Дата публикации: 01.09.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_32
УДК 612.018 + 575:796

Publication date: 01.09.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_32
UDC 612.018 + 575:796

ГОРМОНАЛЬНЫЕ МАРКЕРЫ АДАПТАЦИИ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ СПОРТСМЕНОВ К ВЫПОЛНЕНИЮ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК С РАЗНОЙ МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТЬЮ

О.В. Балберова, Е.В. Быков
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет физической культуры», г. Челябинск, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Для сохранения здоровья спортсменов важен баланс между тренировочными нагрузками и восстановлением. Высокой информативностью для оценки функционального состояния обладает анаболический индекс тестостерон/кортизол, поэтому целью исследования явилось определение различий в сывороточных концентрациях кортизола, тестостерона и их соотношения (анаболический индекс) у спортсменов в процессе адаптации к выполнению нагрузок разной метаболической направленности. ***Методы.*** Все участники (n=192) были разделены на 3 группы в зависимости от соревновательной дистанции. Мониторинг сывороточных концентраций кортизола и тестостерона проводился в подготовительном и в соревновательном периодах. Статистическая обработка выполнена с помощью лицензионного пакета программ ISB SPSS версия 22.0. ***Результаты.*** Межгрупповой анализ выявил достоверные различия в исследуемых параметрах у спортсменов в зависимости от метаболической направленности тренировок, а также от спортивной квалификации. ***Заключение.*** Биохимический мониторинг, проведенный на разных этапах тренировочного цикла, позволил выявить гормональные особенности адаптации спортсменов к соревновательным нагрузкам разной метаболической направленности.
Ключевые слова: спортсмен, бег на короткие, средние и длинные дистанции, адаптация, тестостерон, кортизол, анаболический индекс.

HORMONAL MARKERS OF SKELETAL MUSCLE ADAPTATION TO EXERCISE WITH DIFFERENT METABOLIC ORIENTATIONS IN ATHLETES

O.V. Balberova, E.V. Bykov
Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia

Annotation. ***Introduction.*** To maintain the health of athletes, a balance between training loads and recovery is important. The anabolic testosterone/cortisol index is highly informative for assessing the functional state. Therefore, the aim of the study was to determine differences in serum concentrations of cortisol and testosterone and their ratio (anabolic index) in athletes during the process of adapting to loads of different metabolic direction. ***Methods.*** All participants (n=192) were divided into 3 groups depending on the competition distance. The monitoring of serum concentrations of cortisol and testosterone was carried out in the preparatory and competitive periods. Statistical processing was performed using the licensed software package ISB SPSS version 22.0. ***Results.*** An intergroup analysis has revealed significant differences in the studied parameters among athletes, depending on the metabolic orientation of training, as well as on athletic qualifications. ***Conclusion.*** Biochemical monitoring has carried out at different stages of the training cycle revealed the hormonal features of athletes' adaptation to competitive loads of different metabolic orientation.
Keywords: athlete, short-, middle- and long-distance running, adaptation, testosterone, cortisol, anabolic index.

Введение. Современная система подготовки спортсменов в беговых спортивных дисциплинах характеризуется значительным повышением требований к соревновательной программе и к функциональным возможностям спортсмена [1]. Попытки достигнуть высоких результатов на соревнованиях за счет повышения интенсивности нагрузок часто влекут за собой риск нанести ущерб здоровью спортсмена [2, 3]. Возникает необходимость эффективного решения задач спортивной подготовки, что тесно связано с поиском биомаркеров, наиболее точно отражающих

адаптационные изменения в организме спортсменов под влиянием интенсивных физических нагрузок. Соревновательные нагрузки являются значительным стрессовым стимулом и формируют гемодинамические, эндокринные и метаболические адаптации для восстановления гомеостаза [4]. Реакция на стресс, в том числе физические нагрузки, сопровождается активацией системы «гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников» и, как следствие, повышением в крови концентраций продуктов катаболизма белковых и аминокислотных соединений, перекисного окисления липидов и нуклеиновых кислот [5]. В результате значительных биохимических сдвигов в плазме крови изменяется скорость регуляции обмена веществ в организме, в том числе в скелетных мышцах [6].

Кортизол является важнейшим катаболическим медиатором, запускающим процесс глюконеогенеза, необходимого для удовлетворения повышенных энергетических потребностей в скелетных мышцах во время интенсивных физических нагрузок [7]. В то же время повышенный катаболизм во время физических упражнений требует другой адаптации, направленной на устранение чрезмерного протеолиза в скелетных мышцах. Андрогены ответственны за анаболический процесс. Тестостерон является ключевым фактором, способствующим включению аминокислот в мышечные белки. Молекулярная основа антикатаболического действия тестостерона может заключаться, во-первых, в конкурентном действии комплекса «андроген-рецептор-тестостерон» и комплекса «глюкокортикоидный рецептор-кортизол» на регуляторном участке ДНК и, во-вторых, в снижении экспрессии андрогенов и глюкокортикоидных рецепторов. Наряду с антикатаболической функцией тестостерон демонстрирует свою активную анаболическую роль несколькими способами [8]. Индуцированному тестостероном миогенезу и гипертрофии мышц способствует геномная и негеномная активация молекулярных путей, которые стимулируют клетки-сателлиты мышц и регулируют рецепторы андрогенов.

В спортивной медицине изменения уровней тестостерона и кортизола, а также соотношения тестостерона к кортизолу (анаболический индекс, АИ) являются чувствительными маркерами физического стресса. Было показано, что АИ снижается более чем на 30% у спортсменов с симптомами перетренированности [9]. Однако этот индекс нельзя использовать отдельно в качестве порогового значения для диагностики синдрома перетренированности. В то же время мониторинг данного индекса в течение тренировочного сезона является эффективным биохимическим маркером, позволяющим отслеживать влияние на организм спортсмена тренировочных воздействий, которые могут носить как адаптивный, так и дезадаптивный характер [8].

Исходя из этого, целью исследования явилось определение различий в сывороточных концентрациях кортизола, тестостерона и их соотношения у спортсменов в процессе многолетней адаптации к выполнению нагрузок разной метаболической направленности (бег на короткие, средние и длинные дистанции).

Методы и организация исследования. Исследование проводилось на базе Научно-исследовательского института олимпийского спорта Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет физической культуры» (УралГУФК) и было одобрено локальным комитетом по этике УралГУФК, протокол № 5 от 11.01.2023 г. Все участники подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Объем генеральной совокупности и сопоставимых групп рассчитывался с использованием номограммы Альтмана.

В исследование включено 192 участника (беговые дисциплины легкой атлетики, конькобежный спорт), которые были разделены на 3 группы: в первую группу вошли спринтеры (n=57), во вторую группу вошли бегуны на средние дистанции (n=52), в третью группу вошли спортсмены, специализирующиеся в беге на длинные дистанции (n=83). Мониторинг сывороточных концентраций кортизола и тестостерона

проводился на подготовительном этапе тренировочного процесса, что не предусматривало больших и значительных физических нагрузок и в соревновательном периоде. В качестве биологического материала для выполнения биохимических исследований была использована венозная кровь. Забор крови у спортсменов проводился строго натощак, с 8 до 10 часов утра, в независимой лаборатории «Прогрессивные медицинские технологии» (г. Челябинск). Расчет АИ производили по формуле:

АИ(%)=[Тестостерон]/[Кортизол].

Статистическая обработка выполнена с помощью лицензионного пакета программ ISB SPSS версия 22.0 (SPSS Inc, США). Поскольку статистическое распределение некоторых параметров имеет ассиметричный характер, результаты анализа данных представлены в виде медианы Me, 25% и 75% перцентилей [Q1; Q3]. Статистическую значимость различий определяли с помощью критерия Манна-Уитни (межгрупповые различия) и критерия Вилкоксона (сравнение переменных внутри группы). Принятый уровень значимости соответствовал $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Концентрации гормонов в сыворотке крови на разных этапах тренировочного процесса у спортсменов с разной метаболической направленностью физических нагрузок (бег на короткие, средние и длинные дистанции) представлены в таблице.

Таблица

Сравнительная характеристика анаболико-катаболического равновесия у спортсменов с разной соревновательной дистанцией на разных этапах подготовки, M±m

Показатель (реф. значения)		Бег на короткие дистанции (n=57)	Бег на средние дистанции (n=52)	Бег на длинные дистанции (n=83)	P<
		1	2	3	
Тестостерон, нмоль/л (4,7-41,68)	ОП	34,64±5,4	27,72±7,08	20,96±4,3	$p^{1-3}=0,047$
	СП	28,01±4,2	22,6±6,5	17,05±3,8	$p^{1-3}=0,046$
Кортизол, нмоль/л (150-660)	ОП	394,09±83,7	344,57±86,4	351,65±72,60	–
	СП	414,22±83,6	366,39±80,8	384,7±69,7	–
АИ, %	ОП	8,0±2,6	8,76±3,7	6,23±1,8	–
	СП	5,8±1,9	6,6±2,7	4,62±1,4	–

Примечание: АИ – анаболический индекс; ОП – общеподготовительный период; СП – соревновательный период.

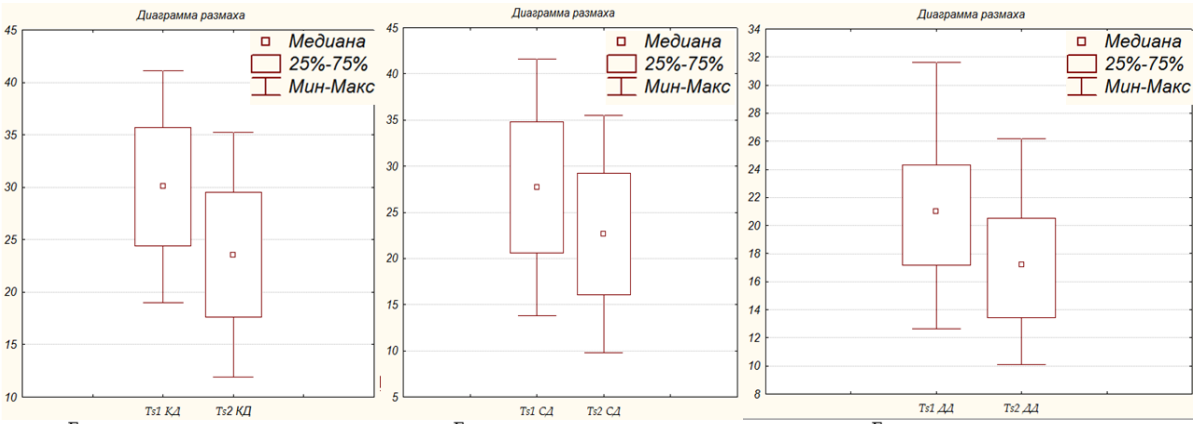
Исследование концентрации тестостерона (Ts) в сыворотке крови у спортсменов-спринтеров была самой высокой и составляла 34,64±5,4 нмоль/л, т.е. соответствовало верхней границе референсных значений. Относительно высокий уровень Ts в сыворотке крови у спринтеров может быть связан с особенностями метаболических факторов тренировочного процесса, связанных с ограничением кровоснабжения работающих мышц, что провоцирует потенциацию эндокринных функций, повышение секреции анаболических гормонов, в частности Ts. Это, в свою очередь, способствует гипертрофии работающих скелетных мышц и наращиванию скоростно-силового потенциала. В то же время исследования West D.W. и соавт. [10] продемонстрировали, что вызванное силовыми упражнениями повышение уровня анаболических гормонов в сыворотке крови, в том числе Ts, не приводило к гипертрофии скелетных мышц, которые не были задействованы в тренировке. Это позволило им предположить, что помимо циркулирующих гормонов на мышечный рост, гипертрофию и силу могут влиять местные механизмы.

У бегунов на средние дистанции концентрация Ts в сыворотке крови составляла 27,72±7,08 нмоль/л, у спортсменов, тренирующихся в беге на длинные дистанции, она была самой низкой и составляла 20,96±4,3 нмоль/л, что было статистически значимо ниже, чем у спринтеров (p=0,049). Поскольку тренировки на выносливость (длинные дистанции) реализуются за счет аэробного процесса энергообеспечения, адаптация к данным нагрузкам связана с усиленной

доставкой кислорода в митохондрии миоцитов и более строгой регуляцией мышечного метаболизма. Более того, длительный характер физических нагрузок по сравнению со спринтерским бегом (краткосрочные и высокоинтенсивные) сопряжен с ограничением поступления энергии и требует высокой экономичности в ее расходовании, что также предполагает более жесткую регуляцию энергетического обмена, в том числе посредством секреции Ts. Одним из физиологических механизмов, обуславливающих более низкие значения Ts у стайеров, можно считать нарушение регуляторной оси «гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников». Корректировка этой оси может являться механизмом, обеспечивающим высокую аэробную производительность у бегунов на длинные дистанции за счет поддержания минимальных анаболических процессов, индуцируемых Ts, возможно из-за ограничения поступления энергии (у спортсменов-стайеров ниже мышечная масса) [11].

Соревновательные нагрузки у спортсменов всех исследуемых групп приводили к снижению концентрации Ts: у спринтеров на 19,01%, у бегунов на средние дистанции этот показатель соответствовал 18,8%, у бегунов на длинные дистанции – 18,1%, соответственно (рис. 1). Статистически значимые межгрупповые различия зарегистрированы между спринтерами и стайерами ($p \geq 0{,}047$).

Индивидуальный анализ динамики ΔTs (%) выявил, что в группе спринтеров у 7% спортсменов соревновательные нагрузки приводили к умеренной стимуляции Ts и повышению его значений в сыворотке крови. Причем все спортсмены с вышеописанным эффектом имели квалификацию «Мастер спорта международного класса» (МСМК) или «Мастер спорта» (МС) (рис. 2).



Бег на короткие дистанции | Бег на средние дистанции | Бег на длинные дистанции

Рис. 1. Динамика сывороточной концентрации тестостерона в сыворотке крови спортсменов, вызванная соревновательными нагрузками разной метаболической направленности, Me [Q1; Q3]

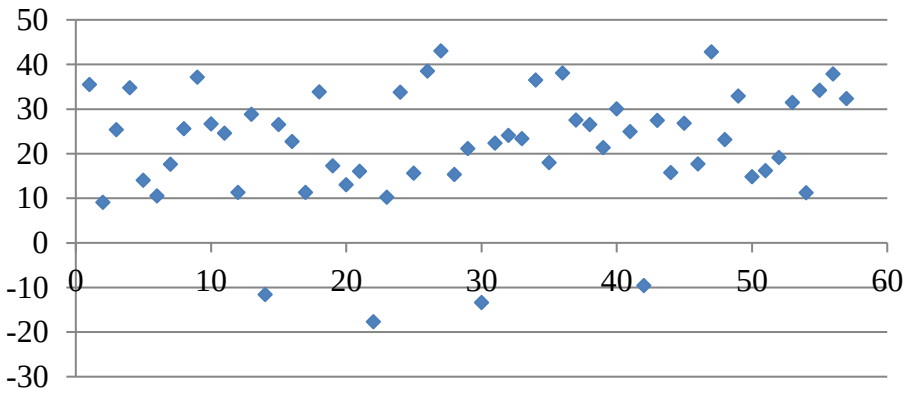


Рис. 2. Изменения индивидуальных значений концентрации тестостерона в сыворотке крови (ΔTs, %), вызванные соревновательными нагрузками у спортсменов-спринтеров

Повышенный уровень Ts создает благоприятные условия для синтеза белка и удовлетворения потребности скелетных мышц в строительном материале после соревновательных нагрузок анаэробного характера. Полученные результаты указывают на важную роль Ts в многолетней адаптации спринтеров к тренировкам скоростно-силовой направленности, а также на то, что ранний период восстановления после соревновательных нагрузок благоприятен для анаболических процессов у высококвалифицированных спринтеров.

Концентрация кортизола в сыворотке крови на общеподготовительном периоде подготовки у спортсменов-спринтеров также была самой высокой и составляла 394,09±83,67 нмоль/л, у бегунов на средние дистанции – 344,57±86,48 нмоль/л, у бегунов на длинные дистанции – 351,65±72,60 нмоль/л, достоверных различий зарегистрировано не было ($p>0,05$). Повышенный уровень кортизола у спринтеров может быть опосредован многолетней адаптацией к тренировкам анаэробного характера, которые характеризуются систематическим повреждающим воздействием на скелетные мышцы, что вызывает повышенную стимуляцию секреции не только Ts, но и кортизола. Кортизол способствует ремоделированию мышц, регулируя содержание мышечного белка посредством ингибирования синтеза мышечного белка и стимулируя деградацию белка, вероятно через активацию убиквитинового протеасомного пути [11]. Кроме того, кортизол влияет на нервно-мышечную функцию и активность нейронов посредством внутриклеточной передачи сигналов [12].

Соревновательные нагрузки повышали уровень гормона во всех исследуемых группах. Анализ вызванных соревновательными нагрузками (Δ кортизола, %) изменений концентрации кортизола в сыворотке крови показал их зависимость от квалификации спортсмена и специфики тренировочного процесса. У бегунов на длинные дистанции динамика повышения кортизола Δ (%) была статистически значимо выше по сравнению с бегунами на средние и короткие дистанции ($p\leq0,05$). Более значимые изменения концентрации кортизола у атлетов, тренирующихся на выносливость, возможно могут быть обусловлены особенностями энергообеспечения, где в качестве механизма для ресинтеза молекул АТФ выступают гликогенолиз и липолиз (с участием кортизола), спринтерский же бег реализуется за счет креатинфосфатного механизма энергообеспечения. Zouhal H. и соавт. определили, что у спортсменов, тренирующихся на выносливость, повышенная реакция кортизола также наблюдается после других стимулов, вызывающих стресс, таких как гипогликемия и гипоксия [13]. Кроме этого, было отмечено, что чем ниже квалификация спортсмена, тем более выраженная активация секреции кортизола наблюдалась под воздействием соревновательных нагрузок (рис. 3).

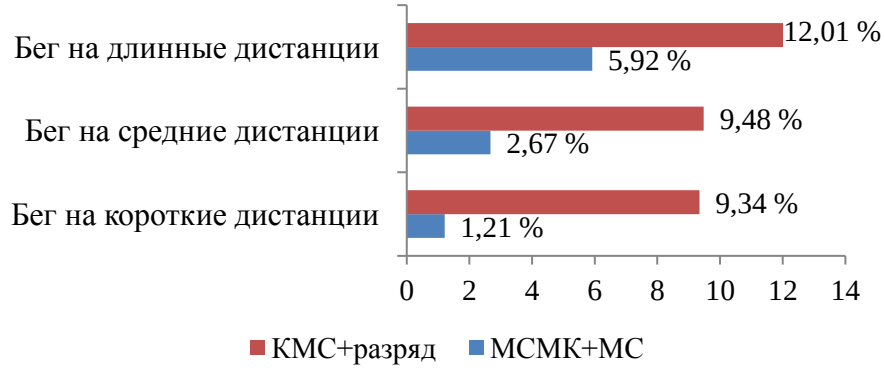


Рис. 3. Изменения концентрации кортизола в сыворотке крови (Δ кортизола, %), вызванные соревновательными нагрузками у спортсменов с разной спортивной квалификацией

Примечание: КМС – кандидат в мастера спорта; МС – мастер спорта; МСМК – мастер спорта международного класса.

Можно предположить, что менее квалифицированные спортсмены испытывают гормональный дисбаланс и демонстрируют меньшую способность к адаптации в период соревновательных нагрузок вне зависимости от специфики тренировочного процесса.

Анализ средних значений АИ не выявил достоверных межгрупповых различий ($p>0,05$) как на этапе общей подготовки, так и после соревновательного периода. Средние значения АИ во всех группах не указывали на преобладание катаболических процессов или перетренированность (табл.).

Соревновательные нагрузки во всех исследуемых группах приводили к снижению АИ: у спринтеров Δ АИ составил 25,6%, у бегунов на средние дистанции – 24,2%, у стайеров – 24,9%. По полученным данным средние групповые значения динамики изменений АИ не превышали 30%, т.е. также не указывали на преобладание катаболических процессов или перетренированность.

Заключение. Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

1. Преодоление коротких отрезков дистанции с высокой скоростью (бег на короткие дистанции) было сопряжено с наиболее высокой концентрацией Ts в подготовительном периоде подготовки; с умеренной стимуляцией Ts после соревновательных нагрузок у высококвалифицированных спортсменов (МСМК и МС) с наиболее высокой концентрацией кортизола. Учитывая, что при этом анаболический индекс и его динамика под влиянием соревновательных нагрузок не превышали критических значений, свидетельствующих о переутомлении, нарушении энергобаланса в результате предельной мобилизации органов и систем организма в соревновательный период, можно предположить, что выявленные изменения биохимических параметров являются результатом многолетней адаптации к нагрузкам анаэробной направленности.

2. Преодоление соревновательной дистанции в зоне средней метаболической мощности и смешанного энергообеспечения (бег на средние дистанции) не оказывал существенного влияния на концентрацию сывороточного Ts, кортизола и на значения анаболического индекса, их динамика под влиянием соревновательных нагрузок находилась в диапазоне референсных значений.

3. Преодоление соревновательной дистанции в зоне средней и большой метаболической мощности (бег на длинные дистанции) было сопряжено с низкими значениями Ts, что может являться механизмом, обеспечивающим высокую аэробную производительность у бегунов на длинные дистанции за счет поддержания минимальных анаболических процессов, индуцируемых Ts.

4. Чем ниже спортивная квалификация спортсмена, тем более выраженная активация секреции кортизола наблюдалась под воздействием соревновательных нагрузок, вне зависимости от специфики тренировочного процесса.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проводилось в рамках Государственного задания Министерства спорта Российской Федерации «Совершенствование технологий спортивного отбора и выбора спортивной специализации в циклических видах спорта (беговые дисциплины легкой атлетики, конькобежный спорт)» (регистрационный номер 1022060200098-2-3.3.11 от 06.10.2023 г.).

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study was carried out under the State Assignment of the Ministry of Sports of the Russian Federation titled “Improving technologies of sports selection and selection of sports specialization in cyclic sports (running disciplines of track-and-field, speed skating)” (registration number 1022060200098-2-3.3.11 from 06.10.2023).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спортивная генетика: монография / под ред. Н.А. Шнайдер, О.В. Балберовой. – Москва: «Русайнс», 2023. – 343 с.
2. Балберова, О.В. ЭКГ-критерии, сопряженные с риском дезадаптационных сдвигов миокарда у спортсменов циклических видов спорта / О.В. Балберова, Н.А. Шнайдер // Российский кардиологический журнал. – 2021. – № 26(S5). – С. 15.
3. Candidate genes of regulation of skeletal muscle energy metabolism in athletes / O.V. Balberova, E.V. Bykov, G.V. Medvedev [et al.] // Genes. – 2021. – No. 12. – P. 1682. DOI: 10.3390/genes12111682.
4. Tracking health, performance and recovery in athletes using machine learning / D.V. Petrovsky, V.I. Pustovoyt, K.S. Nikolsky [et al.] // Sports (Basel). – 2022. – No. 10(10). – P. 160. DOI: 10.3390/sports10100160.
5. Duclos, M. Exercise and the Hypothalamo-Pituitary-Adrenal Axis / M. Duclos, A. Tabarin // Front Horm Res. – 2016. – No. 47. – P. 12-26. DOI: 10.1159/000445149.
6. Brendan, E. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation / E. Brendan, J.R. Zierath // Cell Metabolism. – 2013. – No. 17(2). – P. 162-184. DOI: 10.1016/j.cmet.2012.12.012.
7. Exercise-related changes in the anabolic index (testosterone to cortisol ratio) and serum amyloid A concentration in endurance and racehorses at different fitness levels / J. Grzędzicka, I. Dąbrowska, K. Malin, O. Witkowska-Piłaszewicz // Front Vet Sci. – 2023. – No. 10. – P. 1148990. DOI: 10.3389/fvets.2023.1148990.
8. Аллахярова, К.Э. Оценка интенсивности физических нагрузок и расчет индекса анаболизма как критерия перетренированности / К.Э. Аллахярова, Е.В. Невзорова, А.В. Гулин // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2017. – №. 22(2). – С. 382-386. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-2-382-386.
9. Alternative and promising targets of biochemical analysis in sport (review of literature) / G.A. Dudko, M.A. Dikunec, E.D. Virjus, A.C. Krjuchkov // Klin Lab Diagn. – 2021. – No. 66(11). – P. 655-660. DOI: 10.51620/0869-2084-2021-66-11-655-660.
10. Elevations in ostensibly anabolic hormones with resistance exercise enhance neither training-induced muscle hypertrophy nor strength of the elbow flexors / D.W. West, N.A. Burd, J.E. Tang [et al.] // J Appl Physiol. – 2010. – No. 108(1). – P. 60-67. DOI: 10.1152/japplphysiol.01147.2009.
11. Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs maximum repetitions multiple resistance exercises / J.P. Ahtiainen, A. Pakarinen, W.J. Kraemer, K. Häkkinen // Int J Sports Med. – 2003. – No. 24(6). – P. 410-418. DOI: 10.1055/s-2003-41171.
12. 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 / B.T. Crewther, C. Cook, M. Cardinale [et al.] // Sports Med. – 2011. – No. 41(2). – P. 103-123. DOI: 10.2165/11539170-000000000-00000.
13. Catecholamines and the effects of exercise, training and gender / H. Zouhal, C. Jacob, P. Delamarche, A. Gratas-Delamarche // Sports Med. – 2008. – No. 38(5). – P. 401-423. DOI: 10.2165/00007256-200838050-00004.

REFERENCES

1. Sports genetics: a monograph, Shnajder N.A., Balberovoj O.V., ed. Moscow: RUSAINS, 2023. 343 p. (in Russ.)
2. Balberova O.V., Shnajder N.A. ECG-criteria associated with maladaptive shifts in the myocardium in cyclic sports athletes. *Russian Journal of Cardiology*, 2021, no. 26(S5), p. 15. (in Russ.)
3. Balberova O.V., Bykov E.V., Medvedev G.V., Zhogina M.A., Petrov K.V., Petrova M.M., Al-Zamil M., Trefilova V.V., Goncharova P.S., Shnayder N.A. Candidate genes of regulation of skeletal muscle energy metabolism in athletes. *Genes*, 2021, no. 12, p. 1682. DOI: 10.3390/genes12111682.
4. Petrovsky D.V., Pustovoyt V.I., Nikolsky K.S., Malsagova K.A., Kopylov A.T., Stepanov A.A., Rudnev V.R., Balakin E.I., Kaysheva A.L. Tracking health, performance and recovery in athletes using machine learning. *Sports (Basel)*, 2022, no. 10(10), p. 160. DOI: 10.3390/sports10100160.
5. Duclos M., Tabarin A. Exercise and the Hypothalamo-Pituitary-Adrenal Axis. *Front Horm Res*, 2016, no. 47, pp. 12-26. DOI: 10.1159/000445149.
6. Brendan E., Zierath J.R. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell Metabolism*, 2013, no. 17(2), pp. 162-184. DOI: 10.1016/j.cmet.2012.12.012.
7. Grzędzicka J., Dąbrowska I., Malin K., Witkowska-Piłaszewicz O. Exercise-related changes in the anabolic index (testosterone to cortisol ratio) and serum amyloid A concentration in endurance and racehorses at different fitness levels. *Front Vet Sci*, 2023, no. 10, p. 1148990. DOI: 10.3389/fvets.2023.1148990.

8. Allakhyarova K.E., Nevzorova E.V., Gulin A.V. Evaluation of the intensity of physical loads and calculation of the anabolism index as the criteria of overtraining. *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, no. 22(2), pp. 382-386. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-2-382-386. (in Russ.)
9. Dudko G.A., Dikunec M.A., Virjus E.D., Krjuchkov A.C. Alternative and promising targets of biochemical analysis in sport (review of literature). *Klin Lab Diagn*, 2021, no. 66(11), pp. 655-660. DOI: 10.51620/0869-2084-2021-66-11-655-660.
10. West D.W., Moore D.R., Staples A.W., Holwerda A.M., Baker S.K., Phillips S.M. Elevations in ostensibly anabolic hormones with resistance exercise enhance neither training-induced muscle hypertrophy nor strength of the elbow flexors. *J Appl Physiol*, 2010, no. 108(1), pp. 60-67. DOI: 10.1152/japplphysiol.01147.2009.
11. Ahtiainen J.P., Pakarinen A., Kraemer W.J., Häkkinen K. Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs maximum repetitions multiple resistance exercises. *Int J Sports Med*, 2003, no. 24(6), pp. 410-418. DOI: 10.1055/s-2003-41171.
12. Crewther B.T., Cook C., Cardinale M., Weatherby R.P., Lowe T. 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, no. 41(2), pp. 103-123. DOI: 10.2165/11539170-000000000-00000.
13. Zouhal H., Jacob C., Delamarche P., Gratas-Delamarche A. Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. *Sports Med*, 2008, no. 38(5), pp. 401-423. DOI: 10.2165/00007256-200838050-00004.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Ольга Владиславовна Балберова – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник НИИ Олимпийского спорта Уральского государственного университета физической культуры, Челябинск, e-mail: olga-balberova@mail.ru.
Евгений Витальевич Быков – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, e-mail: bev58@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Olga V. Balberova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Research Institute of Olympic Sports, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: olga-balberova@mail.ru.
Evgenij V. Bykov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: bev58@yandex.ru.

Для цитирования: Балберова, О.В. Гормональные маркеры адаптации скелетных мышц спортсменов к выполнению физических нагрузок с разной метаболической направленностью / О.В. Балберова, Е.В. Быков // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 3(33). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_32

For citation: Balberova O.V., Bykov E.V. Hormonal markers of skeletal muscle adaptation to exercise with different metabolic orientations in athletes. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 3(33). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_32