

Вопросы курортологии, физиотерапии
и лечебной физической культуры
2022, Т. 99, №4, с. 67–73
<https://doi.org/10.17116/kurort20229904167>

Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy=
Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kultury
2022, Vol. 99, no. 4, pp. 67–73
<https://doi.org/10.17116/kurort20229904167>

Митохондриальные аспекты утомления в спорте

© А.А. ХАДАРЦЕВ¹, Н.А. ФУДИН², В.А. БАДТИЕВА³

¹Медицинский институт ФГОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия;

²ФГБУН «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина», Москва, Россия;

³Клиника спортивной медицины ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения Москвы», Москва, Россия

Резюме

Проведен обзор отечественной литературы, освещающей проблемы утомления в спорте, сопряженного с митохондриальной активностью, и возможные аспекты корректирующих лекарственных и немедикаментозных воздействий, за последние 5 лет. Показана значимость ацидоза как фактора, лимитирующего мышечную активность, энергопродукцию и утилизацию аденозинтрифосфата, активацию перекисного окисления липидов. Приведены результаты исследований ультраструктуры в модуляции экспрессии генов в связи с характеристиками быстрых и медленных мышц, а также гистохимического способа оценки типов этих мышечных волокон. Оценены возможности профилактики перетренированности в спорте медикаментозными и немедикаментозными способами.

Ключевые слова: митохондрии, утомление, ацидоз, транскраниальная электростимуляция, серотонина адипинат.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Хадарцев А.А. — <https://orcid.org/0000-0002-6507-5877>; eLibrary SPIN: 6193-7543

Фудин Н.А. — <https://orcid.org/0000-0002-5511-7375>; eLibrary SPIN: 7319-8537

Бадтиева В.А. — <https://orcid.org/0000-0003-4291-679X>; eLibrary SPIN: 9628-7287

Автор, ответственный за переписку: Хадарцев А.А. — e-mail: medins@tsu.tula.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Хадарцев А.А., Фудин Н.А., Бадтиева В.А. Митохондриальные аспекты утомления в спорте. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2022;99(4):67–73. <https://doi.org/10.17116/kurort20229904167>

Mitochondrial aspects of fatigue in sports

© А.А. KHADARTSEV¹, N.A. FUDIN², V.A. BADTIEVA³

¹Medical Institute of the Tula State University, Tula, Russia;

²Research Institute of Normal Physiology named after P.K. Anokhin, Moscow, Russia;

³Sports Medicine Clinic of the Moscow Centre for Research & Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Moscow, Russia

Abstract

National literature on fatigue in sports related to mitochondrial activity and possible drug and non-drug correction approaches over the past 5 years was reviewed. The significance of acidosis as a factor limiting muscle activity, energy production, adenosine triphosphate utilization, and activation of lipid peroxidation was shown. The results of ultrastructure studies in the modulation of gene expression related to the characteristics of tonic and phasic muscles and a histochemical method of assessing the types of these muscle fibers are presented. Options of overtraining prevention in sports by drug and non-drug methods are evaluated.

Keywords: mitochondria, fatigue, acidosis, transcranial electrical stimulation, serotonin adipinate.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Khadartsev A.A. — <https://orcid.org/0000-0002-6507-5877>; eLibrary SPIN: 6193-7543

Fudin N.A. — <https://orcid.org/0000-0002-5511-7375>; eLibrary SPIN: 7319-8537

Badtieva V.A. — <https://orcid.org/0000-0003-4291-679X>; eLibrary SPIN: 9628-7287

Corresponding author: Khadartsev A.A. — e-mail: medins@tsu.tula.ru

TO CITE THIS ARTICLE:

Khadartsev AA, Fudin NA, Badtieva VA. Mitochondrial aspects of fatigue in sports. *Problems of balneology, physiotherapy and exercise therapy*. 2022;99(4):67–73. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort20229904167>

Общебиологическая проблема утомляемости издавна является важным фактором деятельности человека в труде и спорте. Физиологический подход к процессу утомления обусловил появление двух теорий: гуморально-локалистической (периферическая) и центрально-нервной. Различают скрытое (преодолеваемое) утомление, когда работоспособность поддерживается волевым усилием, обуславливающим большие энергетические затраты, вследствие чего продолжение нагрузки ведет к некомпенсируемому утомлению со снижением работоспособности. При этом падает активность дыхательных ферментов, угнетается функция надпочечников, усиливается анаэробный гликолиз. В спорте под перенапряжением (перетренированность) понимают дисбаланс между тренировкой и восстановлением [1–5].

Определены характеристики разных видов утомления — острое утомление, перенапряжение, перетренированность, переутомление. Как утомление, так и переутомление — это временные и обратимые состояния, вызванные интенсивными или избыточно длительными нагрузками, которые нормализуются после адекватного отдыха и не требуют фармакологического вмешательства. При перетренированности и переутомлении необходимы коррекция режима труда и отдыха, изменение длительности и интенсивности нагрузок, нормализация питания и потребления воды, профилактика патогенного воздействия неблагоприятных факторов внешней среды (микроклимата, шума, вибрации, влияния электромагнитных полей и пр.). При повышенной утомляемости, определяемой по сравнению с таковой у других людей, выполняющих аналогичную деятельность при тех же условиях, возможны нарушения в работе функциональных систем организма, что выявляется при повторном предъявлении нагрузки [6].

Определен ацидоз как фактор, лимитирующий мышечную активность, тормозящий энергопродукцию и утилизацию аденозинтрифосфата (АТФ), активацию перекисного окисления липидов (ПОЛ), повреждение мембранных структур. Важным представляется соотношение аэробных и анаэробных энергетических источников. При интенсивных нагрузках в мышцах наблюдается линейная зависимость между отношением АТФ/аденозиндифосфат (АДФ) и лактатом: $\text{АТФ/АДФ} = 7,54 - 0,0196 (\text{лактат})$. При этом содержание креатинфосфата (КФ) поддерживается на стационарном уровне, соответствующем интенсивности гликолиза, и имеет жесткую связь с содержанием лактата и величиной рН. Синтез КФ после интенсивных нагрузок в первые несколько минут отдыха восстанавливается с 16 до 90%. Величина рН является интегральным показателем состояния энергетического обмена. Так, при $\text{pH} = 6,3$ образование лактата после электростимуляции мышц прекращается, что связано с ингибированием фосфофруктокиназы при низком рН. Активация гликогенфосфорилазы

ведет к накоплению гексофосфатов, что обуславливает дальнейшее снижение рН. Частично это может купироваться увеличением концентрации фосфатов и аденозинмонофосфата (АМФ). При увеличении деаминации АМФ до инозинмонофосфата предотвращается избыточное накопление АМФ, из-за чего стимулируется гликолиз и уменьшается ацидоз. Снижение рН приводит к набуханию митохондрий, ускорению переноса восстановительных элементов на цитохромном участке их дыхательной цепи, нарушению актомиозинового взаимодействия из-за падения АТФазной активности. Увеличивается концентрация Ca^{2+} в цитоплазме, необходимого для максимальной активности актомиозина. Активация ПОЛ ведет к образованию или высвобождению из белковых компонентов Fe^{++} , что обуславливает цепную реакцию образования свободных радикалов. При этом повреждаются мембранные структуры и нарушается работа полиферментных систем. Поскольку без утомления нельзя обеспечить оптимальную функциональную готовность спортсменов, сделан вывод, что для увеличения их аэробных возможностей необходимо наращивать массу митохондриальной системы либо увеличивать физиологический поперечник мышц, количество миофибрилл и медленных мышечных волокон. Необходимо учитывать, что аэробные тренировки должны предшествовать силовым [7, 8].

Аэробная мощность мышц повышается при короткой работе с интенсивностью 90–100%, продолжительностью 10–15 с и интервалом отдыха 45–60 с для одной группы мышц, что активизирует гликолиз. А скоростная работа, требующая выносливости, осуществляется быстрыми волокнами мышц. При соблюдении времени интенсивных нагрузок и интервалов отдыха интенсивные тренировки обеспечивают увеличение митохондрий в волокнах 2-го типа в 4 раза, способствуя увеличению дыхательных, окислительных возможностей мышц и их выносливости. Это возможно при поддержании сократительной возможности мышц в 60–80% от максимальной. Длительность нагрузок сопряжена с расходом АТФ и КФ в быстрых волокнах мышц [9, 10].

Результаты исследования ультраструктуры и модуляции экспрессии генов в системе кальциевой регуляции [11–13] показали, что имеется значимая связь между степенью повреждения быстрых и медленных скелетных мышц, морфологическими изменениями митохондрий и экспрессией генов, ответственных за синтез белков системы регуляции баланса ионов Ca^{2+} при продолжительной физической нагрузке. В медленных мышцах Ca^{2+} мобилизуется при сопряжении возбуждения и метаболизма, когда первичное высвобождение ионов Ca^{2+} из ретикула обеспечивает Ca^{2+} -зависимую активацию цикла Кребса и производство АТФ в митохондриях. При этом АТФ расходуется также на работу саркоплазматической Са-АТФазы (ортоградный и ретроградный

сигналинг). Продукция активных форм кислорода (АФК) митохондриями и другими источниками ведет к дополнительному выходу Ca^{2+} из ретикулума, что обеспечивает повышение сократительной способности мышц и работоспособности. Но затем увеличение АФК вызывает неконтролируемый выход Ca^{2+} и снижение мышечной работоспособности. При снижении АТФ увеличивается выработка полифосфатов (молекулярный буфер Ca^{2+}), что вызывает деполяризацию митохондрий и их гибель со снижением силы сократительных ответов мышц. Быстрые мышцы с малым количеством митохондрий и хорошо развитой системой триад (система Т-трубочек с двумя терминальными цистернами саркоплазматического ретикулума) имеют иную ультраструктуру. При этом обеспечивается откачка Ca^{2+} в структуры ретикулума, где его буфером является кальсеквестрин, который связывает около 50 ионов кальция, что снижает количество свободного кальция внутри саркоплазматического ретикулума. Отмечается повышение экспрессии генов *SERCA1* и *CASQ1*. Это свидетельствует о важной роли структур электромеханической связи и большей деструкции быстрых мышц по сравнению с медленными. В быстрых мышцах энергетическим источником является гликоген (внутри миофибрилл, между ними и под сарколеммой), поэтому в них невозможно депонирование Ca^{2+} , перезагрузка которым саркоплазмы ведет к деструкции десмина, нейтрофильной инфильтрации мышечной ткани, затем — к инфильтрации макрофагами. Подтверждена важность митохондриального аппарата в аэробной утилизации лактата и в быстрых и медленных мышцах, предупреждающей их перенапряжение и своевременное восстановление при субмаксимальной нагрузке [14–22].

Дополнительное развитие митохондриального аппарата при подключении медленных мышц обеспечивает возможность накапливать и транспортировать избыток лактата эритроцитами, перераспределяя его в работающих мышцах. От реализации этих механизмов зависят выносливость (как физическое качество) и восстановление после физических нагрузок.

Разработан гистохимический способ оценки типов медленных волокон, при котором гистологические срезы помещают последовательно в 1% раствор $CaCl_2$, затем в 2% раствор $CaCl_2$, далее в 1% раствор сульфида аммония, после чего в кислую среду, в которой активируется «быстрый» миозин гликолитических волокон, и в щелочную среду, в которой активируется «медленный» миозин окислительных волокон. При этом окислительные волокна окрашиваются черным цветом, окислительно-гликолитические волокна — серым цветом, а гликолитические волокна — белым. Тип мышечных волокон определяют по площади их поперечного сечения, используя в качестве маркеров: сукцинатдегидрогеназу для оценки окислительных процессов в митохондриях и лактатдегидро-

геназу для определения интенсивности гликолиза в цитоплазме [23].

При оценке молекулярно-генетических маркеров утомления биологических систем при физической нагрузке как стрессового фактора установлен такой признак адаптивной реакции к снижению функциональной активности клеток иммунной системы, как резкая активация каскада противовоспалительных реакций. При этом происходят увеличение уровня γ -интерферона с активацией такого фермента биосинтеза белка, как триптофан-гРНК-синтетаза (ТРСаза), увеличение выработки мРНК [24]. Относительная экспрессия гена ТРСазы более 130% является маркером критической стадии утомления и состояния перетренированности, наряду с клиническими симптомами нарушения деятельности сердечно-сосудистой и нервной систем, нарушением сна, расстройством пищеварения, половой функции, апатией, ухудшением спортивных результатов, нервнопсихическими расстройствами.

Изучаются возможности профилактики перетренированности у спортсменов разных видов спорта. Отмечено, что активный отдых (выполнение другой работы, не связанной с причиной утомления) обеспечивает более быстрое и эффективное восстановление, чем пассивный отдых в условиях относительного покоя. Активный отдых возвращает способность мышечного сокращения, способствуя выведению молочной кислоты и возобновлению энергетических запасов в мышцах [25–27].

В результате утомления определенную роль играют также микроповреждения мышц и отсроченная болезненность, особенно в спорте высших достижений [28].

Специальная силовая выносливость тренируется на фоне утомления с околопредельной интенсивностью 5–7 с на максимальной скорости или 8–15 с с околомаксимальной скоростью, после чего предлагается отдых 2–3 мин для каждой группы мышц. При этом активируется гликолиз, стимулируется окислительный метаболизм с повышением аэробной мышечной мощности, растет количество митохондрий в волокнах 2-го типа в 4 раза и более. Необходим контроль лактата, рост которого снижает выносливость [29, 30].

В ряде исследований изучаются орнитинзависимые механизмы коррекции мышечного утомления и восстановления, эффекты разных лекарственных средств, таких как L-карнитин, α -липоевая кислота (α -ЛК) и др., и немедикаментозных методов — магнитной стимуляции, низкочастотной электростимуляции [31–35].

В экспериментальной работе [36] исследовано влияние α -ЛК на мышечную активность. Констатировано увеличение амплитуды М-ответов мышцы (на 135–130% в сравнении с контролем; $p < 0,05$) без существенного изменения их длительности.

Через 30—60 сут введения α -ЛК отмечено значимое, в сравнении с контролем ($p < 0,05$), увеличение количества активируемых двигательных единиц (на 78—109%) и массы мышцы (на 10—18%), что показывает улучшение синхронизации возбуждения в мышце, увеличение амплитуды потенциала действия и их гипертрофию. Кроме того, происходит улучшение сократительной функции, о чем свидетельствует увеличение скорости расслабления при одиночном сокращении на 23—24%, амплитуды одиночных сокращений на 24—29% и скорости тетанического сокращения на 204—379%. Установлено удлинение в сравнении с контролем ($p < 0,05$) периода максимальной (на 50—101%) и субмаксимальной (на 53%) работоспособности мышцы. Отмечены более высокие устойчивость мышцы к утомлению и скорость ее восстановления после утомления.

Особую значимость восстановительных мероприятий при утомлении и спортивном стрессе приобрел метод транскраниальной электростимуляции (ТЭС) [37—39]. Патогенетическое лечение при утомлении и психоэмоциональном стрессе осуществляется с применением ТЭС в сочетании с электрофорезом и лазерофорезом серотонина [40, 41]. Описано использование ТЭС вместе с клеточными технологиями в спорте [42], а также с введением мексидола [43]. Детали проведения, показания и противопоказания, техническое обеспечение отечественной медицинской техники охарактеризованы в ряде работ [44, 45].

Под методом ТЭС понимается любое лечебное воздействие импульсным током на головной мозг. Наиболее часто используемым параметром ТЭС является частота следования импульсов от 75 до 80 Гц. ТЭС-терапия обладает свойством повышать секрецию нейропептидов.

Установлено влияние серотонина адипината на активацию процессов адаптации при психологических и других стрессорных нагрузках. Серотонин участвует в процессах адаптации к этим нагрузкам через ГАМК-допаминаргическую систему, потенцируя известные эффекты опиоидных пептидов, высвобождение которых происходит при ТЭС [46—49].

Кроме парентерального способа используют также локальное транскутанное (чрескожное) проведение разных препаратов, в частности серотонина, при

помощи лазерофореза как способа проведения сложных биологически активных веществ во внутренние среды организма при помощи лазерного излучения низкой интенсивности, обеспечивающего трансмембранный механизм переноса биологически значимых веществ. При лазерофорезе то или иное вещество наносится на площадь 60—80 см² с последующим воздействием на эту же зону красным или инфракрасным низкоэнергетическим лазерным излучением расфокусированным лучом не более 10 Дж в течение 15 мин. Преимущество лазерофореза перед электрофорезом заключается в отсутствии продуктов электролиза [50].

Воздействие на ГАМК-допаминаргическую систему осуществляют методом ТЭС с лобно-затылочным наложением электродов от аппарата «Магنون-ДКС» (Регистрационное удостоверение ФСР 20ГТЛТ238 от 07.12.15). Применяют динамический режим, используют автоматическое изменение параметров воздействия при проведении процедуры по заранее заложенной программе, с получением требуемых динамических процессов функционирования центральной нервной системы, что повышает эффективность проводимых процедур на 40%, сокращает время их проведения на 30%. Лазерофорез серотонина проводят с помощью устройства «Матрикс» по общепринятой методике. Применяют раствор серотонина адипината для внутривенного и внутримышечного введения по 10 мг в ампуле, который наносят на кожу в подключичной области [51, 52].

Заключение

Представленные обширные научно-практические материалы открывают дополнительные возможности в спорте высших достижений при управлении тренировочным процессом большого объема и высокой интенсивности, сопровождающихся утомлением.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования — Н.А. Фудин; сбор и обработка материала — В.А. Бадтиева; анализ полученных данных, написание текста, редактирование — А.А. Хадарцев.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Авилова И.А. Некоторые особенности научно-методического подхода для совершенствования физических возможностей спортсменов. *Региональный вестник*. 2020;2(41):40-41. Avilova IA. Some features of the scientific and methodological approach for improving the physical capabilities of athletes. *Regional Bulletin*. 2020;2(41):40-41. (In Russ.).
2. Жесткова Ю.К., Липина Я.В. Проблема утомления и восстановления в теории и практике спорта. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2019;5-3(49):128-135. Zhestkova YK, Lipina YV. The problem of fatigue and restoration in theory and practice of sport. *Recent research in the modern world*. 2019;5-3(49):128-135. (In Russ.).
3. Корнякова В.В., Бадтиева В.А., Баландин М.Ю., Ашвиц И.В. Проблема физического утомления в спорте. *Человек. Спорт. Медицина*. 2019;19(4):142-149. Korniyakova VV, Badtieva VA, Balandin MYu, Ashvits IV. Physical fatigue in sports. *Human. Sport. Medicine*. 2019;19(4):142-149. (In Russ.).

4. Платонов В. Теории адаптации и функциональных систем в развитии системы знаний в области подготовки спортсменов. *Наука в олимпийском спорте*. 2017;1:29-47.
Platonov V. Theories of adaptation and functional systems in the development of knowledge in the field of preparation of athletes. *Science in Olympic Sport*. 2017;1:29-47. (In Russ.).
5. Хаджиев Н., Дашева Д. Утомление и адаптация в спорте. *Наука в олимпийском спорте*. 2019;4:37-40.
Hadzhijev N, Dasheva D. Fatigue and adaptation in sport. *Science in Olympic Sport*. 2019;4:37-40. (In Russ.).
6. Шустов Е.Б., Новиков В.С., Оковитый С.В., Болотова В.Ц., Селизарова Н.О., Ким А.Е. Патогенетические механизмы повышенной утомляемости и основные направления ее фармакологической коррекции. *Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук*. 2020;4:26-40.
Shustov EB, Novikov VS, Okovityy SV, Bolotova VC, Selizarova NO, Kim AE. Pathogenetic mechanisms of undue fatigue and main directions of its pharmacological correction. *Herald of education and science development of russian academy of natural sciences*. 2020;4:26-40. (In Russ.).
7. Попович Н.А., Набатов А.А. Факторы, преимущественно определяющие и лимитирующие спортивный результат на гребном эргометре. *Наука и спорт: современные тенденции*. 2019;22(1):67-74.
Popovich NA, Nabatov AA. Factors that mainly determine and limit the sports result on the rowing ergometer. *Science and sports: current trends*. 2019;22(1):67-74. (In Russ.).
8. Розенфельд А., Рямова К. Ацидоз как фактор, лимитирующий мышечную активность при физических нагрузках, и механизмы его формирования. *Наука в олимпийском спорте*. 2016;2:91-98.
Rozenfel'd A, Ryamova K. Acidosis as a factor limiting muscular activity during physical exercise and mechanisms for its development. *Science in Olympic Sport*. 2016;2:91-98. (In Russ.).
9. Афоншин В.Е., Роженцов В.В., Полевщиков М.М. Технология контроля степени утомления при занятиях физической культурой и спортом. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016;7(5):741-743.
Afon'shin VE, Rozhencov VV, Polevshchikov MM. The technology to control fatigue in the course of the sport training session. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2016;7(5):741-743. (In Russ.).
10. Ветрова О.В., Истомин А.В. Использование L-карнитина в специализированных пищевых продуктах для питания спортсменов. *Вопросы питания*. 2015;84(S3):18.
Vetrova OV, Istomin AV. The use of L-carnitine in specialized foods for athletes' nutrition. *Nutrition issues*. 2015;84(S3):18. (In Russ.).
11. Байдюк Е.В., Соболев В.Е., Корф Е.А., Миндукшев И.В., Кривченко А.И., Гончаров Н.В. Ультраструктурные характеристики медленных и быстрых мышечных волокон крыс после цикла принудительного плавания на фоне введения экстракта зеленого чая и солей аммония. *Цитология*. 2019;61(9):740-749.
Bajdyuk EV, Sobolev VE, Korf EA, Mindukshv IV, Krivchenko AI, Goncharov NV. Ultrastructural characteristics of slow and fast twitch muscle fibers of rats after a forced swimming cycle against a background of introduction of green tea extract and ammonium salts. *Tsitologiya*. 2019;61(9):740-749. (In Russ.).
12. Каркищенко Н.Н., Каркищенко В.Н., Шустов Е.Б., Берзин И.А., Капанадзе Г.Д., Фокин Ю.В., Семенов Х.Х., Станкова Н.В., Болотова В.Ц. Особенности выполнения исследований лекарственных средств в условиях моделирования утомления и тренировочного процесса. В книге: Биомедицинское (доклиническое) изучение лекарственных средств, влияющих на физическую работоспособность. Методические рекомендации. М. 2017.
Karkishchenko NN, Karkishchenko VN, Shustov EB, Berzin IA, Kapanadze GD, Fokin YuV, Semenov HH, Stankova NV, Bolotova VC. Features of drug research in conditions of fatigue modeling and training process. In the book: Biomedical (preclinical) study of drugs affecting physical performance. Methodological recommendations. M. 2017. (In Russ.).
13. Медведева В.А., Коробкина Ю.Д., Свешникова А.Н. Минимальная компьютерная модель кальциевого гомеостаза митохондрий. В сборнике: Рецепторы и внутриклеточная сигнализация. Институт биофизики клетки Российской академии наук — обособленное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Пушкинский научный центр биологических исследований Российской академии наук». М. 2019.
Medvedeva VA, Korobkina YuD, Sveshnikova AN. Minimal computer model of mitochondrial calcium homeostasis. In the collection: Receptors and intracellular signaling. The Institute of Cell Biophysics of the Russian Academy of Sciences is a separate subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science «Federal Research Center «Pushchinsky Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences». M. 2019. (In Russ.).
14. Берминова М.С., Саврушкина О.В. Физиологические механизмы мышечного утомления. *Юный ученый*. 2016;3(6):191-195.
Berminova MS, Savrushkina OV. Physiological mechanisms of muscle fatigue. *Young scientist*. 2019;3(6):191-195. (In Russ.).
15. Воронков А.В., Герашенко А.Д., Воронкова М.П. Психофизическая утомляемость и пути ее фармакологической коррекции. *Астраханский медицинский журнал*. 2019;14(1):8-17.
Voronkov AV, Gerashchenko AD, Voronkova MP. Psychophysical fatigability and the ways of its pharmacological correction. *Astrakhan medical journal*. 2019;1(14):8-17. (In Russ.).
16. Дынник В.В., Розенфельд А.С. Краткий анализ факторов, участвующих в формировании утомления при спортивной деятельности. *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. 2019;11(177):130-134.
Dyunnik VV, Rozenfel'd AS. Brief analysis of the factors involved in the formation of fatigue in sports activities. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*. 2019;11(177):130-134. (In Russ.).
17. Кочанов С.А. Физиологические аспекты аэробной выносливости. В книге: Развитие аэробной выносливости в подготовке бойцов смешанных единоборств. М. 2017.
Kochanov SA. Physiological aspects of aerobic endurance. In the book: The development of aerobic endurance in the training of mixed martial arts fighters. M. 2017. (In Russ.).
18. Кучерова А.В., Лединская О.Ю. О рациональном использовании силовых упражнений в подготовительном периоде лыжников-гонщиков. В сборнике: Спорт — дорога к миру между народами. Материалы IV Международной научно-практической конференции. М. 2018.
KucheroVA AV, Ledinskaya OYu. About the rational use of strength exercises in the preparatory period athletes. In the collection: Sport is the road to peace between nations. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference. M. 2018. (In Russ.).
19. Моногаров В. Генез утомления при напряженной мышечной деятельности. *Наука в олимпийском спорте*. 2019;4:4-16.
Monogarov V. The genesis of fatigue during strenuous muscular activity. *Science in Olympic Sport*. 2019;4:4-16. (In Russ.).
20. Рыков С.С. Биохимические основы выносливости. В сборнике: Культура — искусство — образование. Материалы XXXVIII научно-практической конференции научно-педагогических работников института. М. 2017.
Rykov SS. Biochemical foundations of endurance. In the collection: Culture — art — education. Materials of the XXXVIII scientific and practical conference of scientific and pedagogical workers of the Institute. M. 2017. (In Russ.).
21. Фудин Н.А., Гладких П.Г., Хадарцев А.А., Иванов Д.В. Вопросы спортивной медицины. Роль митохондрии. Хроническая гипоксия (обзор литературы по материалам 2015—2017 гг.). *Вестник новых медицинских технологий*. 2017;4:298-308.
Fudin NA, Gladkih PG, HadarceV AA, Ivanov DV. Questions of sports medicine. The role of mitochondria. Chronic hypoxia (Based on materials for 2015—2017). *Journal of new medical technologies*. 2017;4:298-308. (In Russ.).
22. Шпилевой М.А., Красников Д.И., Помогаев А.Д. Выносливость как физическое качество. *Студенческий вестник*. 2020;43-1(141):80-85.
Shpilevov MA, Krasnikov DI, Pomogaev AD. Endurance as a physical quality. *Student Bulletin*. 2020;43-1(141):80-85. (In Russ.).
23. Тамбовцева Р.В. Способ оценки типов мышечных волокон. Патент на изобретение RU 2628810 С, 22.08.17. Заявка №2015143682 от 13.10.15.
Tambovtseva RV. Method for muscular fiber types estimation. Patent for invention RU 2628810 C, 08/22/2017. Application No. 2015143682 dated 13.10.15. (In Russ.).
24. Нурбеков М.К., Ильин А.Б. Молекулярно-генетические маркеры утомления биологических систем (на примере физических нагрузок человека). *Вестник МГУ им. М.А. Шолохова. Социально-экологические технологии*. 2014;1-2:30-35.
Nurbekov MK, Ilyin AB. Molecular-genetic markers of fatigue of biological systems (on the example of physical activity of people). *Bulletin of the Moscow State University named after M.A. Sholokhov. Socio-ecological technologies*. 2014;1-2:30-35. (In Russ.).
25. Ващенко А.С., Арен С.К. Выстраивание системы профилактики хронического утомления на отделении силовых видов спорта. В сборнике: У истоков российской государственности. Исследования и материалы XII Международной научно-практической конференции. Сер. «Калужские страницы» М. 2019.
Vashchenko AS, Aren SK. Forming of chronic exhaustion's preventive maintenance system in a force sport. In the collection: At the origins of Russian statehood. Research and materials of the XII International Scientific and Practical Conference. Ser. «Kaluga pages». M. 2019. (In Russ.).
26. Мокеев Г.И., Жийяр М.В., Баландин М.Ю. Оперативный контроль и прогнозирование уровня утомления в ситуативных видах спорта.

- В сборнике: Актуальные проблемы физической культуры, спорта и туризма. Материалы X Международной научно-практической конференции. М. 2016.
- Mokeyev GI, Zhikhar MV, Balandin MYu. *Operational control and prediction of fatigue level in situational sports*. In the collection: Actual problems of physical culture, sports and tourism. Materials of the X International Scientific and Practical Conference. M. 2016. (In Russ.).
27. Стрельцова А.Г., Павелъев И.Г. Физическая реабилитация как фактор снижения негативных последствий утомления в спорте. *Тенденции развития науки и образования*. 2018;43(7):34-35. Strel'cova AG, Pavel'ev IG. Physical rehabilitation as a factor in reducing the negative effects of fatigue in sports. *Trends in the development of science and education*. 2018;43(7):34-35. (In Russ.).
 28. Дмитриев А., Гунина Л. Синдромы микроповреждения мышц и отсроченной мышечной болезненности в спорте высших достижений: роль в развитии утомления и профилактика. *Наука в олимпийском спорте*. 2020;1:57-70. Dmitriev A, Gunina L. Syndromes of exercise-induced muscle damage and delayed onset muscle soreness in elite sport: role in the development of fatigue and prevention. *Science in Olympic Sport*. 2020;1:57-70. (In Russ.).
 29. Румба О.Г., Гогинова С.Е. *Лактат и его функции при физических нагрузках*. В сборнике: Актуальные проблемы физической культуры и спорта на современном этапе развития общества. Материалы научно-практической конференции с международным участием. Белгородский университет кооперации, экономики и права. Белгород. 2016. Rumba OG, Goginava SE. *Lactate and its functions during exercise*. In the collection: Actual problems of physical culture and sports at the present stage of development of society. Materials of the scientific and practical conference with international participation. Belgorod University of Cooperation, Economics and Law. Belgorod. 2016. (In Russ.).
 30. Сафонов Л.В., Керимова Е.В., Емельянов Б.А., Жилев Ю.Д., Арансон М.В. Оценка эффективности комбинированного использования внутренировочных средств повышения работоспособности и коррекции утомления у высококвалифицированных спортсменов скоростно-силовых видов спорта. *Вестник спортивной науки*. 2017;2:37-40. Safonov LV, Kerimova EV, Emel'yanov BA, Zhilov YuD, Aranson MV. Evaluation of the effectiveness of the combined use of out-of-training means to improve performance and correct fatigue in highly qualified athletes of speed and power sports. *Bulletin of Sports Science*. 2017;2:37-40. (In Russ.).
 31. Анохин А.Г., Ивченко Е.В., Кузьмин А.А., Фатеев И.В., Сошкин П.А. Перспективные направления фармакологической коррекции работоспособности военнослужащих. *Военно-медицинский журнал*. 2019;340(10):48-54. Anohin AG, Ivchenko EV, Kuzmin AA, Fateev IV, Soshkin PA. Promising areas of pharmacological correction of serviceability of military personnel. *Military medical journal*. 2019;340(10):48-54. (In Russ.).
 32. Маматкулова Ф.Р. *Влияние стероидов на скелетную мышечную ткань в спорте*. В сборнике межрегиональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Морфологические особенности мышечного аппарата». М. 2018. Mamatkulova FR. *The effect of steroids on skeletal muscle tissue in sports*. In the collection of the interregional scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists «Morphological features of the muscular apparatus». M. 2018. (In Russ.).
 33. Оковитый С.В., Шустов Е.Б. Орнитинзависимые механизмы коррекции мышечного утомления и восстановления после физических нагрузок. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2020;97(4):74-83. Okovityj SV, Shustov EB. Ornithine-dependent mechanisms of muscle fatigue correction and recovery from physical activity. *Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy*. 2020;97(4):74-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort20209704174>
 34. Попов Г.И., Малхасян Э.А., Маркрян В.С., Калинин Е.М., Селуянов В.Н. Влияние магнитной стимуляции на аэробные возможности мышц. *Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология*. 2013;2:106-113. Popov GI, Malhasyan EA, Markaryan VS, Kalinin EM, Seluyanov VN. Influence of rhythmical magnetic stimulation as a way of increase in aerobic possibilities of muscles. *Moscow university anthropology bulletin*. 2013;2:106-113. (In Russ.).
 35. Труш В.В., Соболев В.И. Эффекты длительно вводимой α-липовой кислоты на нервно-мышечный аппарат в модельных экспериментах на животных. *Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия*. 2019;5(71):158-181. Trush VV, Sobolev VI. Effects of long-term administration of α-lipoic acid on the neuromuscular apparatus in animal experiments. *Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2019;5(71):158-181. (In Russ.).
 36. Труш В.В., Соболев В.И. Эффективность α-липовой кислоты в компенсации расстройств сократительной функции скелетной мышцы, вызванных длительным введением дексаметазона, в модельных экспериментах на животных. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2020;64(4):69-78. Trush VV, Sobolev VI. Efficacy of α-lipoic acid in correction of skeletal muscle contractile disorders caused by chronic dexamethasone treatment in animal model. *Pathological physiology and experimental therapy*. 2020;64(4):69-78. (In Russ.).
 37. Токарев А.Р., Паньшина М.В., Хадарцева К.А., Хабаров С.В. Сочетанное применение транскраниальной электростимуляции в восстановительной и спортивной медицине. *Клиническая медицина и фармакология*. 2019;5(2):48-52. Tokarev AR, Pan'shina MV, Hadarceva KA, Habarov SV. The combined use of transcranial electro-stimulation in rehabilitation and sports medicine. *Clinical Medicine and Pharmacology*. 2019;5(2):48-52. (In Russ.).
 38. Фудин Н.А., Токарев А.Р., Паньшина М.В., Хадарцева К.А. *Сочетанное применение транскраниальной электростимуляции в спорте*. В сборнике: Лечебная физическая культура и спортивная медицина: достижения и перспективы развития. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию кафедры спортивной медицины. М. 2019. Fudin NA, Tokarev AP, Panshina MV, Khadartseva KA. *Combined application of transcranial electrical stimulation in sports*. In the collection: Therapeutic physical culture and sports medicine: achievements and prospects of development. Materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical conference with international participation dedicated to the 50th anniversary of the Department of Sports Medicine. M. 2019. (In Russ.).
 39. Хадарцев А.А., Токарев А.Р., Токарева С.В., Хромушин В.А. Транскраниальная электростимуляция в течении психосоматических расстройств у работников промышленного предприятия. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2019;96(2):39-44. Khadartsev AA, Tokarev AR, Tokareva SV, Khromushin VA. The role of transcranial electrostimulation in the treatment of psychosomatic disorders in industrial workers. *Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy*. 2019;96(2):39-44. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/kurort20199602139>
 40. Атлас Е.Е., Киреев С.С., Купеев В.Г. Лазерофорез серотонина и транскраниальная электростимуляция при психоэмоциональном стрессе (краткое сообщение). *Вестник новых медицинских технологий*. 2017;2:190-195. Atlas EE, Kireev SS, Kupee VG. Laser Phoresis Of Serotonin And Transcranial Electrostimulation In Psychoemotional Stress (Brief Report). *Journal of new medical technologies*. 2017;2:190-195. (In Russ.).
 41. Токарев А.Р., Фудин Н.А., Хадарцев А.А. К проблеме немедикаментозной коррекции спортивного стресса. *Терапевт*. 2018;11:41-46. Tokarev AR, Fudin NA, Khadartsev AA. On the problem of non-drug correction of sports stress. *Therapist*. 2018;11:41-46. (In Russ.).
 42. Иванов Д.В., Хадарцев А.А., Фудин Н.А. Клеточные технологии и транскраниальная электростимуляция в спорте. *Вестник новых медицинских технологий*. 2017;4:211-215. Ivanov DV, Khadartsev AA, Fudin NA. Cellular technologies and transcranial electrical stimulation in sports. *Journal of new medical technologies*. 2017;4:211-215. (In Russ.).
 43. Токарев А.Р., Несмеянов А.А., Фудин Н.А. *Комплексное воздействие транскраниальной электростимуляции и мексидола у тяжелоатлетов*. В сборнике: Междисциплинарные исследования. Сборник научных статей к 25-летию вузовского медицинского образования и науки Тульской области. Тула. 2018. Tokarev AR, Nesmeyanov AA, Fudin NA. *The complex effect of transcranial electrical stimulation and mexidol in weightlifters*. In the collection: Interdisciplinary studies. Collection of scientific articles for the 25th anniversary of the university medical education and science of the Tula region. Tula. 2018. (In Russ.).
 44. Малыгин А.В., Хадарцев А.А., Токарев А.Р., Наумова Э.М., Валентинов Б.Г., Трусов С.В. *Транскраниальная электростимуляция*. М. 2021. Malygin AV, Khadartsev AA, Tokarev AR, Naumova EM, Valentinov BG, Trusov SV. *Transcranial electrical stimulation*. M. 2021. (In Russ.).
 45. Токарев А.Р., Антонов А.А., Хадарцев А.А. Способ диагностики стрессоустойчивости. Патент на изобретение 2742161 С1, 02.02.21. Заявка №2020116266 от 24.04.20. Tokarev AR, Antonov AA, Khadartsev AA. A method for diagnosing stress resistance. Patent for invention 2742161 C1, 02.02.21. Application No. 2020116266 dated 04/24/2020. (In Russ.).
 46. Борисова О.Н., Купеев В.Г., Токарев А.Р. Транскраниальная электростимуляция и электрофорез серотонина в комплексном лечении

- хронической обструктивной болезни легких. *Вестник новых медицинских технологий*. 2018;25(2):97-104.
Borisova ON, Kupeev VG, Tokarev AR. Transcranial electrostimulation and electrophoresis of serotonin in complex treatment of chronic obstructive pulmonary disease. *Journal of new medical technologies*. 2018;25(2):97-104. (In Russ.).
47. Руднева Н.А., Паньшина М.В., Токарев А.Р., Купеев Р.В. Сочетанное применение лазерофореза гиалуроната натрия и транскраниальной электростимуляции в косметологии. В сборнике: Медико-биологические технологии в клинике. Тула. 2018.
Rudneva NA, Panshina MV, Tokarev AR, Kupeev RV. *Combined use of sodium hyaluronate laser phoresis and transcranial electrical stimulation in cosmetology*. In the collection: Biomedical technologies in the clinic. Tula. 2018. (In Russ.).
48. Троицкий М.С. Стресс и психопатология (литературный обзор). *Вестник новых медицинских технологий*. 2016;4:343-352.
Troitsky MS. Stress and psychopathology (literary review). *Journal of new medical technologies*. 2016;4:343-352. (In Russ.).
49. Хромущин В.А., Гладких П.Г., Купеев В.Г. Транскраниальная электростимуляция и аминалон в лечении психоэмоционального стресса у научных работников. *Вестник новых медицинских технологий*. 2017;4:116-119.
Khromushin VA, Gladkikh PG, Kupeev VG. Transcranial electrical stimulation and aminatedon in the treatment of psychoemotional stress in researchers. *Journal of new medical technologies*. 2017;4:116-119. (In Russ.).
50. Фудин Н.А., Хадарцев А.А., Москвин С.В. Транскраниальная электростимуляция и лазерофорез серотонина у спортсменов при сочетании утомления и психоэмоционального стресса. *Вопросы курортологии, физиотерапии и ЛФК*. 2019;96(1):37-42.
Fudin NA, Khadartsev AA, Moskvina SV. Transcranial electrostimulation and serotonin laser phoresis in the athletes experiencing a combined effect of fatigue and psycho-emotional stress. *Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy*. 2019;96(1):37-42. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17116/kurort20199601137>
51. Токарев А.Р., Токарева С.В., Симоненков А.П., Каменев Л.И. Транскраниальная электростимуляция в сочетании с трансцеребральным электрофорезом серотонина в лечении профессионального стресса. *Вестник новых медицинских технологий*. 2018;5:108-113.
Tokarev AR, Tokareva SV, Simonenkov AP, Kamenev LI. Transcranial electrostimulation combined with transcerebral electrophoresis of serotonin in treatment of professional stress. *Journal of new medical technologies*. 2018;5:108-113. (In Russ.).
52. Токарев А.Р., Хадарцев А.А. Аппаратно-программный метод выявления профессионального стресса и возможность его коррекции методом транскраниальной электростимуляции (краткое сообщение). *Вестник новых медицинских технологий*. 2017;4:226-232.
Tokarev AR, Khadartsev AA. Hardware-program method of detection of the professional stress and possibility of its correction by the method of transcranial electrostimulation (brief report). *Journal of new medical technologies*. 2017;4:226-232. (In Russ.).

Получена 09.11.2021

Received 09.11.2021

Принята в печать 07.04.2022

Accepted 07.04.2022