

Вопросы курортологии, физиотерапии  
и лечебной физической культуры,  
2020, Т. 97, №5, с. 70-79  
<https://doi.org/10.17116/kurort20209705170>

Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy=  
Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kultury  
2020, Vol. 97, no 5, pp. 70-79  
<https://doi.org/10.17116/kurort20209705170>

## Эффекты применения транскраниальной электростимуляции в тренировочном процессе у высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта

© Ю.В. КОРЯГИНА, Л.Г. РОГУЛЕВА, С.В. НОПИН, Г.Н. ТЕР-АКОПОВ

ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр» ФМБА России, Ессентуки, Россия

### Резюме

Восстановление и оптимизация психофункционального состояния организма спортсмена являются актуальным направлением спортивной медицины. Интерес представляют методы, позволяющие быстро нивелировать психоэмоциональный и физический стресс, воздействуя на регуляторные системы. К таким методам относится транскраниальная электростимуляция (ТЭС), применение которой в спорте требует апробации и научного обоснования.

**Цель исследования** — изучить влияние ТЭС, применяемой в тренировочном процессе, на психофункциональное состояние высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта.

**Материалы и методы.** Обследованы 86 спортсменов в возрасте от 16 до 30 лет с квалификацией от кандидата в мастера спорта до мастера спорта международного класса циклических (легкая атлетика — 7 спортсменов, триатлон — 12), ациклических (тяжелая атлетика — 18) и ситуационных (карате — 22, регби — 27) видов спорта. Для обоснования эффектов применения ТЭС проводили исследование ЭЭГ, вариабельности сердечного ритма и психофизиологическое тестирование, эргоspiromетрическое нагрузочное тестирование на тредмиле.

**Результаты.** Показано положительное влияние применения ТЭС, что обосновывается достоверным изменением физиологических и психофизиологических показателей. После курса из 7 процедур ТЭС у триатлонистов отмечалось повышение экономизации работы сердца, адаптационных и мобилизационных резервов организма, психофизиологических показателей. Одна процедура ТЭС у легкоатлетов (по данным нагрузочного тестирования) способствовала оптимизации работоспособности и повышению функциональных возможностей миокарда, снижению энергозатрат в процессе выполнения работы. В период срочного восстановления ТЭС способствовала ускорению восстановления ЧСС, скорости потребления кислорода и выделения углекислого газа, гемодинамики. У спортсменов ациклических видов спорта применение одной процедуры было эффективно для оптимизации психофункционального состояния, снижения напряжения регуляторных процессов. После максимальных силовых упражнений ускорялись восстановительные процессы и повышалась работоспособность ЦНС. У спортсменов ситуационных видов спорта (регби, карате) применение ТЭС способствовало снижению времени сенсомоторных реакций и повышению психической устойчивости, оптимизации функционального состояния мозга, экономизации работы сердца.

**Заключение.** Учитывая положительный эффект ТЭС, выразившийся в улучшении психофункционального состояния и работоспособности, ускорении процессов восстановления спортсменов после физической нагрузки, данный метод можно широко рекомендовать к использованию в качестве восстанавливающего и стимулирующего воздействия в медико-биологическом сопровождении в спорте высших достижений.

**Ключевые слова:** спортсмены, транскраниальная электростимуляция, восстановление, физиотерапия, функциональное состояние, психофизиологическое состояние, работоспособность.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Корягина Ю.В. — <https://orcid.org/0000-0001-5468-0636>; eLibrary SPIN: 2561-9482

Рогулева Л.Г. — <https://orcid.org/0000-0002-2066-5128>; eLibrary SPIN: 1168-8234

Нопин С.В. — <https://orcid.org/0000-0001-9406-4504>; eLibrary SPIN: 9004-4697

Тер-Акопов Г.Н. — <https://orcid.org/0000-0002-7432-8987>; eLibrary SPIN: 1547-8763

**Автор, ответственный за переписку:** Корягина Ю.В. — e-mail: nauka@skfmba.ru

### КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Корягина Ю.В., Рогулева Л.Г., Нопин С.В., Тер-Акопов Г.Н. Эффекты применения транскраниальной электростимуляции в тренировочном процессе у высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2020;97(5):70–79. <https://doi.org/10.17116/kurort20209705170>

## Effects of application of transcranial electrical stimulation in the training process at elite athletes of various sports

© YU.V. KORYAGINA, L.G. ROGULEVA, S.V. NOPIN, G.N. TER-AKOPOV

North Caucasus Federal Research and Clinical Center, Essentuki, Russia

**Abstract**

Restoring and optimizing the psychofunctional state of the athlete's body is an important area of sports medicine. Methods that allow you to quickly level psychoemotional and physical stress by influencing regulatory systems are interesting. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) refers to such methods. Its use in sports requires testing and scientific justification.

**Purpose of the study.** To study the tDCS influence, used in the training process, on the psychofunctional state of highly qualified athletes of various sports.

**Material and methods.** 86 athletes aged 16 to 30 years old were examined. Their qualifications ranged from candidate master of sports to international master of sports of cyclic (track and field — 7 athletes, triathlon — 12), acyclic (weightlifting — 18) and opponent (karate — 22, rugby — 27) sports. The EEG study of electroencephalogram, heart rate variability and psychophysiological testing, ergospirometric stress testing on a treadmill were carried out to substantiate the tDCS effects.

**Results.** The positive effect of the tDCS use is shown, which is substantiated by a significant change in physiological and psychophysiological parameters. An increase in the heart work economization, adaptive and mobilization body reserves, psychophysiological indicators was noted in triathletes after a course of 7 tDCS procedures. One tDCS in track and field athletes (according to stress testing data) helped to optimize the performance and increase the functional capabilities of the myocardium, reduce energy consumption during work. During the period of urgent recovery, tDCS contributed to the heart rate restoring acceleration, increase of the bringing in oxygen and flushing out carbon dioxide rate, and hemodynamics. The use of one procedure among acyclic sports athletes was effective for optimizing the psycho-functional state, reducing the tension of regulatory processes. After maximum muscle-strengthening exercises, the recovery processes accelerated and the CNS performance increased. In athletes of opponent sports (rugby, karate), the tDCS use helped to reduce the time of sensorimotor reactions and increase mental stability, optimize the brain functional state, and economize the heart work.

**Conclusion.** The positive effect of tDCS is expressed in improving the psycho-functional state and working capacity, accelerating the recovery processes of athletes after physical exertion. In this connection, this method can be widely recommended for use as a regenerating and stimulating effect in medical and biological support in elite sports.

**Keywords:** athletes, transcranial direct current stimulation, recovery, physiotherapy, functional state, psychophysiological state, capacity,

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

Koryagina Yu.V. — <https://orcid.org/0000-0001-5468-0636>; eLibrary SPIN: 2561-9482

Roguleva L.G. — <https://orcid.org/0000-0002-2066-5128>; eLibrary SPIN: 1168-8234

Nopin S.V. — <https://orcid.org/0000-0001-9406-4504>; eLibrary SPIN: 9004-4697

Ter-Akopov G.N. — <https://orcid.org/0000-0002-7432-8987>; eLibrary SPIN: 1547-8763

**Corresponding author:** Koryagina Yu.V. — e-mail: nauka@skfmba.ru

**TO CITE THIS ARTICLE:**

Koryagina YuV, Roguleva LG, Nopin SV, Ter-Akopov GN. Effects of application of transcranial electrical stimulation in the training process at elite athletes of various sports. *Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy*. 2020;97(5):70–79. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.17116/kuort20209705170>

Одними из основных направлений спортивной медицины являются восстановление и оптимизация психофункционального состояния организма спортсмена при напряженной физической деятельности. Рост результатов в спорте высших достижений предъявляет повышенные требования к физической работоспособности и функциональным возможностям организма спортсменов, что вызывает необходимость поиска новых эффективных медико-биологических средств и методов.

Интерес для врачей, тренеров и спортсменов представляют методы, которые позволяют достаточно быстро нивелировать последствия психоэмоционального и физического стресса, сопровождающего спортивную деятельность, восстанавливать психофункциональное состояние организма и в первую очередь регуляторные системы.

Значительно возросшее количество публикаций по применению транскраниальных методов стимуляции как в российской [1–8], так и в зарубежной [9–12] литературе отражает возрастающий интерес ученых к исследованию этих методов. Двумя наиболее

распространенными методами являются транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) и транскраниальная электростимуляция (ТЭС).

ТЭС как метод воздействия на организм была разработана в Институте физиологии им. И.П. Павлова РАН под руководством проф. В.П. Лебедева. При разработке и внедрении в медицинскую практику метода ТЭС соблюдались международные правила GLP (good laboratory practice) и GCP (good clinical practice) [5, 6]. Была доказана способность ТЭС неинвазивно, избирательно и в необходимой дозе стимулировать работу структур, которые, являясь частью антиноцицептивной системы, вырабатывают эндогенные опиоидные пептиды и некоторые другие нейротрансмиттеры ( $\beta$ -эндорфин, серотонин и др.) с помощью электрического воздействия импульсным током, подаваемым через головные наконечные электроды [5, 6].

В спортивной практике ТЭС исследовалась в единичных работах для коррекции гемодинамики [7], вегетативных процессов [8–9], психоэмоционального состояния [10], восстановления и повышения физической работоспособности спортсменов [11, 12].

**Цель исследования** — изучение влияния ТЭС, применяемой в тренировочном процессе, на психофункциональное состояние высококвалифицированных спортсменов различных видов спорта.

## Материал и методы

Исследование проводилось в ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России в Кисловодске, на горе Малое Седло (высота 1240 м) в условиях учебно-тренировочных сборов спортсменов в ФГУП «Юг спорт». В исследовании приняли участие 86 спортсменов обоего пола в возрасте от 16 до 30 лет с квалификацией от кандидатов в мастера спорта до мастеров спорта международных категорий циклических (легкая атлетика — 7 спортсменов, триатлон — 12), ациклических (тяжелая атлетика — 18) и ситуационных (карате — 22, регби — 27) видов спорта. В период исследования спортсмены находились в подготовительном периоде тренировочного процесса, имели ежедневные интенсивные тренировочные нагрузки, 2—3 тренировки в день.

Для проведения ТЭС применялись электростимуляторы транскраниальные импульсные Трансаир-05 (рег. уд. ФСР 2010/07062, ООО «Центр ТЭС», Санкт-Петербург, Россия). ТЭС проводили импульсным биполярным током (частота 77,5 Гц) по лобно-затылочной методике, с постепенным увеличением силы тока от 1,0 до 3,0 мА, до появления отчетливой безболезненной вибрации под электродами. Один из электродов фиксировался над бровями на лбу, другой (сдвоенный) — на свободной от волос коже за ушами (на сосцевидных отростках черепа). Такое положение обеспечивает продольное протекание тока в головном мозге и наружных тканях головы. Во время процедуры спортсмены лежали на кушетке.

Тяжелоатлеты и каратисты были разделены на две группы: основную (ОГ) и контрольную (КГ). Тяжелоатлеты (все — мужчины): ОГ — 10 спортсменов, КГ — 8. Каратисты: ОГ — 5 мужчин, 7 женщин; КГ — 5 мужчин, 5 женщин. Среди триатлонистов, легкоатлетов и занимающихся регби деления на группы не было.

Противопоказаниями к применению ТЭС являются: судорожные состояния, эпилепсия, травмы и опухоли головного мозга, инфекционные поражения центральной нервной системы, гипертоническая болезнь III стадии, гипертонический криз, гидроцефалия, острые психические расстройства, тиреотоксикоз, мерцательная аритмия, наличие повреждений кожи в местах наложения электродов, наличие вживленных кардиостимуляторов. Все принявшие участие в исследовании спортсмены были здоровы и имели допуск врача к занятиям спортом. До применения ТЭС спортсмены проходили первичное обследование, которое включало обязательное проведение электроэнцефалографии (ЭЭГ) с целью выявления противопоказаний к процедуре ТЭС: в исследова-

ние включались спортсмены, у которых отсутствовали ЭЭГ-признаки пароксизмальной активности нейронов (спайки, острые волны, комплексы быстрая волна—медленная волна). ЭЭГ регистрировали с помощью аппаратно-программного комплекса (АПК) Neurotravel Light, ATES DIAGNOSTIC (монополярно с 16 стандартных точек отведения в соответствии с международной системой «10—20»).

В разных группах спортсменов до и после процедуры/курса проводили исследование variability сердечного ритма (BCP) и психофизиологическое тестирование (определение времени простой и сложной сенсомоторной реакции). Исследование BCP осуществляли с использованием АПК ESTECK System Complex (LD Technology, США) и Поли-Спектр Ритм («Нейрософт», Россия). Психофизиологическое тестирование — тест Шульте, позволяющий оценить психофизиологические характеристики внимания (избирательность, устойчивость, переключаемость), работоспособность при выполнении работы, которая требует внимания, проводили с помощью АПК «Спортивный психофизиолог» [13], тест на реакцию по методике RT — с помощью АПК VIENNA TEST SYSTEM (Австрия).

Оценка влияния процедуры ТЭС на работоспособность и процессы срочного восстановления после физической нагрузки у легкоатлетов включала проведение тестов с физической нагрузкой. Нагрузочное тестирование осуществляли с помощью эргометрической системы SCHILLER (Швейцария) и тредмила H/P/COSMOS (Германия) по протоколу Astrand [14]. Фиксировали время выполнения теста, ЧСС, объем  $O_2$  и  $CO_2$  в выдыхаемом воздухе в конце каждой ступени нагрузки. Эти же показатели фиксировали каждую минуту срочного восстановления (в течение 20 мин).

Представленное исследование одобрено решением локального этического комитета ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России (протокол №2 от 15.07.19), согласно которому: условия проводимых исследований соответствуют общепринятым нормам морали; соблюдаются требования этических и правовых норм, а также прав, интересов и личного достоинства участников исследований; проводимые исследования адекватны теме научно-исследовательской работы; риск для субъекта исследования отсутствует; участники исследования информированы о целях, методах, ожидаемой пользе исследования и сопряженных с участием в исследовании риске и неудобствах.

Статистическая обработка производилась с помощью пакетов программ Microsoft Excel 2013 и Statistica 13.0. Для характеристики изучаемых показателей вычислялась средняя арифметическая величина ( $M$ ). Для анализа данных использовали непараметрический критерий Вилкоксона. Критический уровень значимости ( $p$ ) при проверке статистических гипотез принимался за 0,05. Для выделения наиболее значи-

мых факторов и веса факторных нагрузок переменных (изучаемых показателей) использовался факторный анализ (ФА).

## Результаты и обсуждение

### Исследование применения ТЭС в течение тренировочного цикла подготовки у спортсменов циклических видов спорта

Триатлонисты проходили курс из 7 процедур ТЭС. Сравнения ритмов ЭЭГ до и после курса ТЭС не выявили изменений в амплитуде  $\alpha$ -ритма. У триатлонистов-мужчин после курса ТЭС происходило снижение средней амплитуды быстрой (высокочастотной) и низкочастотной ( $\beta$ ) активности и средней амплитуды  $\theta$ -ритма. У женщин триатлонисток курс ТЭС не отражался на амплитуде ритмов ЭЭГ.

Изучение показателей временного анализа ВСР у мужчин-триатлонистов до и после применения ТЭС выявило снижение ЧСС (с  $70 \pm 3$  до  $66 \pm 3,8$  уд/мин;  $p < 0,04$ ) и повышение RRNN (с  $873 \pm 41$  до  $924 \pm 54$ ;  $p < 0,04$ ) и рNN50 (%) (с  $17 \pm 6$  до  $24 \pm 8$ ;  $p < 0,04$ ), что свидетельствует об увеличении активности парасимпатического звена регуляции и, как следствие, большей экономизации работы сердца. По данным вариационной пульсометрии, статистически достоверно снизилось число кардиоциклов (с  $347 \pm 15$  до  $327 \pm 19$ ;  $p < 0,04$ ) и показатель адекватности процессов регуляции (с  $53 \pm 7$  до  $41 \pm 5$ ;  $p < 0,04$ ).

По данным спектрального анализа ВСР, у женщин-триатлонисток отмечалось повышение мощности спектра низкочастотного компонента variability (%) от суммарной мощности колебаний (с  $25 \pm 3$  до  $29 \pm 3$ ;  $p < 0,05$ ). Такую компоненту характеризуют как стрессреализующую, имеющую большое значение в быстрой мобилизации там, где нужны спринтерские качества или взрывная сила. ФА показателей ВСР у триатлонистов показал изменение структуры значимых факторов, хотя и несущественный. После ТЭС больший вес приобрели такие показатели, как вариационный размах (ВР), индекс вегетативного равновесия (ИВР) и нормализованное значение мощности в высокочастотном диапазоне, что связано с парасимпатической активностью. Общая доля дисперсии в первом случае (до ТЭС) составила 59%, во втором (после ТЭС) — 61%.

Следовательно, результаты ВСР триатлонистов показали положительный эффект ТЭС, выразившийся в повышении активности автономного контура регуляции и экономизации работы сердца, снижении централизации в управлении сердечным ритмом, повышении адаптационных и мобилизационных резервов организма спортсменов.

Анализ психофизиологических показателей триатлонистов до и после курса из 7 процедур ТЭС выявил достоверное снижение моторного времени в тесте на время реакции с одним критическим раздражителем

как у мужчин (с  $122 \pm 4$  до  $111 \pm 12$  мс;  $p < 0,04$ ), так и у женщин (с  $154 \pm 21$  до  $133 \pm 22$  мс;  $p < 0,05$ ).

Апробация применения ТЭС у легкоатлетов, занятых в циклических дисциплинах данного вида спорта, проводилась в целях оптимизации работоспособности перед максимальной нагрузкой (максимальным нагрузочным тестом на тредмиле) и оптимизации процессов срочного восстановления после нагрузки (после максимального нагрузочного теста). Протокол исследования включал трехкратное проведение нагрузочного теста с интервалом в трое суток: 1 — максимальный нагрузочный тест без ТЭС, 2 — процедура ТЭС 20 мин перед максимальным нагрузочным тестом, 3 — процедура ТЭС 20 мин сразу после максимального нагрузочного теста.

В предварительном (без ТЭС) тесте с физической нагрузкой на тредмиле максимальное время работы составило  $11,2 \pm 1,1$  мин. При повторном тестировании, когда спортсменам непосредственно перед нагрузкой была проведена процедура ТЭС длительностью 20 мин с величиной импульсного биполярного тока 2—3 мА, максимальное время работы в тесте достоверно увеличилось и составило  $12,4 \pm 1,2$  мин ( $p < 0,03$ ). Таким образом, процедура ТЭС, проведенная перед физической нагрузкой, способствует росту физической работоспособности.

Значения ЧСС до, во время и после теста с физической нагрузкой являются одним из важнейших интегральных показателей состояния организма. Динамика ЧСС в процессе нагрузочного теста представлена на рис. 1. Анализ ЧСС показал, что процедура ТЭС, предваряющая нагрузочное тестирование, приводит к снижению ЧСС в покое и на первых четырех ступенях нагрузки ( $p < 0,05$ ) и, следовательно, к экономизации работы сердечно-сосудистой системы (ССС) в процессе работы.

Интенсивность сократительной функции сердца можно охарактеризовать величиной систолического

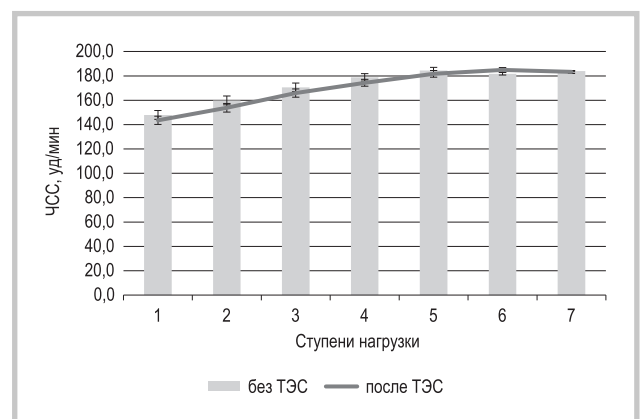


Рис. 1. Динамика ЧСС легкоатлетов в процессе нагрузочного тестирования на тредмиле до и после применения ТЭС.

Fig. 1. Heart rate dynamics of athletes in the process of load testing on the treadmill before and after the tDCS use.

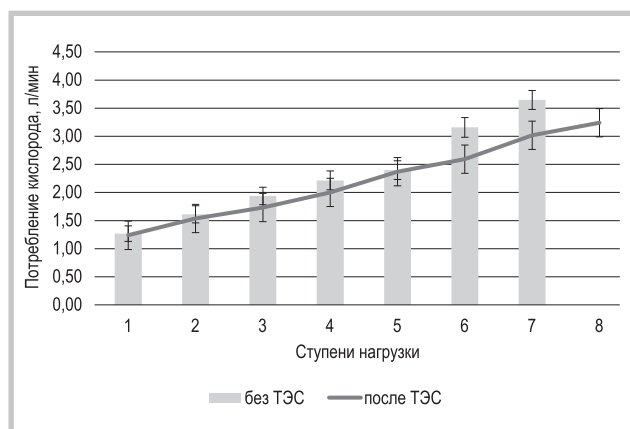


Рис. 2. Динамика роста показателя потребления кислорода (л/мин) в процессе выполнения максимального нагрузочного теста на тредмиле до и после применения ТЭС.

Fig. 2. The dynamics of the oxygen consumption growth (l/min) in the process of performing the maximum load test on the treadmill before and after the tDCS use.

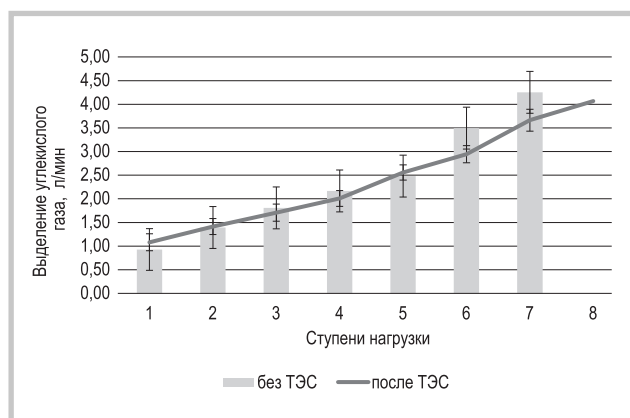


Рис. 3. Динамика роста показателя выделения углекислого газа в процессе нагрузочного тестирования до и после применения ТЭС.

Fig. 3. The growth dynamics of the carbon dioxide emissions indicator during stress testing before and after the tDCS use.

напряжения миокарда, которое прямо пропорционально величине двойного произведения (ДП), увеличение этого показателя соответствует увеличению функциональных возможностей миокарда. В первом нагрузочном тесте (без ТЭС) величина ДП составила  $247,5 \pm 12,4$  усл. ед., во втором —  $281,7 \pm 7,8$  усл. ед. Применение ТЭС перед физической нагрузкой также способствовало повышению индекса хронотропного резерва сердца, который в первом тесте составил  $110,5 \pm 7,4\%$ , а во втором —  $133,9 \pm 10,0\%$ . Таким образом, применение процедуры ТЭС перед физической нагрузкой способствует не только увеличению физической работоспособности, но и повышению функциональных возможностей миокарда в процессе выполнения работы.

Функциональное состояние ССС и дыхательной систем в ходе нагрузочного тестирования оценива-

ли по показателям скорости потребления кислорода ( $VO_2$ ) (рис. 2) и выделения углекислого газа ( $VCO_2$ ) (рис. 3). Анализ значений  $VO_2$  и  $VCO_2$  показал, что применение ТЭС перед физической нагрузкой приводит к их падению после пятой ступени нагрузки, что соответствует снижению метаболического эквивалента. Следовательно, 20-минутная процедура ТЭС непосредственно перед физической нагрузкой приводит к оптимизации работоспособности, сочетающейся со снижением энергозатрат, экономизации работы ССС и повышению функциональных возможностей миокарда в процессе работы.

Для исследования влияния ТЭС на восстановительные процессы после максимальной нагрузки процедура ТЭС осуществлялась сразу после максимального нагрузочного теста на тредмиле (продолжительность 20 мин, сила тока от 2 до 3 мА, частота 77,5 Гц). Анализ динамики ЧСС показал, что ТЭС способствует ускорению восстановления ЧСС, достоверно в первые 4 мин (восстановление без ТЭС: 1-я минута —  $160,9 \pm 1,8$ ; 2-я минута —  $132,8 \pm 0,9$ ; 3-я минута —  $120,8 \pm 0,6$ ; 4-я минута —  $116,3 \pm 0,5$ ; восстановление с ТЭС: 1-я минута —  $140,9 \pm 2$ ; 2-я минута —  $120,4 \pm 1,2$ ; 3-я минута —  $109,3 \pm 0,8$ ; 4-я минута —  $105,7 \pm 0,6$ ) и с 8-й по 10-ю минуту срочного восстановления (восстановление без ТЭС: 8-я минута —  $111,7 \pm 0,3$ ; 9-я минута —  $112,4 \pm 0,3$ ; 10-я минута —  $115,1 \pm 0,3$ ; восстановление с ТЭС: 8-я минута —  $91,4 \pm 0,3$ ; 9-я минута —  $91,7 \pm 0,25$ ; 10-я минута —  $90,1 \pm 0,23$ ) ( $p < 0,05$ ).

Анализ динамики  $VO_2$  и  $VCO_2$  при срочном восстановлении выявил, что при применении ТЭС на 1-й минуте восстановительного периода  $VO_2$  была меньше ( $1,45 \pm 0,14$  л/мин), чем без ТЭС ( $1,79 \pm 0,2$  л/мин),  $VCO_2$  —  $1,65 \pm 0,1$  и  $2,0 \pm 0,3$  л/мин соответственно. Кроме того, имелась тенденция к снижению  $VO_2$  и  $VCO_2$  с 3-й по 7-ю минуту, что может свидетельствовать об интенсификации восстановительных процессов.

Влияние ТЭС на показатели ВСР и гемодинамики спортсменов в период срочного восстановления по завершении максимального нагрузочного теста на тредмиле представлено в таблице. Результаты исследования свидетельствуют об ускорении восстановления ЧСС, оптимизации спектральных характеристик ВСР, уменьшении напряжения регуляторных систем, улучшении функции левого желудочка, снижении жесткости артерий малого и среднего калибра.

### Исследование применения ТЭС у спортсменов силовых видов спорта

Оценка применения ТЭС у тяжелоатлетов включала изучение срочных эффектов одной процедуры у спортсменов ОГ в сравнении с КГ, а также применение процедуры ТЭС в период срочного восстановления после выполнения соревновательных тяжелоатлетических упражнений с высокой интенсивностью (подъем максимального веса).

**Таблица.** Характеристики функционального состояния спортсменов во время срочного восстановления по завершении максимального нагрузочного теста на тредмиле с применением и без применения транскраниальной электростимуляции

**Table.** Characteristics of the athlete functional state during emergency recovery after completion of the maximum load test on treadmill with and without transcranial direct current stimulation

№ п/п No	Показатели Parameters	До нагрузочного тестирования Before stress test	Через 10 мин срочного восстановления без ТЭС After 10 minutes of urgent recovery without tDCS	Через 10 мин срочного восстановления с ТЭС After 10 minutes of urgent recovery with tDCS	<i>p</i>
1	ЧСС, уд/мин HR, b.p.m.	74±3	101±3	89±3	0,04
2	HF, мс <sup>2</sup> HF, ms <sup>2</sup>	38±2	30 ±0,6	22±1	—
3	LF, мс <sup>2</sup> LF, ms <sup>2</sup>	30±3	51±3,0	33±2	0,04
4	LF/HF, у.е LF/HF, c.u.	0,8±0,1	2±0,1	1,6±0,1	0,04
5	Stress Index, у.е Stress Index, c.u.	89,8±12,3	228±24	198±26	0,04
6	SDNN, мс SDNN, ms	66±4	41±2	41±2,7	—
7	Индекс жесткости, м/с Stiffness index, m/s	6±0,2	6,60±0,1	5,6±0,1	—
8	Индекс отражения, % Reflection index, %	27±0,7	29±0,7	25±1,4	—
9	Индекс аугментации, у.е Augmentation Index, c.u.	1±0,0	1±0,0	1±0,0	—
10	b/a, у.е./b/a, c.u.	-1,1±0,0	-1,0±0,0	-1,2±0,1	0,04
11	d/a, у.е./d/a, c.u.	-0,3±0,0	-0,4±0,0	-0,3±0,0	0,04
12	ПСС, дин*с/см <sup>2</sup> SVR, dyn*s/cm <sup>2</sup>	1261±84	1494±111	1162±37	—
13	СО, л/СО, л	6±0,4	6±0,3	6±0,2	—
14	СИ, л/мин/м <sup>2</sup> /СИ, l/min/m <sup>2</sup>	3±0,1	3,84±0,4	3±0,01	—
15	АДс, мм.рт.ст/SBP, mmHg	123±8	155±5	112±3	—
16	АДд, мм.рт.ст/DBP, mmHg	74±2	74±3,5	70±1,5	—

*Примечание.* *p* — уровень значимости отличий по критерию Вилкоксона, HF — мощность высокочастотного компонента, LF — мощность низкочастотного компонента, LF/HF — соотношение низкочастотного и высокочастотного компонента, Stress Index — индекс напряжения регуляторных систем, SDNN — среднее квадратичное отклонение, b/a — маркер функции левого желудочка, d/a — индикатор жесткости артерий малого и среднего калибра, ПСС — периферическое сосудистое сопротивление, СО — систолический объем крови, СИ — индекс объемной скорости кровотока.

*Note.* *p* — significance level of differences according to Wilcoxon's test, HF — power of the high-frequency component, LF — power of the low-frequency component, LF/HF — ratio of the low-frequency and high-frequency component, Stress Index — voltage index of regulatory systems, SDNN — standard deviation, b/a — marker functions of the left ventricle, d/a — an indicator of stiffness of arteries of small and medium caliber, SVR — systemic vascular resistance, SVR, CO — cardiac output, CI — cardiac index.

Показатели ВСР у тяжелоатлетов до и после процедуры ТЭС (продолжительность 20 мин, сила тока от 1 до 3 мА, частота 77,5 Гц) в ОГ имели достоверные различия по двум показателям: ЧСС (до 70,8±2,2; после 65,6±4,2; *p*<0,05) и индекс напряжения (ИН) (до 145,8±21,2; после 45,6±6,2; *p*<0,05). У спортсменов ОГ под влиянием ТЭС произошло достоверное снижение ЧСС и ИН регуляторных механизмов, у спортсменов КГ ЧСС несколько увеличилась, а ИН регуляторных механизмов снизился, но статистически незначимо. Следовательно, применение ТЭС у спортсменов силовых видов спорта способствует оптимизации механизмов вегетативной регуляции ССС.

Апробация применения процедуры ТЭС в период срочного восстановления после выполнения максимальных силовых упражнений у тяжелоатлетов показала следующее. В ОГ относительно пред- и постнагрузочных значений произошло достоверное улучшение показателей ВСР: ЧСС (до 101,5±5; после

97,7±3,2; *p*<0,05), R-Rcp (мс) (до 604,8±30,9; после 620,2±21,2), минимальная длительность кардиоинтервала (R-Rmin), максимальная длительность кардиоинтервала (R-Rmax) (*p*<0,05), ИН (до 486,4±169,7; после 251,4±47,8; *p*<0,05), мода (Мо) (до 595±30,9 мс; после 620±22,9 мс; *p*<0,01). В КГ достоверные изменения были отмечены в меньшем количестве показателей: ЧСС, средняя длительность кардиоинтервала (R-Rcp), R-Rmin, амплитуда моды (АМо) (*p*<0,01), Мо (*p*<0,05); не было зарегистрировано улучшение относительно преднагрузочных значений SDNN, коэффициента вариации. Кроме того, были отмечены достоверные изменения ИН (*p*<0,05) и коэффициента вариации (*p*<0,05) между КГ и ОГ.

Анализ психофизиологических показателей выявил, что после процедуры ТЭС в ОГ достоверно улучшились показатели скорости простой сенсомоторной реакции на свет (до 290±30 мс; после 240±10 мс; *p*<0,05) и звук (до 300±30 мс; после 250±30 мс; *p*<0,05),

они стали даже лучше донагрузочных. Скорость сложной сенсомоторной реакции не изменилась, поскольку, по-видимому, для восстановления сложных реакций необходимо более длительное время. В КГ после имитации стимуляции значительных изменений в пред- и постнагрузочных психофизиологических показателях не было зафиксировано.

Следовательно, применение ТЭС способствует ускорению восстановительных процессов физиологических параметров после максимальных нагрузок тяжелоатлетов, нормализации тонуса вегетативной нервной системы, усилению парасимпатических влияний на ритм сердца, повышению работоспособности центральной нервной системы.

### **Исследование применения ТЭС в течение тренировочного цикла подготовки у спортсменов ситуационных видов спорта**

Исследование включало оценку срочных эффектов одной процедуры ТЭС на психофизиологические показатели игроков регби и изучение влияния курса из 8 процедур ТЭС на комплекс показателей функционального и психологического состояния спортсменов-каратистов.

Влияние одной процедуры ТЭС на психофизиологические показатели игроков регби (27 спортсменов) оценивали по показателям теста по определению времени реакции выбора. Задача для участников исследования усложнялась тем, что было необходимо дифференцировать сигналы, поступающие одновременно и в зрительный, и в слуховой анализатор. Кроме того, используя тест Шульте, исследовали влияние ТЭС на психофизиологические характеристики внимания (избирательность, устойчивость, переключаемость), работоспособность при осуществлении деятельности, использующей функции внимания.

Анализ результатов психофизиологического тестирования показал, что у спортсменов-регбистов после 20-минутной процедуры ТЭС достоверно ( $p < 0,0005$ ) уменьшились время восприятия и дифференцировки световых и звуковых раздражителей (с  $534 \pm 14$  до  $477 \pm 9$  мс) и моторное время реакции. Следует отметить, что после процедуры ТЭС уменьшилась степень рассеивания показателей времени реакции (с  $92,4 \pm 4,8$  до  $83,6 \pm 3,4$  мс), что свидетельствует о выполнении спортсменами работы, требующей сосредоточения, более стабильно на протяжении всего теста. Кроме времени реакции, также достоверно ( $p < 0,002$ ) у спортсменов снизилось время моторного реагирования с  $131 \pm 6$  до  $107 \pm 7$  мс. Степень рассеивания этого показателя уменьшилась с  $19,4 \pm 2,4$  до  $15,5 \pm 1,4$  мс.

ФА подтвердил результаты сравнения показателей, структура значимых факторов (психофизиологических переменных) расширилась за счет переменной «эффективность работы», хотя общая доля дисперсии значимых переменных снизилась с 31 до 25%.

Проведенное исследование у спортсменов-каратистов показало, что после курса ТЭС у спортсменов ОГ достоверно изменилась только амплитуда  $\alpha$ -ритма в центральном затылочном отведении. В КГ достоверных изменений амплитуды  $\alpha$ -ритма не установлено. Достоверных изменений максимальной амплитуды  $\alpha$ -ритма у каратистов мужчин ОГ не отмечалось. Показатели максимальной амплитуды  $\theta$ -ритма ЭЭГ каратистов-мужчин были достаточно высокими и под влиянием курса из 8 процедур ТЭС они снижались, достоверно — в центральном затылочном отведении. Под влиянием курса ТЭС наблюдалось снижение средней и максимальной амплитуды быстрой (высокочастотной и низкочастотной  $\beta$ ) и медленно-волновой ( $\delta$ - и  $\theta$ -ритмы) активности. Такие изменения были более выражены у спортсменов мужского пола. Это может быть связано с более высоким порогом болевой чувствительности и, как следствие, с большими величинами силы тока, применяемыми при процедурах ТЭС. Мужчины, как правило, использовали силу тока, близкую к 5 мА.

Поскольку спортсмены проходили курс ТЭС в период учебно-тренировочных сборов, снижение амплитуд  $\beta$ -,  $\delta$ - и  $\theta$ -ритмов у спортсменов ОГ и отсутствие такового и даже частичное некоторое их повышение у спортсменов КГ свидетельствует о восстановительном эффекте ТЭС. Так, у спортсменов, проходивших ТЭС, к концу сборов отсутствовали признаки утомления, а у спортсменов КГ эти признаки имелись.

ФА переменных «ритмы ЭЭГ» у каратистов показал значительное снижение факторных нагрузок и сокращение значимых переменных «ритмы ЭЭГ» после курса ТЭС. Значительно снизились факторные нагрузки и вышли из числа значимых факторов переменные — средние амплитуды  $\delta$ - и  $\theta$ -ритма, высокочастотного и низкочастотного  $\beta$ -ритмов в левом переднелобном, левом теменном, левом затылочном, центральном затылочном, правом затылочном, правом переднелобном, лобно-центральном, правом центральном, правом теменном и центральном теменном отведениях;  $\theta$ -ритма,  $\beta$ -высокочастотного ритма в переднелобном центральном отведении;  $\theta$ -,  $\delta$ - и  $\beta$ -высокочастотного в правом переднелобном отведении, левом лобном и центральном отведениях;  $\beta$ -высокочастотного и низкочастотного ритмов в центральном отведении. Значимыми остались только средние амплитуды  $\alpha$ -ритма во всех отведениях, что свидетельствует о достижении спортсменом состояния, характеризуемого специалистами как «состояние оптимального функционирования». Общая доля дисперсии в первом случае (до ТЭС) составила 91%, во втором (после ТЭС) — 34%, что физиологически отражает улучшение функционального состояния мозга.

Исследование влияния ТЭС на показатели временного анализа ВСП каратистов-мужчин показало,

что после четырех процедур ТЭС достоверно повысилось среднее квадратичное отклонение (с  $50,4 \pm 8,5$  до  $82,8 \pm 13,4$  мс;  $p < 0,04$ ) и среднеквадратичное различие между продолжительностью соседних кардиоинтервалов (с  $45,8 \pm 11,1$  до  $80,4 \pm 17,0$  мс;  $p < 0,04$ ), снизился коэффициент вариации (с  $5,6 \pm 0,8$  до  $9,3 \pm 1,4$  мс;  $p < 0,04$ ). Повышение значения этих показателей рассматривается как усиление влияния на синусовый узел симпатического и парасимпатического отделов ВНС. У спортсменов это рассматривается как повышение функциональных возможностей и достижение более высокого уровня тренированности. Спектральный анализ ВСР каратистов-мужчин продемонстрировал, что после четырех процедур ТЭС достоверно повысился показатель мощности волн высокой частоты (с  $760,8 \pm 337,3$  до  $2905,4 \pm 1115,1$  мс;  $p < 0,04$ ) и снизился показатель мощности спектра очень низкочастотного компонента variability (%) от суммарной мощности колебаний (с  $17,5 \pm 3,4$  до  $8,9 \pm 1,7$  мс;  $p < 0,04$ ). По данным различных авторов, HF у спортсменов коррелирует с уровнем тренировочной готовности и спортивным результатом. VLF волны связывают преимущественно с гуморально-метаболическими и церебральными эрготропными влияниями. Н.И. Шлык (2009) описала резкое увеличение этого паттерна волн при перетренированности и физическом перенапряжении [15]. У спортсменов эта компонента должна быть наименее выражена в общем спектре волн.

При исследовании влияния применения курса ТЭС на показатели вариационной пульсометрии у каратистов-мужчин было отмечено, что после четырех процедур ТЭС у спортсменов достоверно снизились такие показатели, как индекс напряжения (с  $112,9 \pm 35,3$  до  $41,6 \pm 11,1$  мс;  $p < 0,04$ ), ИВР (с  $171,7 \pm 64,6$  до  $53,7 \pm 10,3$  мс;  $p < 0,04$ ), вегетативный показатель ритма (ВПР) (с  $3,9 \pm 1,0$  до  $1,7 \pm 0,2$  мс;  $p < 0,04$ ) и повысился ВР (с  $0,4 \pm 0,1 \pm 1,0$  до  $0,7 \pm 0,1$  мс;  $p < 0,04$ ). По данным Ю.Э. Питкевич (2010), адаптация к условиям спортивной деятельности высоко коррелирует со снижением ИВР. ВПР позволяет судить о вегетативном балансе с точки зрения оценки активности автономного контура регуляции. По мере роста спортивного мастерства может отмечаться снижение этого показателя [16].

Изучение показателей временного анализа ВСР каратисток-женщин с применением и без применения ТЭС выявило, что у спортсменок, применявших ТЭС, в тестах после четырех процедур отмечалось достоверное снижение ЧСС (с  $89,5 \pm 2,7$  до  $73,8 \pm 4,8$  уд/мин;  $p < 0,05$ ), повышение RMSSD (с  $29,2 \pm 4,4$  до  $74,3 \pm 22,2$  мс;  $p < 0,05$ ). После курса из восьми процедур достоверно повысились показатели SDNN (с  $50,3 \pm 7,3$  до  $104,4 \pm 20,4$  мс;  $p < 0,03$ ), pNN50 (%) CV (%) и еще более повысились показатели R-Rmax, RRNN и RMSSD. Это свидетельствует о повышении функциональных возможностей и эконо-

номизации работы сердца, усилении влияния парасимпатического отдела ВНС. У спортсменок КГ повышение этих показателей было менее выражено. Оценка изменений показателей спектрального анализа каратисток-женщин при применении ТЭС выявила достоверное повышение показателей HF, LFnorm — нормализованные медленные волны, HFnorm — нормализованные быстрые волны, LF/HF, %LF, %HF после четырех процедур ТЭС и показателей TP, TPav, HF, LFnorm, HFnorm, LF/HF, %LF, %HF. Эти изменения сопровождают рост уровня тренированности и функциональных возможностей организма.

По результатам ФА показателей ВСР, у каратистов отмечались изменение структуры переменных и увеличение факторных нагрузок на показатели ЧСС, среднее значение всех R-R-интервалов в выборке, LFnorm — нормализованные медленные волны, HFnorm — нормализованные быстрые волны, LF/HF — соотношение медленных и быстрых волн, %HF — мощность спектра высокочастотного компонента variability (в процентах от суммарной мощности колебаний). Увеличение факторных нагрузок этих переменных может интерпретироваться как повышение адаптационных резервов и уровня тренированности [17]. Общая доля дисперсии до ТЭС составила 48%, после ТЭС — 60%.

Следовательно, в целом изменение показателей временного и спектрального анализа ВСР, вариационной пульсометрии у каратистов мужского и женского пола демонстрирует положительное влияние ТЭС на механизмы вегетативной регуляции сердечного ритма, что более выражено у женщин. Применение четырех процедур и еще в большей степени восьми процедур ТЭС способствует повышению функциональных возможностей и экономизации работы сердца, усилению влияния парасимпатического отдела вегетативной нервной системы и автономного контура регуляции сердечного ритма, что является признаком роста уровня тренированности и функциональных возможностей организма спортсменов.

Курс процедур ТЭС способствовал улучшению психофизиологических показателей: уменьшению моторного времени (с  $97 \pm 6$  до  $73 \pm 7$  мс;  $p < 0,05$ ) простой сенсомоторной реакции и снижению степени ее рассеивания (с  $16 \pm 4$  до  $7 \pm 0,5$  мс;  $p < 0,05$ ). ФА психофизиологических показателей у каратистов выявил изменение структуры переменных: снижение факторных нагрузок переменных, характеризующих простую сенсомоторную реакцию, и увеличение факторной нагрузки степени рассеивания моторного времени сложной сенсомоторной реакции. Общая доля дисперсии до ТЭС составила 33%, после ТЭС — 34%.

В процессе применения ТЭС никаких нежелательных эффектов у обследованных спортсменов зарегистрировано не было.



## Заключение

Применение ТЭС у высококвалифицированных спортсменов — членов национальных сборных команд в течение тренировочного цикла подготовки показывает положительное влияние этого метода стимулирующего и восстанавливающего воздействия, что обосновывается достоверным изменением физиологических и психофизиологических показателей.

После курса семи процедур ТЭС (продолжительность 30 мин, сила тока от 2 до 3 мА, частота 77,5 Гц) у триатлонистов повышаются экономизация работы сердца, адаптационные и мобилизационные резервы организма, психофизиологические показатели. Оценка динамики параметров функций организма при проведении ТЭС перед и после нагрузочного тестирования на тредмиле у легкоатлетов показала, что одна процедура ТЭС (продолжительность 20 мин, сила тока от 2 до 3 мА, частота 77,5 Гц) способствует оптимизации работоспособности и повышению функциональных возможностей миокарда в процессе выполнения работы, снижению энергозатрат. Применение ТЭС в период срочного восстановления (продолжительность 20 мин, сила тока от 2 до 3 мА, частота 77,5 Гц) способствует ускорению восстановления ЧСС, скорости потребления кислорода и выделения углекислого газа, оптимизации спектральных характеристик ВСР, уменьшению напряжения регуляторных систем, улучшению функции левого желудочка, снижению жесткости артерий малого и среднего калибра.

У спортсменов ациклических видов спорта (тяжелотлетов) применение процедуры (продолжительность 20 мин, сила тока от 2 до 3 мА, частота 77,5 Гц) эффективно для оптимизации психофункционального состояния, что выражается в снижении напряжения регуляторных процессов, усилении вагусной регуляции ритма сердца. Применение ТЭС после максимальных силовых упражнений способствует ускорению восстановительных процессов физиологических параметров и повышению работоспособности центральной нервной системы.

У спортсменов ситуационных видов спорта (регби, карате) применение процедуры ТЭС (продолжительность 20 мин, сила тока от 2 до 3 мА, частота 77,5 Гц) эффективно в целях снижения времени

сенсомоторных реакций и повышения психической устойчивости.

По данным исследования физиологических и психофизиологических параметров каратистов, курс из восьми процедур ТЭС (ТЭС продолжительность 30 минут, сила тока от 1 до 3 мА, частота 77,5 Гц) способствует оптимизации функционального состояния мозга — достижению состояния «оптимального функционирования», повышению функциональных возможностей и экономизации работы сердца, усилению влияния парасимпатического отдела ВНС и автономного контура регуляции сердечного ритма, что является признаком роста уровня тренированности и функциональных возможностей организма спортсменов. Улучшение психофизиологических показателей проявляется в уменьшении времени реакции.

Представленные результаты позволяют рекомендовать применение ТЭС в медико-биологическом сопровождении в спорте высших достижений.

*Исследование выполнено в соответствии с государственным контрактом №129.005.18.14 от 02.04.18 ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России на выполнение прикладной научно-исследовательской работы по теме «Разработка и обоснование технологий применения транскраниальной электростимуляции, эндомассажа и магнитного поля в процессах восстановления и реабилитации спортсменов в спорте высших достижений»; контрактом №29В/ЦСМ/19 от 02.07.19 на выполнение составной части прикладной научно-исследовательской работы «Разработка методических рекомендаций по использованию методов транскраниальной электростимуляции у спортсменов национальных сборных команд по циклическим, сложнокоординационным, силовым и игровым видам спорта».*

### Участие авторов:

концепция и дизайн исследования — Ю.В. Корягина; сбор и обработка материала — Л.Г. Роголева, С.В. Нопин; написание текста: — Ю.В. Корягина., Г.Н. Тер-Акопов; редактирование — Ю.В. Корягина.

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

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Малыгин А.В., Лебедев В.П., Пахарьков Г.Н. Применение правил доказательной медицины при разработке биотехнических систем транскраниальной электростимуляции. *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. 2004;43. Malugin AV, Lebedev VP, Pakharkov GN. Application of evidence-based medicine rules in the development of biotechnological systems of transcranial electrical stimulation. *Izvestiya SPbGETU «LETI»*. 2004;43. (In Russ.).
2. Лебедев В.П., Сергиенко В.И. Разработка и обоснование лечебного применения транскраниальной электростимуляции защитных механизмов мозга с использованием принципов доказательной медицины. *Транскраниальная электростимуляция. Экспериментально-клинические исследования: сборник статей*. 2005;2:11-68. Lebedev VP, Sergienko VI. Development and justification of the therapeutic use of transcranial electrical stimulation of the brain's defense mechanisms using the principles of evidence-based medicine. *Transcranial electrical stimulation. Experimental and clinical research: a collection of articles*. 2005;2:11-68. (In Russ.).
3. Сеин О.Б., Иванов В.А., Милостной Ю.П. Коррекция гемодинамики и эмоционального состояния у дзюдоистов после физической нагрузки с использованием транскраниальной электростимуляции. Актуальные проб-

- лемы ТЭС-терапии. Международная конференция, посвященная методу ТЭС. 2008;103-105.
- Sein OB, Ivanov VA, Milostnoj YP. *Correction of hemodynamics and emotional state in judokas after exercise using transcranial electrical stimulation. Actual problems of TES-therapy. International conference on the method of thermal power plants. 2008;103-105. (In Russ.).*
4. Гувакова И.В., Кузнецова Л.А. Нарушения вегетативного статуса у спортсменов ациклических видов спорта и их коррекция средствами технологии игрового биоуправления и транскраниальной стимуляции. *Бюллетень сибирской медицины. 2010;9(2):68-72.*  
Guvakova IV, Kuznetsova LA. Violations of the vegetative status in athletes of acyclic sports and their correction by means of game biofeedback technology and transcranial stimulation. *Byulleten' sibirskoj mediciny. 2010;9(2):68-72. (In Russ.).*
  5. Дробышев В.А., Гувакова И.В., Кузнецова Л.А. Применение транскраниальной электростимуляции и игрового биоуправления в коррекции вегетативных изменений у атлетов циклических видов спорта. *Сибирское медицинское обозрение. 2010;64(4):73-77.*  
Drobyshev VA, Guvakova IV, Kuznetsova LA. The use of transcranial electrical stimulation and game biofeedback in the correction of autonomic changes in athletes of cyclic sports. *Sibirskoe medicinskoe obozrenie. 2010;64(4):73-77. (In Russ.).*
  6. Виноградова О.Л., Тарасова О.С., Нетреба А.И. Использование метода транскраниальной электростимуляции для коррекции психофизиологического статуса спортсменов. *Транскраниальная электростимуляция. Экспериментально-клинические исследования. 2009;3:256-273.*  
Vinogradova OL, Tarasova OS, Netreba AI. Using the method of transcranial electrical stimulation to correct the psychophysiological status of athletes. *Transcranial electrical stimulation. Experimental and clinical research. 2009;3:256-273. (In Russ.).*
  7. Корягина Ю.В., Рогалева Л.Г., Замчий Т.П. Транскраниальная электростимуляция как средство оптимизации психофизиологических функций у единоборцев и спортсменов силовых видов спорта. *Теория и практика физической культуры. 2015;3:11-13.*  
Koryagina YuV, Roguleva LG, Zamchij TP. Transcranial electrical stimulation as a means of optimizing the psychophysiological functions of martial artists and power sports athletes. *Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury. 2015;3:11-13.*
  8. Корягина Ю.В., Тер-Акопов Г.Н., Нопин С.В., Рогалева Л.Г., Костюк Е.В. Применение транскраниальной электростимуляции, эндомассажа и магнитного поля для срочного восстановления и посттравматической реабилитации спортсменов. *Теория и практика физической культуры. 2019;1:20-22.*  
Koryagina YuV, Ter-Akopov GN, Nopin SV, Roguleva LG, Kostyuk EV. The use of transcranial electrical stimulation, endomassage and magnetic field for urgent recovery and post-traumatic rehabilitation of athletes. *Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury. 2019;1:20-22.*
  9. Angius L, Pascual-Leone A, Santarnecchi E. Brain stimulation and physical performance. *Progress in brain research. 2018;240:317-339.*  
<https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.07.010>
  10. Moscatelli F, Valenzano A, Monda V, Ruberto M, Monda G, Triggiani A, Roccella M. Transcranial magnetic stimulation (tms) application in sport medicine: a brief. *Acta Medica. 2017;33:423.*  
[https://doi.org/10.19193/0393-6384\\_2017\\_3\\_062](https://doi.org/10.19193/0393-6384_2017_3_062)
  11. Goodall S, Howatson G, Romer L, Ross E. Transcranial magnetic stimulation in sport science: a commentary. *European journal of sport science. 2014;14:332-340.*  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2012.704079>
  12. Bestmann S, Walsh V. Transcranial electrical stimulation. *Current Biology. 2017;27(23):1258-1262.*  
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.11.001>
  13. Корягина Ю.В., Нопин С.В. Аппаратно-программный комплекс «Спортивный психофизиолог». Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. 2011;1:308.  
Koryagina YuV, Nopin SV. Hardware-software complex «Sports psychophysicologist». *Computer Programs. Database. Topologies of integrated circuits. 2011;1:308. (In Russ.).*
  14. Vehrs PR, George JD, Fellingham GW, Plowman SA, Dustman-Allen K. Submaximal treadmill exercise test to predict VO<sub>2</sub>max in fit adults. *Measurement in Physical Education and Exercise Science. 2007;11(2):61-72.*  
<https://doi.org/10.1080/10913670701294047>
  15. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. Ижевск: Изд-во Удмуртский университет; 2009.  
Shlyk N. *Heart rate and type of regulation in children, adolescents and athletes.* Izhevsk: Publishing House Udmurt University; 2009. (In Russ.).
  16. Питкевич Ю.Э. Вариабельность сердечного ритма у спортсменов. *Журнал Гомельского гос. мед. ун-та. Проблемы здоровья и экологии. 2010;26(4):101-106.*  
Pitkevich YuE. Heart rate variability in athletes. *Gomel State Journal honey. un-that. Health and environmental issues. 2010;26(4):101-106. (In Russ.).*
  17. Гаврилова Е.А. Спорт, стресс, вариабельность: монография. М.: Спорт; 2015.  
Gavrilova EA. *Sport, stress, variability: a monograph.* М.: Спорт; 2015. (In Russ.).

Получена 21.01.2020

Received 21.01.2020

Принята в печать 22.05.2020

Accepted 22.05.2020