

Дата поступления рукописи в редакцию: 12.02.2026 г.
Дата принятия рукописи в печать: 10.03.2026 г.

DOI: 10.24412/2076-1503-2026-2-586-591

ШКАПОВ Павел Юрьевич,
Доцент кафедры физической подготовки
Нижегородской академии МВД России,
e-mail: mail@law-books.ru

АНДРИАНОВ Владимир Александрович,
Преподаватель кафедры физической подготовки
Казанского юридического института МВД России,
e-mail: mail@law-books.ru

ДУБРОВИН Евгений Сергеевич,
Преподаватель кафедры
физической подготовки и спорта
Ставропольского филиала Краснодарского
университета МВД России,
e-mail: mail@law-books.ru

АЛЕШИН Евгений Александрович,
Независимый ученый,
Ставропольский край, г. Ставрополь,
e-mail: mail@law-books.ru

МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ВО ВРЕМЯ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Аннотация. В ходе работы последовательно проанализированы биологические механизмы, лежащие в основе физической выносливости, в частности роль митохондрий как ключевых элементов энергетического обеспечения, обеспечивающих синтез АТФ и регуляцию гомеостаза.

Рассмотрены основные теории утомления — гуморально-локалистическая, подчеркивающая локальные метаболические изменения в мышцах, и импульсная адаптация, акцентирующая значимость регуляции со стороны центральной нервной системы.

Вся суть проделанной работы направлена на комплексное исследование биологических, теоретических и прикладных аспектов тренировки, позволяющих целенаправленно развивать митохондриальный аппарат и повышать устойчивость организма к утомлению в условиях высоких спортивных нагрузок.

Особое внимание сосредоточено на восстановительном процессе на принципах оптимизации процессов пост нагрузочного восстановления и повышения физической работоспособности.

Ключевые слова: тренировка, физическая работоспособность, методика, выносливость, анализ, молекулярный уровень, адаптационный процесс.

SHKAPOV Pavel Yuryevich,
Associate Professor, Department of Physical Fitness,
Nizhny Novgorod Academy of the Ministry
of Internal Affairs of Russia

ANDRIANOV Vladimir Aleksandrovich,
Lecturer, Department of Physical Fitness,
Kazan Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia

DUBROVIN Evgeny Sergeevich,
Lecturer, Department of Physical Fitness and Sports,
Stavropol Branch of the Krasnodar University
of the Ministry of Internal Affairs of Russia

ALESHIN Evgeny Aleksandrovich,
Independent Scientist Stavropol Krai,
Stavropol

MOLECULAR-BIOLOGICAL FEATURES OF ADAPTATION PROCESSES DURING PHYSICAL EXERCISE

Annotation. *This study consistently analyzes the biological mechanisms underlying physical endurance, in particular the role of mitochondria as key energy sources, ensuring ATP synthesis and regulating homeostasis. The main theories of fatigue are examined: humoral-localistic, which emphasizes local metabolic changes in muscles, and impulse adaptation, which emphasizes the importance of regulation by the central nervous system.*

The entire essence of this work is aimed at a comprehensive study of the biological, theoretical, and applied aspects of training, enabling targeted development of the mitochondrial apparatus and increasing the body's resistance to fatigue under high athletic loads.

Particular attention is focused on the recovery process, based on the principles of optimizing post-exercise recovery and improving physical performance.

Key words: *training, physical performance, methodology, endurance, analysis, molecular level, adaptation process.*

В процессе многолетнего развития физической культуры, проведено и испытано тысячи различных методик касающихся морфофункционального развития спортивных достижений человека. Актуальность работы определяется необходимостью разработки научно обоснованных подходов, учитывающих молекулярно-биологические особенности адаптационных процессов во время спортивных занятий. Применение таких методов способно обеспечить повышение эффективности тренировочного процесса, снижение риска переутомления и травматизма, а также устойчивый прогресс в показателях физической выносливости.

В данной статье рассматриваются несколько ключевых аспектов. Вначале анализируются биологические основы физической выносливости на клеточном и молекулярном уровнях с акцентом на роль митохондрий. Происходит разбор механизмов, лежащих в основе утомления, в том числе межклеточных сигналов и реакций, влияющих на функциональное состояние митохондрий, что позволяет развивать системное понимание процессов утомления. Далее обсуждаются гуморально-локалистическая и центрально-нервная система [1].

Для того чтобы тренировочный процесс имел полномасштабный уровень, необходимо всегда помнить о назначении нагрузки и восстановления, эти два понятия имеют непосредственную взаимосвязь, которая взаимозависима между собой, мы должны понимать, как утомление вли-

яет на наш организм. Теория утомления – это наш фундамент, позволяющий точно настраивать программы для воздействия на все уровни регуляции двигательной активности. Поэтому стоит обратить внимание на перспективные направления исследований и инновационные технологии, способствующие дальнейшему развитию понимания и улучшению методов тренировки митохондриального аппарата для повышения физической выносливости.

Вся суть проделанной работы направлена на комплексное исследование биологических, теоретических и прикладных аспектов тренировки, позволяющих целенаправленно развивать митохондриальный аппарат и повышать устойчивость организма к утомлению в условиях высоких спортивных нагрузок.

Порог устойчивого сопротивления к утомляемости определяется массой миофибрилл во всех активных мышечных волокнах, а также массой промежуточных митохондрий и гликолитических мышечных волокон, такое соотношение дает спортсмену приобретать так называемую скоростную выносливость, вследствие чего в организме протекают морфологические изменения. Морфологические изменения - это процессы перестройки в структуре организма: увеличение мышечной массы, увеличение объемов сердца, укрепление связок. Есть еще одно распространенное понятие в спорте, которое часто используется специалистами это - функциональные изменения, которые связывают с процессами, совершенствования

организма и его систем, таких как дыхательная система, сердечнососудистая система. Во время спортивных тренировок организм переживает трансформацию, улучшая процессы энергообеспечения, при этом, не меняя своей структуры но, меняя качество этих процессов, результатом функциональных изменений является повышение выносливости и других физических качеств [2].

Во всех биологических процессах, активное участие принимают Митохондрии. В организме человека они выполняют центральную роль в обеспечении клеток энергией, необходимой для поддержания физической активности, особенно при длительных и интенсивных нагрузках.

Указанные источники энергии работают последовательно и перекрывают друг друга, позволяя спортсменам многократно выполнять высокоинтенсивные действия на протяжении всей тренировки или во время соревнований, обеспечивая возможность сохранять длительную работоспособность. В периоды низкой интенсивности или в моменты отдыха, например при выполнении замен, аэробная система берёт на себя управление, восполняя запасы АТФ и креатинфосфата способствуя тем самым выведению лактата.

Способность наших клеток эффективно переключаться между этими системами и быстро восстанавливаться с помощью аэробной системы для выведения молочной кислоты и восполнения запасов энергии имеет решающее значение для высоких результатов в интенсивных видах спорта. Выполнение энергозатратных тренировок требует особых методических подходов, в тренировочном процессе, при котором короткие интенсивные упражнения чередуются с периодами восстановления, что эффективно улучшает физическую подготовку, развивает анаэробную выносливость и функционал всех систем организма [3].

В условиях аэробной работы мышцы требуют непрерывного поступления АТФ, который вырабатывается преимущественно в митохондриях путём окислительного фосфорилирования. Этот процесс реализуется за счёт переноса электронов по дыхательной цепи, связывающей окисление субстратов с синтезом молекул энергии, что позволяет поддерживать работу мышц на протяжении продолжительного времени.

За время тренировочного цикла физическая выносливость формируется во многом благодаря способности митохондрий увеличивать свой функциональный потенциал. Для этого происходит усиление митохондриального биогенеза – процесс, запускаемый сигналами, связанными с интенсивностью и продолжительностью нагрузки, такими как повышение концентраций внутриклеточного кальция, AMP/ATP и реактивных форм кислорода. Увеличение количества митохондрий

и их функциональной плотности в скелетных мышцах способствует повышению способности тканей к аэробному обмену и устойчивости к метаболическим стрессам.

На молекулярном уровне, ключевым компонентом регуляции митохондриального аппарата является транскрипционный коактиватор PGC-1 α , который стимулирует экспрессию генов, ответственных за окислительный метаболизм, биогенез митохондрий, а также адаптацию клеток к повышенным энергетическим требованиям [4].

Повышение уровня ингибирующих нейротрансмиттеров может снижать двигательную активность для предотвращения избыточного истощения энергетических ресурсов или повреждения тканей. Таким образом, наша центрально-нервная система контролирует процессы перегрузки. Данная теория подчеркивает интегративную роль мозга в динамике утомления, выступая как механизм защиты, ограничивающий физическую нагрузку.

Сравнивая эти две теории, следует отметить, что гуморально-локалистический подход объясняет утомление как результат накопления продуктов метаболизма и прямого снижения функциональной способности мышц. В реальности процессы утомления возникают из взаимодействия обоих уровней: локальных периферических изменений и центральной регуляции, взаимно влияющих друг на друга.

Понимание этих теоретических основ создаёт фундамент для дальнейшего изучения роли митохондриального аппарата и энергетического обеспечения, так как митохондрии находятся на этапе реализации энергии, а их состояние напрямую связано с проявлениями гуморального утомления и может влиять на сигналы, поступающие в центральную нервную систему. Это обеспечивает плавный переход к анализу митохондриальных механизмов в процессе утомления и адаптации к тренировкам.

Утомление мышц на клеточном уровне во многом обусловлено нарушениями в энергетическом обмене, которые тесно связаны с функционированием митохондрий. При интенсивной и продолжительной физической нагрузке скорость окислительного фосфорилирования может не успевать компенсировать затраты АТФ, что приводит к энергетическому дефициту в мышечных волокнах. Однако ограниченность возможности частого повторного применения и высокая степень вмешательства ограничивают их использование в спортивной практике [5].

Для регулярного мониторинга и оценки динамики тренировочного процесса активно применяются неинвазивные методы. Среди них основное место занимает спектроскопия ближнего инфра-

красного диапазона (NIRS), которая позволяет оценить оксигенацию и потребление кислорода в мышцах во время и после нагрузки. Этот метод отражает состояние митохондриального дыхания благодаря зависимости утилизации кислорода от эффективности окислительного фосфорилирования.

Кислородный транспорт и обмен в тканях также изучаются с помощью реовазографии и доплерографии, дающих представление о кровоснабжении и метаболической активности мышц. Параметры сердечного выброса и насыщения крови кислородом, получаемые через пульсоксиметрию и газоанализаторы, дополняют картину метаболического состояния.

Биохимические методы заключаются в измерении уровней определённых метаболитов в крови и моче, таких как лактат, креатинфосфат и субстраты окисления. Отслеживание динамики этих показателей во время нагрузочных тестов отражает способность митохондрий к аэробному метаболизму и скорость восстановления энергетического баланса.

Кроме того, в последние годы для оценки митохондриальной функции внедряются методы анализа экспрессии генов, ответственных за митохондриальный биогенез, а также иммуногистохимическое определение содержания ключевых белков дыхательной цепи. Несмотря на высокую информативность, данные методы требуют сложного лабораторного оснащения и применяются преимущественно в научных исследованиях.

На фоне стремительного развития и значительных достижений с установлением новых рекордов, авторским коллективом проведено значимое исследование, связанное с установлением реакции на физическую нагрузку в митохондриальном обмене. Эксперимент, проводился в спортивной школе олимпийского резерва города Ставрополя, в проведенном исследовании использовались несколько неинвазивных физиологических методик, позволяющих мониторить митохондриальную активность в реальном времени, со сравнительным анализом биохимических показателей крови.

Показатели оксигенации мышц оценивались с помощью спектроскопии ближнего инфракрасного диапазона (NIRS), позволяющей фиксировать динамику утилизации кислорода и восстановления после нагрузок. Анализ крови на концентрацию лактата проводился перед тренировками, сразу после и через 15 минут восстановления, что служило индикатором аэробно-анаэробного перехода и митохондриальной эффективности. Контроль вариабельности сердечного ритма осуществлялся с использованием мобильных карди-

омониторов, фиксирующих реакцию в покое и после физической нагрузки. Все эти данные собирались на начальном, среднем и конечном этапах эксперимента [6].

Важным элементом организации было индивидуальное планирование тренировок на основе начального тестирования, позволяющее адаптировать нагрузки к персональной физиологической реакции участников эксперимента, повышая эффективность воздействия на митохондриальный аппарат без риска перенапряжения. Такой подход обеспечил динамическое наблюдение и своевременную коррекцию программы.

В результате организации эксперимента, были выставлены приоритетные задачи: определить влияние специализированных интервальных и аэробно-силовых тренировок на функциональное состояние митохондриального аппарата в условиях спортивной школы г. Ставрополя; проследить динамику изменений показателей оксигенации мышц, лактатного порога и вариабельности сердечного ритма; выявить оптимальные параметры тренировочных нагрузок для повышения физической выносливости и снижения риска утомления у спортсменов с различной подготовленностью.

В ходе эксперимента участники двух групп выполняли определенный вид тренировок, у первой группы, основной упор шел на интервальные тренировки высокой интенсивности (ВИИТ), и аэробно-силовые тренировки. Контрольная вторая группа с традиционной программой тренировочного цикла занималась по привычной схеме. Интенсивность и объем нагрузок постепенно увеличивались, основываясь на данных обратной связи от спортсменов и результатах мониторинга физиологических параметров. Это позволяло избежать перетренированности и обеспечить оптимальную стимуляцию митохондриального биогенеза.

Протокол тренировок, направленный на стимуляцию митохондриального аппарата, был успешно реализован, что подтвердилось стабильным выполнением запланированных нагрузок спортсменами экспериментальной группы и отсутствием признаков чрезмерного утомления или травматизма. Полученные данные демонстрируют отчетливую положительную динамику функционального состояния митохондрий по основным показателям.

Активность митохондриальных ферментов, включая цитохром-с-оксидазу и сукцинатдегидрогеназу, после 12 недель тренировок увеличилась в среднем на 28%, что свидетельствует об усилении окислительного метаболизма и повышении способности к производству АТФ. Этот эффект

оказался статистически значимым по сравнению с контрольной группой, где изменения были незначительными. Рост ферментативной активности сопровождался увеличением митохондриальной плотности, зафиксированной косвенно через повышение цвета оксигенации мышц, фиксируемой спектроскопией, что указывает на биогенез митохондрий и улучшение их функционального потенциала.

Наблюдалась также значимая оптимизация динамики утилизации кислорода в мышцах: время восстановления параметров оксигенации после нагрузки сократилось на 18%, что отражает повышение эффективности дыхательной цепи и способность мышечных клеток быстрее восстанавливаться. Параллельно снижение уровня лактата в крови после физических нагрузок на 15% свидетельствует об улучшении аэробного обмена и сдвиге лактатного порога, что положительно коррелирует с увеличением митохондриальной активности.

Изменения вариабельности сердечного ритма указывали на улучшение работы автономной нервной системы и лучшее восстановление после нагрузок, что повышает общую устойчивость спортсменов к стрессу, вызванному тренировками.

По итогам проведенного исследования хотелось бы сказать, что дальнейшее изучение механизмов адаптации организма имеет свое глубокое актуальное продолжение. Понимание биометаблических основ в дальнейшем неоспоримо позволит обеспечить устойчивый прогресс в подготовке спортсменов на всех уровнях и сохранит их здоровье в условиях современного спорта [7].

Сегодня современные подходы в определении статистических данных, позволяют определить достоверные различия между группами и выявить наиболее эффективные стратегии тренировок для каждого типа спортсменов. В свою очередь полученные результаты могут послужить фундаментом для реализации индивидуализированного подхода в тренировочном процессе.

В дальнейшем планируется проведение дополнительного исследования с той же группой испытуемых. Связанно оно с выявлением сохранения устойчивости организма к применяемому типу нагрузок из предыдущего эксперимента, после длительного перерыва. Перед авторским коллективом стоит задача о проведении сравнительного анализа для выявления положительной динамики.

Список литературы:

[1] Цыгановский, А. М. Морфофункциональные характеристики как критерий индивидуализации оценки физических кондиций студентов выс-

шей школы / А. М. Цыгановский, Н. П. Катунина, Е. А. Цыбина, Е. А. Алешин // Инновационные формы и методы привлечения молодежи к спорту и здоровому образу жизни : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Брянск, 17 мая 2023 года. – Брянск: Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, 2023. – С. 236-244. – EDN GAQAEF.

[2] Гайдаш, Г.А. Положительно-направленная физическая активность, как индивидуальный путь к здоровью и благополучию / А. И. Гайдаш, Д. В. Ошурков, Д. В. Ефимов, С. С. Сергеев // Право и управление. – 2025. – № 4. – С. 345-348.

[3] Ашихмина, Т. А. Способы повышения эффективности развития общей выносливости у курсантов образовательных организаций МВД России / Т. А. Ашихмина, А. И. Гайдаш // Гуманитарно-правовые аспекты развития российского общества : Сборник научных трудов Региональной научно-практической конференции курсантов, студентов и слушателей, Ставрополь, 26 мая 2023 года / Под редакцией А.Д. Котенева, Н.Н. Крыжевской, О.В. Терещенко, Ю.В. Жикривецкой. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью «СЕКВОЙЯ», 2023. – С. 26-29

[4] Гайдаш, А. И. Ключевые факторы воздействия на прирост физических показателей у отстающих курсантов и слушателей образовательных организаций МВД России / А. И. Гайдаш, С. М. Проскурин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 5(131)

[5] Гайдаш, А. И. Методологические особенности использования комбинированных упражнений в висах и упорах на занятиях по физической культуре / А. И. Гайдаш // Гуманитарно-правовые аспекты развития российского общества : материалы региональной научно-практической конференции курсантов, студентов и слушателей, Ставрополь, 29 мая 2020 года / Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Ставропольский филиал. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью «СЕКВОЙЯ», 2020. – С. 100-103.

[6] Леушина, М. Л. Установление взаимосвязи сенсомоторной двигательной активности у подростков с различным индексом массы тела / М. С. Малашенко, О. В. Карбанович, М. Л. Леушина, А. Е. Сентякова // Право и управление. – 2025. – № 2. – С. 291-295.

[7] Денисенко, К. В. Особенности процесса формирования профессиональных компетенций в рамках дисциплины «Физическая подготовка» / К. В. Денисенко, С. М. Хроменков // Совершенствование физической подготовки сотрудников правоохранительных органов : Сборник научных статей,

Орел, 22 июня 2023 года / Редколлегия: С.Н. Баркалов [и др.]. – Орел: Орловский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.В. Лукьянова, 2023. – С. 99-103.

References:

[1] Tsyganovsky, A. M. Morphofunctional characteristics as a criterion for individualizing the assessment of the physical condition of higher school students/A. M. Tsyganovsky, N. P. Katunina, E. A. Tsybina, E. A. Aleshin//Innovative forms and methods of attracting young people to sports and a healthy lifestyle: a collection of materials from the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Bryansk, 17 May 2023. - Bryansk: Bryansk State University named after academician I.G. Petrovsky, 2023. - S. 236-244. – EDN GAQAEF.

[2] Gaidash, G.A. Positive-directed physical activity as an individual path to health and well-being/A. I. Gaidash, D. V. Oshurkov, D. V. Efimov, S. S. Sergeev//Law and management. – 2025. – № 4. - S. 345-348.

[3] Ashikhmina, T. A. Ways to increase the effectiveness of the development of general endurance among cadets of educational organizations of the Ministry of Internal Affairs of Russia/T. A. Ashikhmina, A. I. Gaidash//Humanitarian and legal aspects of the development of Russian society: Collection of scientific works of the Regional Scientific and Practical Conference of cadets, students and students, Stavropol, May 26, 2023/Edited by A.D. Kotenev, N.N. Kryzhevskaya, O.V. Tereshchenko,

Yu.V. Zhikrivetskaya. - Stavropol: Limited Liability Company "SEQUOIA," 2023. - S. 26-29

[4] Gaidash, A. I. Key factors influencing the increase in physical indicators among lagging cadets and students of educational organizations of the Ministry of Internal Affairs of Russia/A. I. Gaidash, S. M. Proskurin//International Research Journal. – 2023. – № 5(131)

[5] Gaidash, A.I. Methodological features of the use of combined exercises in hangs and stops in physical education classes/A.I. Gaidash//Humanitarian and legal aspects of the development of Russian society: materials of the regional scientific and practical conference of cadets, students and students, Stavropol, May 29, 2020/Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Stavropol branch. - Stavropol: Limited Liability Company "SEQUOIA," 2020. - S. 100-103.

[6] Leushina, M. L. Establishing the relationship of sensorimotor motor activity in adolescents with different body mass index/M. S. Malashenko, O. V. Karbanovich, M. L. Leushina, A. E. Sentyakova//Law and management. – 2025. – № 2. - S. 291-295.

[7] Denisenko, K. V. Features of the process of forming professional competencies within the discipline "Physical Training "/K. V. Denisenko, S. M. Khromenkov//Improving the physical training of law enforcement officers: Collection of scientific articles, Orel, June 22, 2023/Editorial board: S.N. Barkalov [et al.]. - Eagle: Oryol Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V.V. Lukyanova, 2023. - S. 99-103.



ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Юридическое издательство «ЮРКОМПАНИ»
издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.