

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПОВЫШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СПОРТСМЕНОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ

О.Н. Кудря, olga27ku@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8681-5870>

Е.А. Руль, ekaterinashigina96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1109-0243>

Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, Омск, Россия

Аннотация. Цель исследования – изучение физиологических механизмов повышения физической работоспособности спортсменов при использовании однократного сеанса транскраниальной электростимуляции. **Материалы и методы.** Контингент исследования – 28 спортсменов циклических видов спорта мужского пола ($19,3 \pm 2$ года). Оценка влияния транскраниальной электростимуляции (ТЭС) на сердечно-сосудистую систему производилась по показателям вариабельности сердечного ритма. Физическая работоспособность спортсменов оценивалась по результатам теста PWC₁₇₀. В исследовании применялся линейный эксперимент: сравнение результатов без применения и с использованием ТЭС. **Результаты.** В исследовании с использованием ТЭС обнаружено повышение физической работоспособности спортсменов, экономизация деятельности сердечно-сосудистой системы во время выполнения физической нагрузки, ускорение процессов срочного восстановления по сравнению с исходным тестированием. **Заключение.** Выявленные эффекты воздействия транскраниальной электростимуляции на организм спортсменов связаны с изменением состояния вегетативной нервной системы за счет снижения адренергической активности, с повышением окислительных возможностей организма за счет увеличения производительности дыхательной цепи митохондрий кардиомиоцитов, с усилением контроля со стороны вегетативной нервной системы за работой центрального и периферического звена кровообращения.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, транскраниальная электростимуляция, стресс-протекторный эффект, адренергическая активность, спорт, вегетативная нервная система

Для цитирования: Кудря О.Н., Руль Е.А. Физиологические механизмы повышения физической работоспособности спортсменов при использовании транскраниальной электростимуляции // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22, № S2. С. 54–60. DOI: 10.14529/hsm22s207

Original article
DOI: 10.14529/hsm22s207

PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF IMPROVING PHYSICAL PERFORMANCE IN ATHLETES BY TRANSCRANIAL ELECTRICAL STIMULATION

O.N. Kudrja, olga27ku@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8681-5870>

E.A. Rul, ekaterinashigina96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1109-0243>

Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, Russia

Abstract. Aim. The aim of the study is to identify the physiological mechanisms of improving physical performance in athletes by a single session of transcranial electrical stimulation. **Materials and methods.** The study involved 28 male cyclic sport athletes (mean age 19.3 ± 2 years). The effect of transcranial electrical stimulation on the cardiovascular system was assessed by means of heart rate variability. The physical performance of athletes was assessed with PWC₁₇₀. The study involved a linear experiment: comparing the results with and without transcranial electrical stimulation data. **Results.** The results obtained with transcranial electrical stimulation data showed an increase in the physical performance of athletes, more efficient performance of the cardiovascular system at exercise, and accelerated recovery compared with baseline data. **Conclusion.** The revealed effects of transcranial electrical stimulation are associated with a change

in the autonomic nervous system as a result of a decrease in adrenergic activity, increased oxidative capabilities (due to increased performance of the respiratory chain of cardiomyocyte mitochondria), and increased control over the central and peripheral blood flow by the autonomic system.

Keywords: cardiovascular system, transcranial electrical stimulation, stress protective effect, adrenergic activity, sport, autonomic nervous system

For citation: Kudrja O.N., Rul E.A. Physiological mechanisms of improving physical performance in athletes by transcranial electrical stimulation. *Human. Sport. Medicine*. 2022;22(S2):54–60. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm22s207

Введение. Повышение физической работоспособности с использованием медико-биологических средств является одним из актуальных вопросов современной спортивной медицины. Метод транскраниальной электростимуляции импульсным током (ТЭС) представляет собой непроникающее, бескровное электрическое воздействие, которое способствует активации и стимуляции защитных механизмов мозга с последующим выделением нейромодуляторов серотонина и β -эндорфина [1, 5]. Действие данных веществ вызывает улучшение вегетативной регуляции [3], повышение физической и умственной работоспособности [8], повышение устойчивости к стрессовым ситуациям [4, 6], улучшение восстановительных и реабилитационных процессов [12].

Ряд авторов связывают эффекты ТЭС с прямым воздействием на мембранные потенциалы нейронов [12, 15], в то время как другие – с действием β -эндорфина, концентрация которого повышается под влиянием данного средства [7]. Основные противоречия возникают при обсуждении вопроса о возможности попадания β -эндорфина в кровь и спинномозговую жидкость, поскольку некоторые исследователи считают, что данный нейромедиатор не может проникать через гематоэнцефалический барьер и, соответственно, попадать в центральную нервную систему и активировать необходимые рецепторы [2, 7, 17, 20]. Вместе с тем авторы отмечают положительное действие ТЭС на организм человека [11, 19].

На сегодняшний день существует необходимость обоснования физиологических эффектов ТЭС для эффективного внедрения в спортивную практику в качестве дополнительного средства восстановления и повышения работоспособности.

Цель исследования – изучение физиологических механизмов повышения физической работоспособности спортсменов при использовании однократного сеанса транскраниальной электростимуляции.

Материалы и методы. Контингент исследования составили 28 спортсменов циклических видов спорта (лыжники-гонщики и бегуны-стайеры) мужского пола. Средний возраст $19,3 \pm 2$ года. Спортивная квалификация 1-й разряд ($n = 22$) и КМС ($n = 6$). Организация исследования включала в себя проведение линейного эксперимента (сравнение результатов на одной группе испытуемых): 1-е исследование – без применения сеанса ТЭС, 2-е исследование – проведение сеанса ТЭС. Интервал времени между исследованиями составил 3–5 дней.

Исследование функционального состояния спортсменов в покое включало в себя: проведение электроэнцефалографии («Нейрон-Спектр-3», ООО «Нейрософт», Россия) с целью отбора испытуемых (критерий отбора – отсутствие эпилептической активности на ЭЭГ); обследование вегетативной регуляции (запись в положении лежа длительностью 5 минут) (АПК «Поли-Спектр», ООО «Нейрософт», Россия). Изучение состояния сердечно-сосудистой системы осуществлялось с помощью регистрации частоты сердечных сокращений и артериального давления в состоянии покоя, во время физической нагрузки и в процессе восстановления. Оценка физической работоспособности осуществлялась с использованием стандартной функциональной пробы PWC_{170} с дополнительной ступенью нагрузки в субмаксимальной зоне мощности ($W_{суб}$). Сеанс ТЭС (длительность 20 минут, сила тока до 3 мА) спортсмены проходили во второй день перед выполнением нагрузочной пробы. Данное воздействие проводилось на полипрограммном аппарате «ТРАНСАИР-5» (ООО «Центр ТЭС», Россия) в покое. Обработка результатов осуществлялась при использовании пакетов программ Statistica 6.0 и Microsoft Excel 2007. Статистический анализ проводился с использованием непараметрического метода – метода по критерию Вилкоксона. Пороговый уровень значимости (p) при

проверке достоверности результатов брался равным 0,05. Данные представлены в виде средней арифметической (M) и ее ошибки (m). Обработка результатов включала проведение факторного анализа методом главных компонент.

Результаты. Физическая работоспособность является интегральным показателем, который отражает деятельность всех систем организма и выражается в величине объема и интенсивности выполненной работы.

Оценивали работоспособность в большой (PWC_{170}) и субмаксимальной ($W_{суб}$) зонах мощности. Показатели работоспособности при ЧСС 160–170 уд./мин (PWC_{170}) отражают возможность организма выполнять физическую нагрузку в аэробных условиях, а при ЧСС > 180 уд./мин ($W_{суб}$) – в анаэробных условиях. После однократного применения сеанса ТЭС у спортсменов наблюдалось увеличение как абсолютных, так и относительных показателей физической работоспособности в разных зонах мощности (см. таблицу).

Известно, что основными системами, лимитирующими рост физической работоспособности, являются кардиореспираторная система и система энергообеспечения мышечной деятельности [9], поэтому можно предположить, что при воздействии ТЭС происходят изменения в работе именно этих систем. По мнению исследователей, механизм действия ТЭС связан с активацией защитных стресс-лимитирующих систем головного мозга и выбросом опиоидного пептида β -эндорфина [7]. В литературе представлены сведения о влиянии опиоидных пептидов на сердечную деятельность. Отмечают антиаритмический эффект опиоидов, причину появления которого

исследователи связывают с изменениями функционального состояния вегетативной нервной системы [13, 18]. Действительно, после проведения сеанса ТЭС при выполнении первой и второй ступени нагрузки отмечены признаки экономизации сердечной деятельности: снижение частоты сердечных сокращений (ЧСС) на 1-й и 2-й ступенях нагрузки $111,9 \pm 1,5$ уд./мин \rightarrow $106,5 \pm 1,7$ уд./мин; $155,4 \pm 1,6$ уд./мин \rightarrow $149,5 \pm 1,8$ уд./мин, $p < 0,01$ соответственно, снижение показателя двойного произведения (ДП), косвенно отражающего потребление миокардом кислорода $155,4 \pm 3,5$ у.е. \rightarrow $143,8 \pm 3,1$ у.е., $250,6 \pm 6,7$ у.е. \rightarrow $239,6 \pm 5,6$ у.е., $p < 0,01$ соответственно.

Электрическая стабильность сердца при выполнении дозированной физической нагрузки может быть связана со стресс-протекторным эффектом ТЭС, который, по мнению С.А. Радзиевского (2016), реализуется через повышение чувствительности периферических сосудов к действию нейромедиаторов (норадреналина и ацетилхолина) и увеличение дилататорных реакций резистентных сосудов [10]. Кроме того, снижение ЧСС и САД (систолическое артериальное давление) при выполнении физической нагрузки может быть связано с прямым стимулирующим влиянием слабого электрического тока при проведении сеанса ТЭС на периферические рецепторы вегетативной нервной системы, расположенные на поверхности ушной раковины.

При выполнении третьей ступени нагрузки ($W_{суб}$) наблюдается незначительное снижение показателей ЧСС и ДП (ЧСС – $180,1 \pm 1,7$ уд./мин \rightarrow $174,2 \pm 2,1$ уд./мин; ДП – $313,1 \pm 7,1$ у.е. \rightarrow $303,2 \pm 6,16$ у.е., $p < 0,05$),

Показатели физической работоспособности спортсменов циклических видов спорта
($M \pm m$) ($n = 28$)

Physical Performance of Cyclic Sport Athletes ($M \pm m$) ($n = 28$)

Показатели / Parameter	Без ТЭС / Without TES	После ТЭС / With TES
PWC_{170} (абсолютный), кгм/мин PWC_{170} (absolute), kgm/min	$1457,53 \pm 21,62$	$1556,07 \pm 20,32^{**}$
PWC_{170} (относительный), кгм/мин/кг PWC_{170} (relative), kgm/min/kg	$20,57 \pm 0,64$	$21,85 \pm 0,63^{**}$
$W_{суб}$ (абсолютный), кгм/мин $W_{суб}$ (absolute), kgm/min	$2627,5 \pm 24,12$	$2763,0 \pm 26,62^*$
$W_{суб}$ (относительный), кгм/мин/кг $W_{суб}$ (relative), kgm/min/kg	$38,12 \pm 0,74$	$39,30 \pm 0,83^{**}$

Примечание. * – данные статистически значимо различаются ($p < 0,05$) между показателями тестирования без проведения сеанса ТЭС и с воздействием ТЭС; ** – данные статистически значимо различаются ($p < 0,01$) между показателями тестирования без проведения сеанса ТЭС и с воздействием ТЭС.

Note. * – changes between test scores with and without TES are statistically significant at $p < 0.05$; ** – changes between test scores with and without TES are statistically significant at $p < 0.01$.

что косвенно отражает тенденцию к повышению экономичности работы. Данное утверждение подтверждается значимым повышением работоспособности в анаэробных условиях после проведения сеанса ТЭС. Вероятно, проведение ТЭС влияет не только на состояние вегетативной нервной системы, но и на работу самого сердца, изменяя энергообеспечение кардиомиоцитов.

В литературе представлены данные о влиянии опиоидов на митохондриальные K_{ATP} -каналы [16]. В работах Grover (2000) на изолированном сердце показано, что активация K_{ATP} -каналов способствует сохранению более высокого уровня креатинфосфата и АТФ во время стрессорного воздействия и обеспечивает более низкую концентрацию ионов Na^+ и Ca^{2+} в саркоплазме. Ослабление Ca^{2+} -перегрузки может способствовать повышению электрической стабильности сердца [14].

Можно предположить, что за счет увеличения производительности дыхательной цепи митохондрий повышается эффективность использования кислорода кардиомиоцитами при выполнении физической нагрузки после проведения сеанса ТЭС, что способствует росту окислительных возможностей всего организма. Энергообеспечение мышечной деятельности при выполнении третьей ступени нагрузки в анаэробном режиме происходит за счет гликолиза. При образовании молочной кислоты происходит снижение внутриклеточного pH и активности ключевых ферментов гликолитической цепи, что приводит к снижению скорости энергопродукции и, соответственно, к снижению работоспособности в анаэробных условиях. Как известно, сердце является органом, который использует лактат в качестве основного субстрата окисления при выполнении физической нагрузки. Повышение окислительных возможностей кардиомиоцитов при использовании ТЭС способствует нормализации кислотно-щелочного равновесия, снижая концентрацию молочной кислоты, что позволяет сохранять высокий уровень физической работоспособности в условиях недостатка кислорода.

Проведение сеанса ТЭС способствовало повышению окислительных возможностей организма спортсменов, о чем свидетельствует увеличение показателя максимального потребления кислорода (МПК) на 2,7 мл/мин/кг.

Положительные эффекты применения ТЭС были отмечены в период срочного восстановления. У спортсменов после воздействия сеанса ТЭС наблюдалось ускоренное вос-

становление сердечно-сосудистой системы на 5-й минуте по показателям ЧСС, ДП, САД. К 10-й минуте различия сохраняются только по показателям ЧСС, а к 20-й минуте срочного восстановления влияние ТЭС на гемодинамические показатели нивелируется.

Мы предположили, что повышение работоспособности спортсменов после воздействия ТЭС может быть связано с интеграцией деятельности физиологических систем при выполнении дозированной нагрузки. Для проверки гипотезы был проведен факторный анализ методом главных компонент. При анализе исходных показателей основная доля дисперсии выпала на показатели центральной гемодинамики (3,65 % от общей доли дисперсии), показатели периферической гемодинамики (11,87 %), показатели вариабельности ритма сердца (5,47 %). Использование ТЭС способствовало повышению вклада первого (14,08 %) и третьего (7,96 %) компонентов. Результаты факторного анализа подтверждают мнение исследователей [8] о ключевой роли эндогенной опиоидной системы (ЭОС) в реализации адаптационных процессов.

Заключение. Таким образом, мы выявили, что под влиянием ТЭС происходит активация ЭОС, которая способствует согласованной реакции различных отделов сердечно-сосудистой системы в ответ на физическую нагрузку, что ведет к повышению физической работоспособности и в целом адаптивных возможностей организма за счет:

– изменения состояния вегетативной нервной системы: снижение адренергической активности и повышение тонуса блуждающего нерва;

– стресс-протекторного действия ТЭС, которое реализуется через повышение чувствительности периферических сосудов к действию нейромедиаторов норадреналина и ацетилхолина и увеличение дилататорных реакций резистентных сосудов;

– изменения энергообеспечения кардиомиоцитов: усиление производительности дыхательной цепи митохондрий кардиомиоцитов, что способствует использованию сердечной мышцей лактата в качестве источника энергии, нормализация кислотно-щелочного равновесия в работающих мышцах и в целом повышение окислительных возможностей организма;

– согласованной реакции центрального и периферического отдела кровообращения в ответ на физическую нагрузку благодаря усилению контроля со стороны вегетативной нервной системы.

Список литературы

1. Влияние транскраниальной электростимуляции на выносливость крыс с разной устойчивостью к стрессу / А.С. Липатова, П.П. Поляков, А.Х. Каде и др. // *Биомедицина*. – 2018. – № 1. – С. 84–91.
2. Голобородько, Е.В. Вероятные механизмы изменения уровня эндорфинов в плазме крови при электромагнитном терапевтическом воздействии на головной мозг (обзор литературы) / Е.В. Голобородько // *Вестник новых мед. технологий*. – 2020. – № 27 (4). – С. 75–78.
3. Гувакова, И.В. Нарушения вегетативного статуса у спортсменов ациклических видов спорта и их коррекция средствами технологии игрового биоуправления и транскраниальной стимуляции / И.В. Гувакова, Л.А. Кузнецова // *Бюл. сибирской медицины*. – 2010. – № 2. – С. 68–72.
4. Иванов, Д.В. Клеточные технологии и транскраниальная электростимуляция в спорте / Д.В. Иванов, А.А. Хадарцев, Н.А. Фудин // *Вестник новых мед. технологий*. – 2017. – № 4. – С. 211–215. DOI: 10.12737/article_5a38d3425cbcd3.24947719
5. Лебедев, В.П. ТЭС-терапия для коррекции синдрома дефицита эндорфинов / В.П. Лебедев, А.В. Малыгин, С.В. Трусов // *Главный врач Юга России*. – 2021. – № 1. – С. 20–21.
6. Лишманов, Ю.Б. Взаимодействие симпато-адреналовой и опиоидной систем как регуляторный механизм, определяющий устойчивость сердца к повреждающему действию стресса / Ю.Б. Лишманов, Л.Н. Маслов, Н.В. Нарыжная // *Успехи физиол. наук*. – 2001. – № 32 (4). – С. 73–80.
7. Милостной, Ю.П. Транскраниальная электростимуляция эндогенной опиоидной системы как немедикаментозный метод восстановления функционального состояния организма спортсмена / Ю.П. Милостной // *Молодежь и системная модернизация страны*. – 2018. – Т. 2. – С. 62–65.
8. Повышение уровня умственной и физической работоспособности единоборцев путем корреспондирования методик коррекции / А.В. Таймазов, С.А. Цветков, В.А. Бухарин, И.И. Готовцев // *Ученые записки ун-та им. П.Ф. Лесгафта*. – 2012. – № 2. – С. 154–158.
9. Проблемы эргогенных средств и методов тренировки в теории и практике спорта высших достижений / Н.И. Волков, Ю.А. Войтенко, Р.В. Тамбовцева, Б.А. Дышко // *Теория и практика физ. культуры*. – 2013. – № 8. – С. 68–72.
10. Экспериментальное обоснование применения трансаурикулярной электропунктуры и низкочастотной транскраниальной электростимуляции для формирования стресспротекторного и сосудорегулирующего эффектов / С.А. Радзиевский, Э.М. Орехова, Л.Г. Агасаров и др. // *Вестник новых мед. технологий*. – 2016. – № 23. – С. 110–113.
11. *Basic and Functional Effects of Transcranial Electrical Stimulation (tES) – an Introduction* / F. Yavari, A. Jamil, M.M. Samani et al. // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2018. – Vol. 85. – P. 81–92.
12. *Bestmann, S. Transcranial Electrical Stimulation* / S. Bestmann, V. Walsh // *Current Biology*. – 2017. – Vol. 27. – P. 1249–1267.
13. *Caffrey, J.L. Intrinsic Cardiac Enkephalins Inhibit Vagal Bradycardia in the Dog* / J.L. Caffrey, Z. Mateo, L.D. Napier // *American Journal of Physiology*. – 1995. – Vol. 268. – P. 848–855.
14. *Grover, G.J. ATP-Sensitive Potassium Channels: a Review of Their Cardioprotective Pharmacology* / G.J. Grover, K.D. Garlid // *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*. – 2000. – Vol. 32. – P. 677–695.
15. *Hornyak, T.S., Not Harder* / T. Hornyak // *Nature*. – 2017. – Vol. 549. – P. 1–3.
16. *Opioid-Induced Cardioprotection Against Myocardial Infarction and Arrhythmias: Mitochondrial Versus Sarcolemmal ATP-Sensitive Potassium Channels* / R.M. Fryer, A.K. Hsu, H. Nagase, G.J. Gross // *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. – 2000. – Vol. 294. – P. 451–457.
17. *Perlikowska, R. Bioavailability of Endomorphins and the Blood-Brain Barrier – a Review* / R. Perlikowska, A. Janecka // *Journal of Medicinal Chemistry*. – 2014. – Vol. 10. – P. 2–17.
18. *Randich, A. Antinociception and Cardiovascular Responses Produced by Intravenous Morphine: the Role of Vagal Afferents* / A. Randich, C.L. Thurston, P.S. Ludwig // *Brain Research*. – 1991. – Vol. 543. – P. 256–270.

19. *Researchers' Perspectives on Scientific and Ethical Issues with Transcranial Direct Current Stimulation: an International Survey* / K. Riggall, C. Forlini, A. Carter et al. // *Scientific Reports*. – 2015. – Vol. 5. – P. 10618–10628.

20. *Veening, J.G. Volume Transmission of Beta-Endorphin Via the Cerebrospinal Fluid; a Review* / J.G. Veening, P.O. Gerrits, H.P. Barendregt // *Fluids and Barriers of the CNS*. – 2012. – Vol. 9. – P. 16.

References

1. Lipatova A.S., Polyakov P.P., Kade A.Kh. et al. [Effect of Transcranial Electrical Stimulation on Endurance of Rats with Different Stress Resistance]. *Biomeditsina* [Biomedicine], 2018, no. 1, pp. 84–91. (in Russ.)

2. Goloborod'ko E.V. [Probable Mechanisms of Changes in the Level of Endorphins in Blood Plasma During Electromagnetic Therapeutic Effects on the Brain (Literature Review)]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Journal of New Medical Technologies], 2020, no. 27 (4), pp. 75–78. (in Russ.)

3. Guvakova I.V., Kuznetsova L.A. [Violations of the Vegetative Status in Athletes of Acyclic Sports and Their Correction by Means of the Technology of Game Biofeedback and Transcranial Stimulation]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine], 2010, no. 2, pp. 68–72. (in Russ.) DOI: 10.20538/1682-0363-2010-2-68-72

4. Ivanov D.V., Khadartsev A.A., Fudin N.A. [Cellular Technologies and Transcranial Electrical Stimulation in Sports]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Journal of New Medical Technologies], 2017, no. 4, pp. 211–215. (in Russ.) DOI: 10.12737/article_5a38d3425cbcd3.24947719

5. Lebedev V.P., Malygin A.V., Trusov S.V. [tES-Therapy for Correction of Endorphin Deficiency Syndrome]. *Glavniy vrach YUga Rossii* [Chief Physician of the South of Russia], 2021, no. 1, pp. 20–21. (in Russ.)

6. Lishmanov Yu.B., Maslov L.N., Naryzhnaya N.V. [Interaction of the Sympatho-Adrenal and Opioid Systems as a Regulatory Mechanism That Determines the Heart's Resistance to the Damaging Effects of Stress]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* [Progress in Physiological Science], 2001, no. 32 (4), pp. 73–80. (in Russ.)

7. Milostnoy Yu.P. [Transcranial Electrical Stimulation of the Endogenous Opioid System as a Non-Drug Method of Restoring the Functional State of the Athlete's Body]. *Molodezh' i sistemnaya modernizatsiya strany: 3-ya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya* [Youth and Systemic Modernization of the country. 3rd International Scientific Conference], 2018, vol. 2, pp. 62–65. (in Russ.)

8. Taymazov A.V., Tsvetkov S.A., Bukharin V.A., Gotovtsev I.I. [Improving the Level of Mental and Physical Performance of Martial Artists by Matching Correction Techniques]. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta* [Scientific notes of the University named after P.F. Lesgaft], 2012, no. 2, pp. 154–158. (in Russ.) DOI: 10.5930/issn.1994-4683.02.84.p154-159

9. Volkov N.I., Voytenko Yu.A., Tambovtseva R.V., Dyshko B.A. [Problems of Ergogenic Means and Methods of Training in the Theory and Practice of High-Performance Sports]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2013, no. 4, pp. 68–72. (in Russ.)

10. Radzievskiy S.A., Orekhova E.M., Agasarov L.G. et al. [Experimental Substantiation of the Use of Transauricular Electropuncture and Low-Frequency Transcranial Electrical Stimulation for the Formation of Stress-Protective and Vasoregulatory Effects]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Journal of New Medical Technologies], 2016, no. 23, pp. 110–113. (in Russ.)

11. Yavari F., Jamil A., Samani M.M. et al. Basic and Functional Effects of Transcranial Electrical Stimulation (tES) – an Introduction. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2018, vol. 85, pp. 81–92. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2017.06.015

12. Bestmann S., Walsh V. Transcranial Electrical Stimulation. *Current Biology*, 2017, no. 27, pp. 1249–1267. DOI: 10.1016/j.cub.2017.11.001

13. Caffrey J.L., Mateo Z., Napier L.D. Intrinsic Cardiac Enkephalins Inhibit Vagal Bradycardia in the Dog. *American Journal of Physiology*, 1995, no. 268, pp. 848–855. DOI: 10.1152/ajpheart.1995.268.2.H848

14. Grover G.J., Garlid K.D. ATP-Sensitive Potassium Channels: a Review of Their Cardioprotective Pharmacology. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 2000, no. 32, pp. 677–695. DOI: 10.1006/jmcc.2000.1111

15. Hornyak T.S. Not Harder. *Nature*, 2017, no. 549, pp. 1–3. DOI: 10.1038/549S1a
16. Fryer R.M., Hsu A.K., Nagase H., Gross G.J. Opioid-Induced Cardioprotection Against Myocardial Infarction and Arrhythmias: Mitochondrial Versus Sarcolemmal ATP-Sensitive Potassium Channels. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 2000, no. 294, pp. 451–457.
17. Perlikowska R., Janecka A. Bioavailability of Endomorphins and the Blood-Brain Barrier – a Review. *Journal of Medicinal Chemistry*, 2014, no. 10, pp. 2–17. DOI: 10.2174/15734064113099990040
18. Randich A., Thurston C.L., Ludwig P.S. Antinociception and Cardiovascular Responses Produced by Intravenous Morphine: the Role of Vagal Afferents. *Brain Research*, 1991, no. 543, pp. 256–270. DOI: 10.1016/0006-8993(91)90036-U
19. Riggall K., Forlini C., Carter A. et al. Researchers' Perspectives on Scientific and Ethical Issues with Transcranial Direct Current Stimulation: an International Survey. *Scientific Reports*, 2015, no. 5, pp. 10618–10628. DOI: 10.1038/srep10618
20. Veening J.G., Gerrits P.O., Barendregt H.P. Volume Transmission of Beta-Endorphin Via the Cerebrospinal Fluid; a Review. *Fluids and Barriers of the CNS*, 2012, no. 9, p. 16. DOI: 10.1186/2045-8118-9-16

Информация об авторах

Кудря Ольга Николаевна, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой анатомии, физиологии, спортивной медицины и гигиены, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта. Россия, 644009, Омск, ул. Масленникова, д. 144.

Рулъ Екатерина Андреевна, аспирант кафедры анатомии, физиологии, спортивной медицины и гигиены, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта. Россия, 644009, Омск, ул. Масленникова, д. 144.

Information about the authors

Olga N. Kudrja, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Anatomy, Physiology, Sports Medicine and Hygiene, Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, Russia.

Ekaterina A. Rul, Postgraduate Student, Department of Anatomy, Physiology, Sports Medicine and Hygiene, Siberian State University of Physical Education and Sport, Omsk, Russia.

Статья поступила в редакцию 17.06.2022

The article was submitted 17.06.2022