

<https://doi.org/10.47183/mes.2025-367>

УДК 615.8



ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РИТМИЧЕСКОЙ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ МАГНИТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА СПОРТСМЕНОВ-МУЖЧИН

Ю.В. Корягина^{1✉}, Ю.В. Кушнарева¹, С.В. Нопин¹, С.М. Абуталимова¹, И.Н. Митин²¹Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, Ессентуки, Россия²Национальный центр спортивной медицины Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

Введение. Исследования, проведенные специалистами, показали высокую эффективность применения периферической магнитной стимуляции (ПМС) в послеоперационном периоде для повышения силы и гипертрофии мышечной ткани у спортсменов. Актуальным является научно-экспериментальное обоснование применения ПМС в системе медико-биологического обеспечения спорта высших достижений для улучшения функциональных возможностей опорно-двигательного аппарата (ОДА) здоровых спортсменов.

Цель. Изучение влияния применения ритмической ПМС на функциональные возможности ОДА спортсменов-мужчин.

Материалы и методы. Исследование проведено на базе реабилитационно-восстановительного центра для спортсменов ФГБУ «Юг Спорт» в г. Кисловодске. В нем приняли участие 38 спортсменов-мужчин высокой квалификации. Спортсмены были разделены на три группы: опытную группу 1 (ОГ1) — 15 чел., опытную группу 2 (ОГ2) — 8 чел. и контрольную (КГ) — 15 чел. ПМС проводили с помощью системы высокоинтенсивной магнитотерапии BTL-6000 Super Inductive System по двум разным протоколам модуляции и частоты воздействий. До применения, после первого сеанса и после курса из 8 процедур ПМС у спортсменов определялись показатели электронейромиографии, реовазографии и динамометрии нижних конечностей. В контрольной группе спортсменов ПМС не применяли, все показатели исследовали до и после учебно-тренировочных сборов.

Результаты. Применение ПМС на область задней поверхности левого и правого бедра с интенсивностью выше порога моторного ответа (25–80%) и модуляцией частоты 1–150 Гц (ОГ 1) способствовало снижению показателей латентности и увеличению параметров скорости моторного проведения, амплитуды и площади М-ответов при стимуляции малоберцового нерва. Применение ПМС на ту же область и с той же интенсивностью с модуляцией частоты 1–50 Гц (ОГ2) увеличивало показатели амплитуды и площади М-ответов. Выявлено увеличение периферической гемодинамики в сосудах нижних конечностей и параметров силы мышц-сгибателей и разгибателей бедра, улучшение межмышечной координации работы мышц.

Выводы. Применение ПМС у спортсменов высокой квалификации способствует увеличению функциональных возможностей ОДА: параметров нервно-мышечной передачи, периферической гемодинамики и силовых возможностей.

Ключевые слова: спортсмены; функциональные возможности; опорно-двигательный аппарат; нервно-мышечный аппарат; периферическая магнитная стимуляция; физиотерапия; электронейромиография; гемодинамика; сила мышц

Для цитирования: Корягина Ю.В., Кушнарева Ю.В., Нопин С.В., Абуталимова С.М., Митин И.Н. Влияние применения ритмической периферической магнитной стимуляции на функциональные возможности опорно-двигательного аппарата спортсменов-мужчин. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2026;28(1):88–94. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-367>

Финансирование: исследование проведено в соответствии с контрактом № 31В/ЦСМ/23 от 07.06.2023 на выполнение составной части прикладной научно-исследовательской работы по теме: «Разработка и научно-экспериментальное обоснование применения периферической магнитной стимуляции в системе медико-биологического обеспечения спорта высших достижений для восстановления и улучшения функционального состояния нейромышечного аппарата спортсменов» (шифр: «Магнит-23»).

Соответствие принципам этики: исследование проводилось в соответствии с этическими принципами медицинских исследований с участием человека, изложенными в Хельсинкской декларации 2013 г. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом по экспертизе биомедицинских исследований ФГБУ СКФНЦК ФМБА России (протокол № 2 от 30.06.2023). Все участники подписали информированное согласие на участие в исследовании, а также разрешение на обработку персональных данных.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ Корягина Юлия Владиславовна nauka@skfmba.ru

Статья поступила: 04.08.2025 **После доработки:** 06.10.2025 **Принята к публикации:** 31.10.2025 **Online first:** 17.12.2025

EFFECT OF RHYTHMIC PERIPHERAL MAGNETIC STIMULATION ON THE FUNCTIONAL CAPABILITIES OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM OF MALE ATHLETES

Yulia V. Koryagina^{1✉}, Julia V. Kushnareva¹, Sergey V. Nopin¹, Sabina M. Abutalimova¹, Igor N. Mitin²¹North Caucasian Federal Scientific and Clinical Center, Yessentuki, Russia²National Center of Sports Medicine of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

Introduction. Previous research has demonstrated the high efficacy of peripheral magnetic stimulation (PMS) in the postoperative period of athletes for increasing strength and muscle tissue hypertrophy. Scientific and experimental substantiation for the use of PMS within the medical and biological support system for elite sports to improve the functional capabilities of the musculoskeletal system (MSS) in healthy athletes represents a relevant research task.

Objective. Study of the effect of rhythmic PMS on the functional capabilities of MSS in male athletes.

© Ю.В. Корягина, Ю.В. Кушнарева, С.В. Нопин, С.М. Абуталимова, И.Н. Митин, 2025

Materials and methods. The study was conducted at the Yug-Sport Rehabilitation and Recovery Center for Athletes in Kislovodsk (Russia). In total, 38 highly qualified male athletes were involved, who were divided into three groups: experimental group 1 (EG1) — 15 individuals, experimental group 2 (EG2) — 8 individuals, and the control group (CG) — 15 individuals. PMS was administered using a BTL-6000 Super Inductive System high-intensity magnetotherapy device, following two protocols for modulation and stimulation frequency. In the athletes, the following parameters were assessed: electrophysiological studies (electroneuromyography), rheovasography, and dynamometry of the lower limbs. These assessments were conducted before the intervention, after the first session, and after a course of eight PMS treatment sessions. In the control group, PMS was not applied. All parameters in this group were measured before and after the training camp period.

Results. The application of PMS to the posterior aspect of the left and right thigh at an intensity above the motor threshold (25–80%) and a frequency modulation of 1–150 Hz (EG1) contributed to a decrease in latency parameters and an increase in motor conduction velocity, as well as the M response amplitude and area upon stimulation of the peroneal nerve. The application of PMS to the same area and at the same intensity, but with a frequency modulation of 1–50 Hz (EG2), increased the M response amplitude and area. An increase in peripheral hemodynamics in the vessels of the lower limbs and in the strength parameters of the hip flexor and extensor muscles was revealed, along with an improvement in intermuscular coordination.

Conclusions. The application of PMS in highly qualified athletes contributes to an increase in the functional capabilities of MSS, manifested in improved parameters of neuromuscular transmission, peripheral hemodynamics, and strength capabilities.

Keywords: athletes; functional capacity; musculoskeletal system; neuromuscular system; peripheral magnetic stimulation; physiotherapy; electroneuromyography; hemodynamics; muscle strength

For citation: Koryagina Y.V., Kushnareva J.V., Nopin S.V., Abutalimova S.M., Mitin I.N. Effect of rhythmic peripheral magnetic stimulation on the functional capabilities of the musculoskeletal system of male athletes. *Extreme Medicine*. 2026;28(1):88–94. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-367>

Funding: the study was conducted in accordance with contract No. 31V/CSM/23 dated 07.07.2023, for the execution of a component of applied research work on the topic: "Development and Scientific-Experimental Substantiation of the Application of Peripheral Magnetic Stimulation in the Medical-Biological Support System of Elite Sports for the Recovery and Improvement of the Functional State of the Neuromuscular Apparatus in Athletes" (code: "Magnet-23").

Compliance with the ethical principles: the study was conducted in accordance with the ethical principles for medical research involving human subjects outlined in the 2013 Helsinki Declaration. The study was approved by the Local Ethical Committee for the Review of Biomedical Research at the North Caucasian Federal Research and Clinical Center of the FMBA of Russia (Minutes No. 2, of 30.06.2023). All participants provided written informed consent to participate in the study, as well as permission for the processing of their personal data.

Potential conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

✉ Yulia V. Koryagina nauka@skfmba.ru

Received: 4 Aug. 2025 **Revised:** 6 Oct. 2025 **Accepted:** 31 Oct. 2025 **Online first:** 17 Dec. 2025

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время магнитная стимуляция является высокоэффективным методом лечения, широко применяемым в клинической практике при терапии и реабилитации пациентов с патологией центральной и периферической нервной системы, опорно-двигательного аппарата (ОДА), урологическими заболеваниями [1–3]. В последние годы публикуется все больше работ, посвященных изучению влияния транскраниального и периферического воздействия ритмического магнитного поля на функциональное состояние органов и систем спортсменов [4, 5]. Исследования, проведенные специалистами, показали высокую эффективность применения метода периферической магнитной стимуляции (ПМС) в послеоперационном периоде для повышения силы и гипертрофии мышечной ткани у спортсменов [6]. Опубликованы данные о повышении силовых показателей мышц под воздействием курса ПМС [7, 8]. Более того, при регуляции частотных характеристик магнитного поля можно не только увеличить силовые показатели, но и потенцировать аэробные возможности мышечного аппарата спортсменов [9]. Следовательно, актуальным является научно-экспериментальное обоснование применения ПМС в системе медико-биологического обеспечения спорта высших достижений для повышения функциональных возможностей ОДА здоровых спортсменов.

Цель работы — изучение влияния ритмической ПМС на функциональные возможности ОДА у спортсменов-мужчин.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на базе реабилитационно-восстановительного центра для спортсменов сборных команд России, расположенного на территории ФГБУ «Юг Спорт» (г. Кисловодск). В исследовании приняли участие 38 спортсменов мужского пола высокой квалификации, занимающихся легкой атлетикой, бейсболом, лыжными гонками, шорт-треком, гиревым спортом, бадминтоном, средний возраст — 22 [19; 25] года. Спортсмены были разделены на три группы: основную группу 1 (ОГ1) — 15 чел., основную группу 2 (ОГ2) — 8 чел. и контрольную (КГ) — 15 чел. В ОГ1 применяли предустановленный протокол аппарата (А-1012) «Подготовка перед реабилитацией» (табл. 1). В ОГ2 применяли предустановленный протокол аппарата (А-0012) «Укрепление мышц». В КГ ПМС не применяли, все показатели изучали до и после учебно-тренировочных сборов. Критерии включения в исследование: спортсмены высокой квалификации, интенсивные тренировочные нагрузки. Критерии исключения: отказ от участия в исследовании, острые заболевания и травмы, наличие противопоказаний к ПМС (общие противопоказания к физиотерапии, артериальная гипотензия, клинически выраженные эндокринопатии (особенно гипертиреоз), беременность (первый триместр), склонность к кровотечениям, кровоточивость, наличие вживленного кардиостимулятора).

Периферическую магнитную стимуляцию проводили с помощью системы высокоинтенсивной магнитотерапии BTL-6000 Super Inductive System, вариант

исполнения — BTL-6000 Super Inductive System Elite (BTL Industries Ltd., Великобритания). Процедура проводилась в положении лежа на животе, центр аппликатора располагался на минимальном расстоянии от кожных покровов. Область стимуляции — задняя поверхность левого и правого бедра (проекция длинной головки двуглавой мышцы бедра, полуперепончатой мышцы). Интенсивность стимула подбиралась индивидуально и была выше порога моторного ответа (25–80%), количество сеансов — 8, проводились ежедневно.

До и после первого сеанса, а также после курса из 8 процедур ПМС регистрировали параметры моторных ответов с помощью стимуляционной электронейромиографии (ЭНМГ) на четырехканальном комплексе Нейро-МВП («Нейрософт», Россия), периферической гемодинамики по реовазографии (РВГ) — на реографе Валента и силовых параметров мышц бедра по динамометрии — на роботизированном комплексе CON-TREX LP «Physiomed Elektromedizin AG». При измерении использовался шаблон движений (билатеральный: разгибание/сгибание, положение сидя).

Статистическая обработка данных проводилась с помощью компьютерной программы Statistica 13.0. Рассчитывали стандартные показатели описательной статистики (медианы M_e и верхнего (Q_1) и нижнего (Q_3) квартилей). Сравнение показателей осуществляли с помощью непараметрических критериев Вилкоксона (для анализа динамики данных в зависимых группах), Данна (для оценки различий между двумя независимыми группами), критерия Краскела – Уоллиса между тремя независимыми группами.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе исследования при сравнении показателей нервно-мышечного аппарата (НМА) по данным ЭНМГ до применения ПМС у спортсменов ОГ1, ОГ2 и КГ по критерию Краскела — Уоллиса и Данна выявлены статистически значимые различия только

по показателям длительности и латентности М-ответа, которые были выше у спортсменов КГ ($p < 0,05$).

Анализ динамики показателей моторного ответа в ходе ПМС у спортсменов ОГ1 показал статистически значимое увеличение скорости моторного ответа в точке стимуляции «головка малоберцовой кости» (ГМК) справа после курса ПМС (в динамике до ПМС 49,3 [47,7; 50,5] м/с, после первого сеанса 50,3 [48,3; 51,4] м/с, после курса ПМС 50 [48,7; 52] м/с ($p < 0,03$), «подколенная ямка» слева ($p < 0,02$) и амплитуды М-ответа в точках стимуляции ГМК ($p < 0,05$) и «подколенная ямка» слева ($p < 0,03$), а также снижение латентности в точке стимуляции «предплюсна» слева ($p < 0,02$) (табл. 2). Была отмечена тенденция к увеличению площади М-ответа во всех точках стимуляции, как справа, так и слева.

Анализ результатов применения ПМС у спортсменов ОГ2 показал статистически значимое увеличение показателей амплитуды М-ответа в точках стимуляции «предплюсна» ($p < 0,03$), ГМК ($p < 0,04$) и «подколенная ямка» ($p < 0,04$) справа (рис. 1А). Также у спортсменов ОГ2 выявлено статистически значимое увеличение показателей площади М-ответа в точках стимуляции «предплюсна» ($p < 0,03$), ГМК ($p < 0,01$) и «подколенная ямка» ($p < 0,03$) справа (рис. 1Б). Аналогичные увеличения параметров амплитуды и площади М-ответов наблюдали у спортсменов ОГ2 слева во всех точках стимуляции. В КГ снижалась скорость моторного проведения в точке стимуляции «подколенная ямка» слева (до учебно-тренировочных сборов — 54 [51,2; 57,8] м/с, после — 48,1 [44,7; 52,8] м/с; $p < 0,02$).

Сравнение показателей РВГ до применения ПМС у спортсменов ОГ1, ОГ2 и КГ выявило статистически значимые различия только по показателям модуля упругости (МУ), которые были выше в КГ ($p < 0,04$). Анализ параметров гемодинамики нижних конечностей у спортсменов ОГ1 показал после первого сеанса статистически значимое повышение в сегменте «левая стопа» показателей: реографического индекса 1,4 [0,97; 1,71] усл. ед. ($p < 0,05$) по сравнению со

Таблица 1. Параметры режимов периферической магнитной стимуляции

Режимы ПМС	Группы	
	ОГ1	ОГ2
Модуляция частоты, Гц	1–150	1–50
Очередность, частота (Гц) и длительность (с) секций модуляции частоты	1. Переменная (150 Гц), 30 с 2. Без модуляции (0 Гц), 30 с 3. Без модуляции (150 Гц), 15 с 4. Переменная (1 Гц), 45 с 5. Без модуляции (150 Гц), 15 с 6. Без модуляции (1 Гц), 45 с 7. Трапециевидная (25–45 Гц), 240 с 8. Без модуляции (1 Гц), 60 с 9. Переменная (50 Гц), 30 с 10. Переменная (1 Гц), 30 с	1. Переменная (15–50 Гц) 30с 2. Без модуляции (1 Гц) 30 с 3. Трапециевидная (1–15 Гц) 120 с 4. Без модуляции (1 Гц) 60 с 5. Трапециевидная (15–30 Гц) 120 с 6. Без модуляции (1 Гц) 60 с 7. Трапециевидная (30–40 Гц) 120 с 8. Без модуляции (1 Гц) 60 с 9. Трапециевидная (40–50 Гц) 120 с 10. Без модуляции (1 Гц) 60 с
Продолжительность процедуры	10 мин на одну зону	13 мин на одну зону

Таблица подготовлена авторами по собственным данным

Примечание: ПМС — периферическая магнитная стимуляция; ОГ1 — опытная группа 1; ОГ2 — опытная группа 2.

Таблица 2. Параметры моторного ответа с короткого разгибателя пальцев стопы (малоберцовый нерв слева) у спортсменов основной группы 1 при проведении периферической магнитной стимуляции, $n = 15$

Показатели	Норма	До 1-го сеанса	Проведение ПМС	
			После 1-го сеанса	После курса
Точка стимуляции «предплюсна»				
Терминальная латентность, мс	–	3,7 [3,5; 3,9]	3,6 [3,2; 3,9]†	3,5 [3,1; 4,3]†
Амплитуда, мВ	>3	8,5 [5,2; 10,4]	7,9 [5,6; 10,1]	8,4 [7,3; 11,7]
Длительность, мс	–	5,95 [5,55; 6,35]	5,90 [5,50; 6,45]	5,82 [5,65; 6,70]
Площадь, мВ×мс	–	22,4 [15,6; 32,0]	23,1 [19,6; 27,9]	26,9 [22,8; 33,7]
Резидуальная латентность, мс	<3	2,37 [2,01; 2,57]	2,27 [1,74; 2,51]	1,99 [1,79; 2,77]**
Точка стимуляции «головка малоберцовой кости»				
Терминальная латентность, мс	–	11,0 [10,2;11,4]	10,8 [10,0; 11,1]	10,8 [9,9; 11,1]
Амплитуда, мВ	>3	7,5 [6,0; 10,4]	8,3 [5,1; 9,9]	7,9 [7,1; 11,0]*
Длительность, мс	–	6,42 [5,90; 7,10]	6,38 [6,15; 7,05]	6,45 [5,90; 6,90]
Площадь, мВ×мс	–	25,2 [19,9; 31,8]	23,8 [19,6; 32,7]	27,8 [21,5; 33,6]
Скорость, м/с	>40	48,8 [46,7; 50,7]	50,0 [48,3; 51,7]	49,6 [47,7; 51,3]
Точка стимуляции «подколенная ямка»				
Терминальная латентность, мс	–	12,8 [12,5; 13,5]	12,7 [12,0; 13,2]*	12,7 [11,9; 12,9]
Амплитуда, мВ	>3	7,9 [6,2; 10,4]	8,0 [5,8; 10,2]	8,4 [7,0; 11,8]**
Длительность, мс	–	6,70 [5,83; 7,11]	6,45 [5,97; 7,40]	6,50 [5,86; 7,57]
Площадь, мВ×мс	–	27,7 [19,5; 33,7]	24,5 [19,2; 32,5]	28,6 [22,4; 37,5]
Скорость, м/с	>40	51,4 [48,3; 55,6]	52,6 [48,8; 55,6]	56,4 [51,2; 58,9]**

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание: ОГ1 — опытная группа 1; ПМС — периферическая магнитная стимуляция; данные представлены в виде медианы и верхнего и нижнего квартилей $M_0 [Q_1; Q_3]$; n — количество спортсменов в группе; p — статистически значимые различия от показателя до 1-го сеанса; * — $p < 0,05$; † — $p < 0,03$; ** — $p < 0,02$; «—» — данные отсутствуют.

значениями до ПМС — 1,13 [0,93; 1,29] усл. ед. и после курса ПМС — 1,32 [1,07; 1,49] усл. ед., времени распространения реографических волн (до — 0,3 [0,28; 0,3] с; после первого сеанса — 0,32 [0,3; 0,32] с, $p < 0,006$; после курса — 0,3 [0,29; 0,31] с).

В сегменте «стопа правая» увеличивалось время максимального систолического наполнения сосудов (до — 0,13 [0,115; 0,142] с; после первого сеанса — 0,142 [0,132; 0,154] с, $p < 0,05$; после курса — 0,119 [0,107; 0,150] с).

В сегменте «голень левая» после первого сеанса увеличивалось время распространения реографических волн до уровня 0,28 [0,26; 0,29] с ($p < 0,05$) на фоне значений до воздействия ПМС 0,27 [0,26; 0,28] с и после курса терапии 0,27 [0,26; 0,29] с.

В сегменте «голень правая» как после первого сеанса, так и после всего курса был выше диастолический индекс (до — 0,43 [0,31; 0,46] усл. ед.; после первого сеанса — 0,52 [0,44; 0,61] усл. ед., $p < 0,04$; после курса — 0,50 [0,36; 0,59] усл. ед., $p < 0,04$). После всего курса ПМС в 3 раза снижался коэффициент асимметрии кровообра-

ка в стопах (до — 34 [12; 56]; после первого сеанса — 13 [7; 27]; после курса — 11 [4; 24], $p < 0,03$). У спортсменов КГ статистически значимо снизился диастолический индекс в сегментах «стопа слева» (до учебно-тренировочных сборов — 0,47 [0,39; 0,53] усл. ед. и после — 0,38 [0,32; 0,44] усл. ед., $p < 0,02$) и «стопа справа» (до учебно-тренировочных сборов — 0,46 [0,41; 0,56] усл. ед. и после — 0,38 [0,36; 0,45] усл. ед., $p < 0,05$).

Сравнение показателей динамометрии у спортсменов ОГ1 и КГ до применения ПМС статистически значимых различий не выявило. Анализ динамики силы мышц бедра у мужчин ОГ1 показал после прохождения всего курса статистически значимое повышение показателей силы мышц-разгибателей и сгибателей бедра. В частности, для мышц-разгибателей увеличились показатели максимального крутящего момента силы (до — 1475 [1277; 1714] Н; после первого сеанса — 1442,5 [1034; 1629] Н; после курса — 1610 [1277; 2018] Н, $p < 0,05$) и среднего значения максимального крутящего момента силы, разделенного на вес тела испытуемого (до — 14,45 [12,40; 20,52] Н;

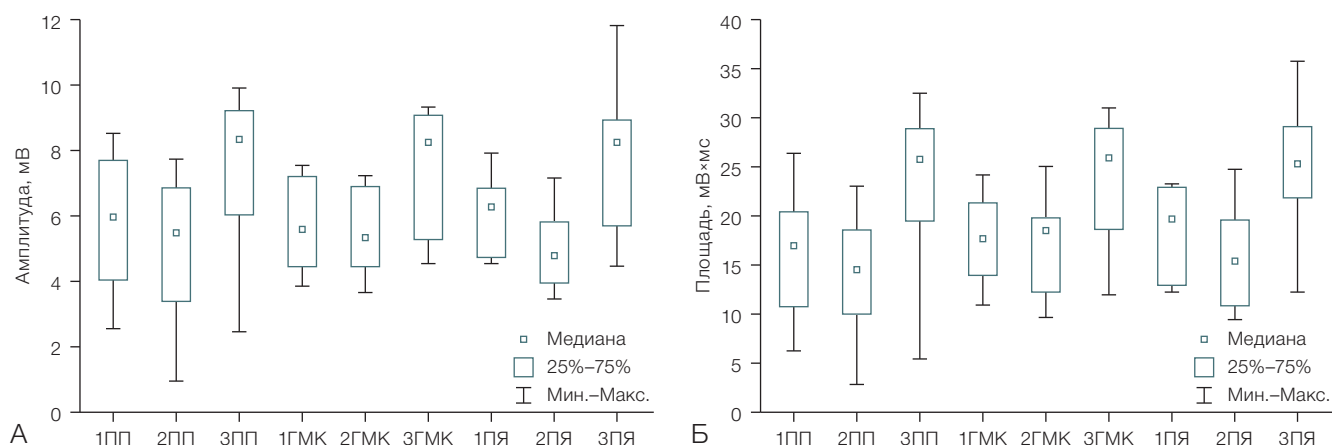


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 1. Динамика показателей амплитуды (А) и площади (Б) М-ответа в точках стимуляции «предплюсна», «головка малоберцовой кости» и «подколенная ямка» (малоберцовый нерв) у спортсменов опытной группы 2 при проведении периферической магнитной стимуляции, $n = 8$: n — количество спортсменов в группе; ПП — предплюсна; ГМК — головка малоберцовой кости; ПЯ — подколенная ямка; 1 — до первого сеанса; 2 — после первого сеанса; 3 — после курса периферической магнитной стимуляции

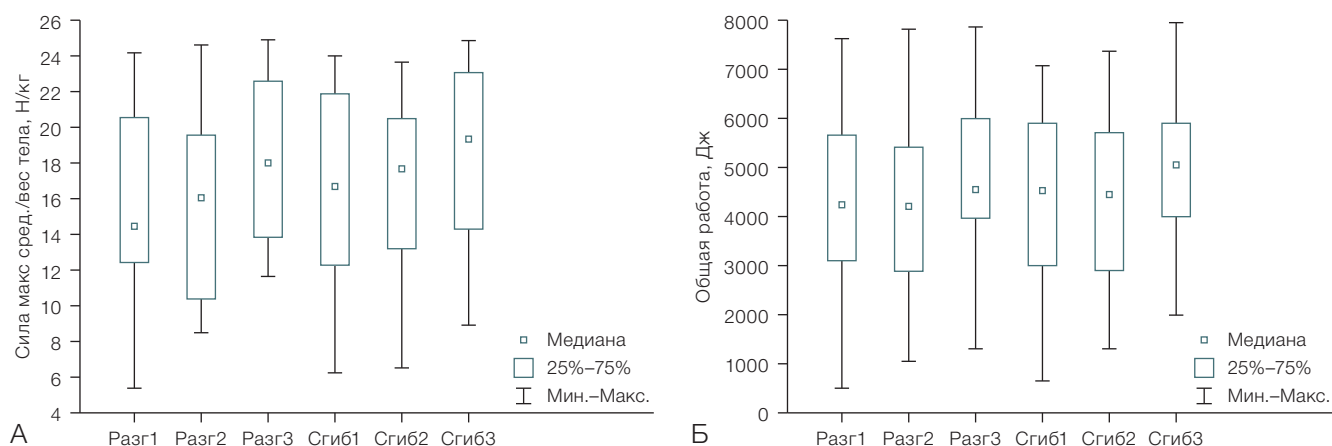


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 2. Динамика показателей среднего значения максимального крутящего момента силы, разделенного на вес тела (А), и общей работы за цикл движения (Б) у спортсменов опытной группы 1, $n = 15$: n — количество спортсменов в группе; разг — мышцы-разгибатели; сгиб — мышцы-сгибатели; 1 — до первого сеанса; 2 — после первого сеанса; 3 — после курса периферической магнитной стимуляции

после первого сеанса — 16,01 [10,39; 19,53] Н; после курса — 17,97 [13,84; 22,56] Н, $p < 0,03$ (рис. 2А).

Для мышц-сгибателей статистически значимо увеличились показатели среднего значения максимальной мощности в каждом цикле движения до ПМС на уровне 128,3 [91,0; 163,0] Н; после первого сеанса — 116,2 [83,2; 170,9] Н; после курса — 140,1 [117,1; 175,5] Н, $p < 0,04$, средней работы, выполненной за цикл в каждом направлении движения, разделенной на вес тела испытуемого, до ПМС 226,0 [150,5; 293,0] Н; после первого сеанса — 221,95 [144,7; 284,3] Н; после курса — 252,2 [199,6; 294,2] Н, $p < 0,05$, общей работы за цикл движения (до — 4519,1 [3010,4; 5860,6] Н; после первого сеанса — 4438,7 [2894,6; 5686,2] Н; после курса — 5044,5 [3992,8; 5883,6] Н, $p < 0,05$) (рис. 2Б). Также после сеанса и курса ПМС у спортсменов ОГ1 отмечали оптимизацию силы мышц-разгибателей и сгибателей, что проявлялось в снижении соотношения данного

показателя (до — 109,6 [101,0; 123,6]%; после первого сеанса — 105,15 [94,6; 107,7]%, $p < 0,05$; после курса — 103,5 [99,3; 112,2]%, $p < 0,04$). Анализ показателей динамики мышц бедра у спортсменов КГ не выявил статистически значимых различий.

ОБСУЖДЕНИЕ

В научной литературе широко описано применение ПМС в клинической практике при лечении миофасциального болевого синдрома и других заболеваний ОДА, а также пациентов с периферической нейропатической болью, острой и хронической болью в спине, постинсультной спастичностью, парезами, плегиями и дисфагиями [10–14]. Применение ритмической ПМС в спортивной практике наиболее часто встречается в работах, посвященных изучению методов повышения работоспособности спортсменов. Так, применение

ритмической ПМС у спортсменов во время выполнения упражнений в изокинетическом режиме позволило выявить повышение аэробных возможностей мышц за счет увеличения потребления кислорода при достижении порогов аэробного и анаэробного обмена. Было отмечено повышение силовых показателей исследуемых мышц без прироста мышечной массы [9].

Как показали результаты наших исследований, применение курса из 8 процедур ПМС на область задней поверхности левого и правого бедра с интенсивностью выше порога моторного ответа (25–80%) и модуляцией частоты 1–150 Гц способствовало снижению показателей латентности и увеличению параметров скорости моторного проведения, амплитуды и площади М-ответов при стимуляции малоберцового нерва. Применение курса ПМС на ту же область и с той же интенсивностью с модуляцией частоты 1–50 Гц способствовало увеличению показателей амплитуды и площади М-ответов. Эти изменения свидетельствовали о достижении потенциально больших возможностей НМА по активации и синхронизации двигательных единиц, улучшению механизмов внутримышечной координации, что способствовало большему проявлению силовых способностей. И, как показало динамометрическое исследование, у спортсменов значительно увеличились все изучаемые параметры силы мышц-сгибателей и разгибателей бедра, а также улучшилась межмышечная координация их работы.

Полученные результаты дополняют ранее опубликованные данные, показывающие, что применение 10 сеансов ПМС на область икроножной мышцы на фоне ее произвольного сокращения у здоровых мужчин способствовало большему приросту максимального крутящего момента силы мышц и повышению амплитуды Н-рефлекса [15]. Авторы полагают, что одним из механизмов повышения силовых показателей

является увеличение рефлекторной возбудимости соответствующего мотонейронного пула спинного мозга. Зафиксированные более высокие параметры силы являются результатом дополнительной активации высокопороговых (быстрых) двигательных единиц [15–17].

В настоящее время в качестве одного из механизмов увеличения мышечной силы ученые отмечают усиление кровообращения в микроциркуляторном звене мышечной ткани, что создает наиболее благоприятные условия для изменения концентрации ионов калия, натрия и кальция на полупроницаемых мембранах клеток, что способствует процессам деполяризации и возникновения потенциала действия [16]. Как показали результаты наших исследований, применение ПМС влияло на усиление кровотока у спортсменов. В целом анализ научных источников позволяет предположить, что применяемые параметры модуляции и частоты ПМС способствуют активации специфических физиологических процессов, таких как усиление метаболических реакций, модуляция нейропластичности и улучшение клеточной проницаемости, что в совокупности улучшает функциональное состояние ОДА спортсменов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение влияния ритмической ПМС на функциональные возможности ОДА спортсменов-мужчин показало, что ее применение с заданными параметрами модуляции и частоты способствует статистически значимым улучшениям параметров нервно-мышечной передачи, периферической гемодинамики и силовых возможностей. Следовательно, данный метод можно рекомендовать в медико-биологическом обеспечении спортсменов для улучшения функционального состояния ОДА и повышения их силовых возможностей.

Литература / References

1. Помыткин АН, Лебедева ИС, Тихонов ДВ, Каледа ВГ. Ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция в терапии резистентных депрессий при шизофрении. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2021;121(5–2):99–105.
Pomytkin AN, Lebedeva IS, Tikhonov DV, Kaleda VG. Rhythmic transcranial magnetic stimulation in the treatment of resistant depression in schizophrenia. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2021;121(5–2):99–105 (In Russ.).
<https://doi.org/10.17116/jnevro202112105299>
2. Новикова ЕС, Розанов ИД. Радиотерапия малыми дозами хронического болевого синдрома при специфических и неспецифических заболеваниях опорно-двигательного аппарата. *Медицинский алфавит*. 2019;1(2):58.
Novikova ES, Rozanov ID. Low-dose radiotherapy for chronic pain syndrome in specific and non-specific diseases of the musculoskeletal system. *Medical Alphabet*. 2019;1(2):58 (In Russ.).
EDN: [VWLIRU](https://vwlir.ru)
3. Пушкарь ДЮ, Куликов АГ, Касян ГР, Куприянов ЮА, Ромих ВВ, Захарченко АВ и др. Экстракорпоральная магнитная стимуляция нервно-мышечного аппарата тазового дна в урологической практике. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2019;18(4):264–76.
Pushkar DY, Kulikov AG, Kasyan GR, Kupriyanov YA, Romikh VV, Zakharchenko AV, et al. Extracorporeal magnetic stimulation of the pelvic floor neuromuscular system in urological practice. *Russian Journal of Physiotherapy, Balneology and Rehabilitation*. 2019;18(4):264–76 (In Russ.).
<https://doi.org/10.17816/1681-3456-2019-18-4-264-276>
4. Пospelova МЛ, Касумова АА, Фионик ОВ, Алексеева ТМ, Самочерных КА, Красникова ВВ. Возможности применения метода транскраниальной магнитной стимуляции в лечении хронических болевых синдромов. *Современные проблемы науки и образования*. 2021;2:195.
Pospelova ML, Kasumova AA, Fionik OV, Alekseeva TM, Samochernykh KA, Krasnikova VV. Possibilities of using the transcranial magnetic stimulation method in the treatment of chronic pain syndromes. *Modern Problems of Science and Education*. 2021;2:195 (In Russ.).
<https://doi.org/10.17513/spno.30631>
5. Куташов ВА, Ульянова ОВ. Применение транскраниальной магнитной стимуляции при комплексном лечении пациентов с ишемическим инсультом в позднем восстановительном периоде с лечебно-реабилитационных позиций. *Вестник физиотерапии и курортологии*. 2018;24(3):73–80.
Kutashov VA, Ul'yanova OV. Application of transcranial magnetic stimulation with in complex treatment of patients with ischemic stroke in the late recovery period from medical rehabilitation positions. *Herald of Physiotherapy and Health Resort Therapy*. 2018;24(3):73–80 (In Russ.).
6. Abulhasan JF, Rumble YL, Morgan ER, Slatter WH, Grey MJ. Peripheral electrical and magnetic stimulation to augment resistance training. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2016;1(3):328–42.
<https://doi.org/10.3390/jfmk1030328>

7. Городничев РМ, Беляев АГ, Пивоварова ЕА, Шляхтов ВН. Влияние электромагнитной стимуляции на показатели мышечной силы. *Физиология человека*. 2014;40(1):76. Gorodnichev RM, Belyaev AG, Pivovarova EA, Shlyakhtov VN. The effect of electromagnetic stimulation on muscle strength indices. *Human Physiology*. 2014;40(1):76 (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/s013116461304005x>
8. Jia Y, Liu X, Wei J, Li D, Wang C, Wang X, et al. Modulation of the corticomotor excitability by repetitive peripheral magnetic stimulation on the median nerve in healthy subjects. *Frontiers in Neural Circuits*. 2021;15:616084. <https://doi.org/10.3389/fncir.2021.616084>
9. Попов ГИ, Малхасян ЭА, Маркарян ВС, Калинин ЕМ, Селуянов ВН. Влияние магнитной стимуляции на аэробные возможности мышц. *Вестник Московского университета. Серия 23. Антропология*. 2013;2:106–13. Popov GI, Malkhasyan EA, Markaryan VS, Kalinin EM, Seluyanov VN. Influence of rhythmical magnetic stimulation as a way of increase in aerobic possibilities of muscles. *Lomonosov Journal of Anthropol.* 2013;2:106–13 (In Russ.). EDN: QZDRGH
10. Меркулов ЮА, Гореликов АЕ, Пятков АА, Меркулова ДМ. Ритмическая трансспинальная магнитная стимуляция в терапии хронической боли в нижней части спины. Метаанализ (Часть II). *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2021;65(4):97–108. Merkulov YA, Gorelikov AE, Pyatkov AA, Merkulova DM. Repetitive transspinal magnetic stimulation in the treatment of chronic low back pain. A meta-analysis (Part II). *Pathological Physiology and Experimental Therapy*. 2021;65(4):97–108 (In Russ.). <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2021.04.97-108>
11. Блохина ВН, Кузнецов АН, Виноградов ОИ, Войтенков ВБ, Меликян ЭГ, Николаев СГ. Сравнительный анализ возбудимости корешковой и внутримышечной аксональной систем у здоровых добровольцев при периферической магнитной стимуляции. *Нервно-мышечные болезни*. 2017;7(2):48–53. Blokhina VN, Kuznetsov AN, Vinogradov OI, Voytenkov VB, Melikyan EG, Nikolayev SG. Comparative analysis of excitability of radicular and intramuscular axonal systems in healthy volunteers during peripheral magnetic stimulation. *Neuromuscular Diseases*. 2017;7(2):48–53 (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2017-7-2-48-53>
12. Аношина ЕА, Михайленко АА, Самарцев ИН, Живолупов СА. Анализ эффективности анальгезирующего действия физиотерапевтических и интервенционных методов лечения ряда наиболее часто встречаемых болевых синдромов в неврологической практике. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2019;S3:16–8. Anoshina EA, Mikhaylenko AA, Samartsev IN, Zhivolupov SA. Analysis of the effectiveness of analgesics effects of physiotherapeutics and interventional treatment methods for a number of the most common pain syndromes in neurological practice. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2019;S3:16–8 (In Russ.).
13. Живолупов СА, Самарцев ИН, Коваленко АП. Медицинская реабилитация при заболеваниях и травмах нервной системы. *Victims in Emergency Situations*. Нью-Йорк: Xlibris LLC; 2014. Zhivolupov SA, Samartsev IN, Kovalenko AP. Medical rehabilitation in diseases and injuries of the nervous system. *Victims in Emergency Situations*. New York: Xlibris LLC; 2014 (In Russ.).
14. Гореликов АЕ, Мельникова ЕА, Рудь ИМ. Магнитная стимуляция в лечении и реабилитации больных с заболеваниями нервной системы и позвоночника. *Доктор.Ру*. 2017;11(140):46–50. Gorelikov AE, Melnikova EA, Rud IM. Magnetic Stimulation in the Treatment and Rehabilitation of Patients with Nervous System and Spinal Disorders. *Doctor.Ru*. 2017;11(140):46–50 (In Russ.).
15. Городничев РМ, Беляев АГ, Пивоварова ЕА, Шляхтов ВН. Влияние электромагнитной стимуляции на показатели мышечной силы. *Физиология человека*. 2014;40(1):76. Gorodnichev RM, Belyaev AG, Pivovarova EA, Shlyakhtov VN. The effect of electromagnetic stimulation on the parameters of muscular strength. *Human Physiology*. 2014;40(1):76 (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S013116461304005X>
16. Kamo T, Wada Y, Okamura M, Sakai K, Momosaki R, Taito S. Repetitive peripheral magnetic stimulation for impairment and disability in people after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2022;9(9):CD011968. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011968.pub4>
17. Fujimura K, Kagaya H, Endou C, Ishihara A, Nishigaya K, Muroguchi K, et al. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on shoulder subluxations caused by stroke: A preliminary study. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*. 2020;23(6):847–51. <https://doi.org/10.1111/ner.13064>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: Ю.В. Корягина — контроль в процессе планирования и проведения исследования, анализ черновика рукописи, внесение замечаний и исправлений, критический анализ работы на предмет научной новизны; Ю.В. Кушнарева — сбор экспериментальных данных применения ПМС у спортсменов и составление исходных таблиц; С.В. Нопин — интерпретация данных, дизайн исследования, окончательное утверждение версии для публикации; С.М. Абуталимова — подготовка черновика рукописи; И.Н. Митин — сбор экспериментальных данных применения ПМС у спортсменов.

ОБ АВТОРАХ

Корягина Юлия Владиславовна, д-р биол. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0001-5468-0636>
nauka@skfmba.ru

Кушнарева Юлия Валериевна, канд. биол. наук
<https://orcid.org/0000-0002-7343-4622>
juli_83-83@mail.ru

Нопин Сергей Викторович, д-р биол. наук
<https://orcid.org/0000-0001-9406-4504>
work800@yandex.ru

Абуталимова Сабина Маликовна, канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0003-1722-0774>
sabina190989@yandex.ru

Митин Игорь Николаевич, канд. мед. наук
<https://orcid.org/0000-0002-2168-921X>
pino4t@list.ru