer Res. Treat. – 2021. – Vol. 20. – P. 1533033821990055.

180 Cole S.W. Social regulation of leukocyte homeostasis: the role of glucocorticoid sensitivity // Brain Behav. Immun. – 2008. – Vol. 22, No. 7. – P. 1049-1055.

181 Simpson R.J., Kunz H., Agha N., Graff R. Exercise and the regulation of immune functions // Prog. Mol. Biol. Transl. Sci. – 2015. – Vol. 135. – P. 355-380.

182 Dhabhar F.S., Miller A.H., McEwen B.S., Spencer R.L. Effects of stress on immune cell distribution. Dynamics and hormonal mechanisms // J. Immunol. – 1995. – Vol. 154, No. 10. – P. 5511-5527.

183 Robson-Ansley P.J., De Milander L., Collins M., Noakes T.D. Acute interleukin-6 administration impairs athletic performance in healthy, trained male runners // Can. J. Appl. Physiol. – 2004. – Vol. 29, No. 4. – P. 411-418.

184 Smith L.L. Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? // Med. Sci. Sports Exerc. – 2000. – Vol. 32, No. 2. – P. 317-331.

185 Дикунец М.А., Дудко Г.А., Крючков А.С. Реакция нервной и эндокринной систем биатлонистов высокого класса на тренировочные нагрузки, выполняемые в нормоксических и гипоксических условиях внешней среды // Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры: материалы Всерос. научно-практич. конф. (Волгоград, 1-2 февр. 2023 г.). – Волгоград, 2023. – С. 337-345.

186 Применение расширенного биохимического профиля спортсмена сверхвысокой квалификации для прогнозирования стойкого снижения работоспособности / М.А. Дикунец, Г.А. Дудко, Э.Д. Вирюс, А.С. Крючков // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2022. – Т. 66, № 4. – С. 89-93.

187 Davis J.M., Bailey S.P. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise // Med. Sci. Sports Exerc. – 1997. – Vol. 29, No. 1. – P. 45-57.

188 Sharpe K., Hopkins W., Emslie K.R. et al. Development of reference ranges in elite athletes for markers of altered erythropoiesis // Haematologica. – 2002. – Vol. 87, No. 12. – P. 1248-1257.

189 Sawka M.N., Convertino V.A., Eichner E.R. et al. Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness // Med. Sci. Sports Exerc. – 2000. – Vol. 32, No. 2. – P. 332-348.

190 Böning D., Maassen N., Pries A. The hematocrit paradox – how does blood doping really work? // Int. J. Sports Med. – 2011. – Vol. 32, No. 4. – P. 242-246.

191 Pospieszna B., Kusy K., Słomińska E.M. et al. The effect of training on erythrocyte energy status and plasma purine metabolites in athletes // Metabolites. – 2019. – Vol. 10, No. 1. – P. 5-20.

-
- 192 Kuhn V., Diederich L., Stevenson Keller T.C. et al. Red blood cell function and dysfunction: redox regulation, nitric oxide metabolism, anemia // *Antioxid. Redox. Signal.* – 2017. – Vol. 26, No.13. – P. 718-742.
- 193 Mchedlishvili G., Maeda N. Blood flow structure related to red cell flow: determinant of blood flow in narrow microvessels // *Jpn. J. Physiol.* – 2001. – Vol. 51, No. 1. – P. 19-30.
- 194 Tomschi F., Bizjak D., Bloch W. et al. Deformability of different red blood cell populations and viscosity of differently trained young men in response to intensive and moderate running // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* – 2018. – Vol. 69, No. 4. – P. 503-514.
- 195 Nouaman M., Darras A., John T. et al. Effect of cell age and membrane rigidity on red blood cell shape in capillary flow // *Cells.* – 2023. – Vol. 12, No. 11. – P. 1529.
- 196 Tomschi F., Bloch W., Grau M. Impact of type of sport, gender and age on red blood cell deformability of elite athletes // *Int. J. Sports Med.* – 2018. – Vol. 39, No. 1. – P. 12-20.
- 197 Mairbäurl H. Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells // *Front. Physiol.* – 2013. – Vol. 4. – P. 332.
- 198 Seo J., Park H.Y., Jung W.S. et al. Effects of 12 weeks of resistance training on body composition, muscle hypertrophy and function, blood lipid level, and hemorheological properties in middle-aged obese women // *Rev. Cardiovasc. Med.* – 2023. – Vol. 24, No. 7. – P. 196.
- 199 von Tempelhoff G.F., Schelkunov O., Demirhan A. et al. Correlation between blood rheological properties and red blood cell indices (MCH, MCV, MCHC) in healthy women // *Clin. Hemorheol. Microcirc.* – 2016. – Vol. 62, No. 1. – P. 45-54.
- 200 Weight L.M., Byrne M.J., Jacobs P. Haemolytic effects of exercise // *Clin. Sci.* – 1991. – Vol. 81, No. 2. – P. 147-152.
- 201 Brun J.F., Varlet-Marie E., Connes P., Aloulou I. Hemorheological alterations related to training and overtraining // *Biorheology.* – 2010. – Vol. 47, No. 2. – P. 95-115.
- 202 Smith J.A., Martin D.T., Telford R.D., Ballas S.K. Greater erythrocyte deformability in world-class endurance athletes // *Am. J. Physiol.* – 1999. – Vol. 276. – P. 2188-2193.
- 203 Caimi G., Carlisi M., Presti R.L. Red blood cell distribution width, erythrocyte indices, and elongation index at baseline in a group of trained subjects // *J. Clin. Med.* – 2023. – Vol. 13, No. 1. – P. 151.
- 204 Montero D., Lundby C. Red cell volume response to exercise training: association with aging // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* – 2017. – Vol. 27, No. 7. – P. 674-683.
- 205 Montero D., Lundby C. Regulation of red blood cell volume with exercise training // *Compr. Physiol.* – 2018. – Vol. 9, No. 1. – P. 149-164.
- 206 Montero D., Breenfeldt-Andersen A., Oberholzer L. et al. Erythropoiesis with endurance training: dynamics and mechanisms // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* – 2017. – Vol. 312, No. 6. – P. R894-R902.
- 207 Vogt S., Altehoefer C., Bueltermann D. et al. Magnetic resonance imaging of the lumbar spine and blood volume in professional cyclists // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2008. – Vol. 102, No. 4. – P. 411-416.
- 208 Jahromi A.S., Zar A., Ahmadi F. et al. Effects of endurance training on the serum levels of tumour necrosis factor- α and interferon- γ in sedentary men // *Immune Netw.* – 2014. – Vol. 14, No. 5. – P. 255-259.
- 209 Rundqvist H., Rullman E., Sundberg C.J. et al. Activation of the erythropoietin receptor in human skeletal muscle // *Eur. J. Endocrinol.* – 2009. – Vol. 161, No. 3. – P. 427-434.
- 210 Sahlin K., Harris R.C., Nyland B., Hultman E. Lactate content and pH in muscle obtained after dynamic exercise // *Pflugers Arch.* – 1976. – Vol. 367, No. 2. – P. 143-149.
- 211 Robergs R.A., Ghiasvand F., Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* – 2004. – Vol. 287, No. 3. – P. 502-516.
- 212 Lindinger M.I., Kowalchuk J.M., Heighenhauser G.J.F. Applying physicochemical principles to skeletal muscle acid-base status // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* – 2005. – Vol. 289, No. 3. – P. 891-894.

-
- 213 Sim M., Garvican-Lewis L.A., Cox G.R. et al. Iron considerations for the athlete: a narrative review // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2019. – Vol. 119, No. 7. – P. 1463-1478.
- 214 Myhre K.E., Webber B.J., Cropper T.L. et al. Prevalence and impact of anemia on basic trainees in the US air force // *Sports Med. Open.* – 2016. – Vol. 2. – P. 23.
- 215 Custer E.M., Finch C.A., Sobel R.E., Zettner A. Population norms for serum ferritin // *J. Lab. Clin. Med.* – 1995. – Vol. 126, No. 1. – P. 88-94.
- 216 Nielsen P., Nachtigall D. Iron supplementation in athletes. Current recommendations // *Sports Med.* – 1998. – Vol. 26, No 4. – P. 207-216.
- 217 Andelković M., Baralić I., Dordević B. et al. Hematological and biochemical parameters in elite soccer players during a competitive half season // *J. Med. Biochem.* – 2015. – Vol. 34, No. 4. – P. 460-466.
- 218 Trapani V., Rosanoff A., Baniasadi S. et al. The relevance of magnesium homeostasis in COVID-19 // *Eur. J. Nutr.* – 2022. – Vol. 61, No. 2. – P. 625-636.
- 219 Touyz R.M., Baaij J.H.F., Hoenderop J.G.J. Magnesium disorders // *N. Engl. J. Med.* – 2024. – Vol. 390, No. 21. – P. 1998-2009.
- 220 Zhang Y., Xun P., Wang R. et al. Can magnesium enhance exercise performance? // *Nutrients.* – 2017. – Vol. 9, No. 9. – P. 946.
- 221 Cazzola R., Porta M.D., Piuri G., Maier J.A. Magnesium: a defense line to mitigate inflammation and oxidative stress in adipose tissue // *Antioxidants (Basel).* – 2024. – Vol. 13, No. 8. – P. 893.
- 222 Welch A.A., Kelaiditi E., Jennings A. et al. Dietary magnesium is positively associated with skeletal muscle power and indices of muscle mass and may attenuate the association between circulating C-reactive protein and muscle mass in women // *J. Bone Miner. Res.* – 2016. – Vol. 31, No. 2. – P. 317-325.
- 223 Welch A.A., Skinner J., Hickson M. Dietary magnesium may be protective for aging of bone and skeletal muscle in middle and younger older age men and women: cross-sectional findings from the UK biobank cohort // *Nutrients.* – 2017. – Vol. 9, No. 11. – P. 1189.
- 224 Córdova A., Mielgo-Ayuso J., Roche E. et al. Impact of magnesium supplementation in muscle damage of professional cyclists competing in a stage race // *Nutrients.* – 2019. – Vol. 11, No. 8. – P. 1927.
- 225 Mariño M.M., Grijota F.J., Bartolomé I. et al. Influence of physical training on erythrocyte concentrations of iron, phosphorus and magnesium // *J. Int. Soc. Sports Nutr.* – 2020. – Vol. 17. – P. 8.
- 226 Molina-López J., Molina J.M., Chirosa L.J. et al. Association between erythrocyte concentrations of magnesium and zinc in high-performance handball players after dietary magnesium supplementation // *Magnes Res.* – 2012. – Vol. 25, No. 2. – P. 79-88.
- 227 Nielsen F.H., Lukaski H.C. Update on the relationship between magnesium and exercise // *Magnes. Res.* – 2006. – Vol. 19, No. 3. – P. 180-189.
- 228 Maynar-Marino M., Crespo C., Llerena F. et al. Influence of physical exercise on serum concentration of magnesium and phosphorus // *Med. Dello Sport.* – 2015. – Vol. 68, No. 4. – P. 577-584.
- 229 Bohl C.H., Volpe S.L. Magnesium and exercise // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* – 2002. – Vol. 42, No. 6. – P. 533-563.
- 230 Kawabe N., Suzuki M., Machida K., Shiota M. Magnesium metabolism after a full-marathon race // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 1999. – Vol. 31, No. 1. – P. 189.
- 231 Volpe S.L. Magnesium and the athlete // *Curr. Sport. Med. Rep.* – 2015. – Vol. 14, No. 4. – P. 279-283.
- 232 Bussière F.I., Gueux E., Rock E. et al. Increased phagocytosis and production of reactive oxygen species by neutrophils during magnesium deficiency in rats and inhibition by high magnesium concentration // *Br. J. Nutr.* – 2002. – Vol. 87, No. 2. – P. 107-113.

-
- 233 Dalili S., Koohmanaee S., Nemati S.A.R. et al. The association between hemoglobin HbA1c with serum inorganic phosphate in children with type 1 diabetes // *Diabetes Metab. Syndr. Obes.* – 2020. – Vol. 13. – P. 3405-3409.
- 234 Зайцева Ю.А. Фосфор. Его роль в жизни человека, химический состав и норма в крови // Перспективные научные исследования: опыт, проблемы и перспективы развития: сб. ст. Междунар. научно-практич. конф. (Уфа, 17 июня 2019 г.). – Уфа, 2019. – С. 23-26.
- 235 Фосфор: роль в организме, норма в крови, повышение и понижение уровня. – URL: <https://sosudinfo.ru/krov/fosfor/> (дата обращения: 15.08.2025).
- 236 Burt M.G., Mangelsdorf B.L., Srivastava D., Petersons C.J. Acute effect of calcium citrate on serum calcium and cardiovascular function // *J. Bone Miner. Res.* – 2013. – Vol. 28, No. 2. – P. 412-418.
- 237 Rios E. Calcium-induced release of calcium in muscle: 50 years of work and the emerging consensus // *J. Gener. Physiol.* – 2018. – Vol. 150, No. 4. – P. 521-537.
- 238 Fredericson M., Roche M., Barrack M.T. et al. Healthy runner project: a 7-year, multisite nutrition education intervention to reduce bone stress injury incidence in collegiate distance runners // *BMJ Open Sport Exerc. Med.* – 2024. – Vol. 10, No 1. – P. e001545corr1.
- 239 Kohrt W.M., Wherry S.J., Wolfe P. et al. Maintenance of serum ionized calcium during exercise attenuates parathyroid hormone and bone resorption responses // *J. Bone Miner. Res.* – 2018. – Vol. 33, No. 7. – P. 1326-1334.
- 240 Михайлова А.С., Закроева А.Г., Сахнин А.Д. Научно обоснованные перспективы профилактического приема витамина D // *Фарматека.* – 2017. – № S4. – С. 12-16.
- 241 Maimoun L., Manetta J., Couret I. et al. The intensity level of physical exercise and the bone metabolism response // *Int. J. Sports Med.* – 2006. – Vol. 27, No 2. – P. 105-111.
- 242 de la Puente Yagüe M., Collado Yurrita L., Ciudad Cabañas M.J., Cuadrado Cenzual M.A. Role of vitamin D in athletes and their performance: current concepts and new trends // *Nutrients.* – 2020. – Vol. 12, No. 2. – P. 579.
- 243 Knechtle B., Jastrzębski Z., Hill L., Nikolaidis P.T. Vitamin D and stress fractures in sport: preventive and therapeutic measures – a narrative review // *Medicina (Kaunas).* – 2021. – Vol. 57, No. 3. – P. 223.
- 244 Dimeski G., Treacy O. The influence of albumin and pH on total and ionized calcium and magnesium // *Point Care.* – 2018. – Vol. 17, No. 4. – P. 123-126.
- 245 Клинические рекомендации Российской ассоциации эндокринологов по диагностике, лечению и профилактике дефицита витамина D у взрослых / Е.А. Пигарова, Л.Я. Рожинская, Ж.Е. Белая и др. // Проблемы эндокринологии. – 2016. – Т. 62, № 4. – С. 60-84.
- 246 Heaney R.P., Holick M.F. Why the IOM recommendations for vitamin D are deficient // *J. Bone Miner. Res.* – 2011. – Vol. 26, No. 3. – P. 455-457.
- 247 Мякинченко Е.Б., Крючков А.С., Мисина С.С., Мякинченко П.Е., Волков М.В. Периодизация тренировочного процесса, динамика физической подготовленности, кинематических параметров техники и спортивного результата у лыжников и биатлонистов высокого класса. Монография. – М.: Издательство «Перо», 2024. – 364 с.

Научное издание

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА»
(ФГБУ ФНЦ ВНИИФК)

Крючков Андрей Сергеевич, **Федотова** Елена Викторовна,
Дикунец Марина Александровна, **Дудко** Григорий Алексеевич,
Мякинченко Евгений Борисович

ПОДГОТОВКА БИАТЛОНИСТОВ ВЫСОКОГО КЛАССА:
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ РЕШЕНИЯ

Коллективная монография

Под общей редакцией А.С. Крючкова

Текстовое электронное издание

Издатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Федеральный научный центр физической культуры и спорта»

Адрес издателя: Москва, Елизаветинский пер., д. 10, стр. 1

Тел.: 8 (499) 265 44 32

Эл. почта: info@vniifk.ru

Подписано к использованию: 28.11.2025

Объем издания: 4,5 Мб

Тираж: 300 экз. (1-й завод 1-50 экз.)