

Обзоры

© Коллектив авторов, 2021

УДК 616-092

Меркулов Ю.А.¹, Гореликов А.Е.², Пятков А.А.², Меркулова Д.М.³

Ритмическая трансспинальная магнитная стимуляция в терапии хронической боли в нижней части спины. Метаанализ (Часть II)

¹ФГБНУ «НИИ общей патологии и патофизиологии»,

125315, Москва, Балтийская ул., д. 8, Россия;

²ГАУЗ «МНПЦ медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины» Департамента здравоохранения г. Москвы, 105120, Москва, Россия, Земляной вал, д. 53;

³ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет),

119991, Москва, Трубецкая ул., д. 8, Россия

Цель обзора – анализ результатов исследований эффективности ритмической транскраниальной и трансспинальной магнитной стимуляции (рТМС и рТсМС) в лечении боли в пояснице. Хроническая боль в нижней части спины (ХБНЧС) преобладает над другими видами боли и, выходя за нозологические рамки болезней опорно-двигательного аппарата, поражает около 80-84% населения в течение жизни. Нейропластичность, лежащая в основе патогенеза ХБНЧС, управляется стимулами, которые могут быть опосредованы процессами, происходящими как «сверху вниз», от вышележащих к ниже-расположенным иерархическим структурам нервной системы, так и «снизу вверх», – от периферических к центральным. Это находит отражение в повышенном интересе профессионального сообщества регенеративной медицины к применению высокотехнологических методов нейромодуляции ритмическими электромагнитными импульсами при ХБНЧС. Во второй части обзора представлен метаанализ накопленных к моменту его публикации литературных данных. Он дополняет опубликованную ранее информацию о том, что и рТМС, и рТсМС относятся к перспективным патогенетическим терапевтическим методам для пациентов с ХБНЧС, основываясь на экспериментальных и клинических эффектах положительного влияния на искаженную сенсорную передачу, изменение проприоцепции, управление движением и психологическую модуляцию. Обе методики зарекомендовали себя в кратковременном облегчении хронической дорсалгии, в то время как долгосрочные последствия рТсМС (>1 месяца) должны быть исследованы далее. Различные факторы, связанные с унификацией пока еще разнородных протоколов стимуляции, включая форму подачи импульсов, частоту, место приложения, регулярность и продолжительность лечения, могут улучшить дальнейшую надлежащую трактовку ее результатов. Очевидная по мнению авторов настоящего обзора, но до настоящего времени не описанная в литературе комбинация рТМС и рТсМС при ХБНЧС, могла бы повлиять на процессы управления болью при изучаемой патологии в большей степени, чем каждая из них по отдельности.

Ключевые слова: хроническая боль в нижней части спины; ритмическая трансспинальная магнитная стимуляция; нейропластичность; метаанализ

Для цитирования: Меркулов Ю.А., Гореликов А.Е., Пятков А.А., Меркулова Д.М. 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.

DOI: 10.25557/0031-2991.2021.04.97-108

Для корреспонденции: Меркулов Юрий Александрович, e-mail: 4181220@gmail.com

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Меркулов Ю.А.; сбор материала – Меркулов Ю.А., Гореликов А.Е., Пятков А.А.; анализ и интерпретация данных – Меркулов Ю.А., Меркулова Д.М.; статистическая обработка данных, подготовка иллюстративного материала, написание текста – Меркулов Ю.А., редактирование текста – Меркулова Д.М. Обсуждение окончательной версии статьи – все авторы.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 28.05.2021

Принята к печати 02.11.2021

Опубликована 20.12.2021

Merkulov Y.A.¹, Gorelikov A.E.², Pyatkov A.A.², Merkulova D.M.³

Repetitive transspinal magnetic stimulation in the treatment of chronic low back pain. A meta-analysis (Part II)

¹Scientific Research Institute of General Pathology and Pathophysiology,
8 Baltiyskaya Str., 125315 Moscow, Russian Federation;

²Moscow Centre for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine,
53 Zemlyanoy val, 105120 Moscow, Russian Federation;

³I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Healthcare
of the Trubetskaya ul., 119991 Moscow, Russian Federation

The aim of this review was to analyze results of studies on the effectiveness of repetitive transcranial and transspinal magnetic stimulation (rTMS and rTsMS) in the treatment of low back pain. Chronic low back pain (CLBP) is prevalent over other types of pain and, beyond the nosological scope of musculoskeletal diseases, affects about 80-84% of the population in a lifetime. Neuroplasticity underlying the pathogenesis of CLBP is driven by stimuli, and stimuli can be mediated by processes from «top to bottom», i.e. from the overlying to the underlying hierarchical structures of the nervous system, and vice versa, i.e. from peripheral to the central. This is reflected in the increased interest of the professional community of regenerative medicine in implementing high-tech methods of neuromodulation by repetitive electromagnetic pulses in CLBP. In this *second part* of the review, we present a meta-analysis of the literature data accumulated by the time of its publication. It completes our previously published information stating that both rTMS and rTsMS are viable pathogenetic therapeutic modalities for patients with CLBP, based on experimental and clinical positive effects on impaired sensory transmission, changes in proprioception, motor control, and psychological modulation. Both methods have proven successful in providing short-term relief for chronic dorsalgia, while the long-term effects of rTsMS (>1 month) require further investigation. Various factors associated with the unification of the still heterogeneous stimulation protocols, including pulse delivery form, frequency, application location, periodicity and treatment duration, may further improve proper result interpretation. The combination of rTMS and rTsMS in CLBP, which is evident to the authors of this review but has not been described in the literature yet, could have more impact on the pain management processes of the investigated pathology than each of them separately.

Keywords: chronic lower back pain; repetitive transspinal magnetic stimulation; neuroplasticity; meta-analysis

For citation: Merkulov Y.A., Gorelikov A.E., Pyatkov A.A., Merkulova D.M. Repetitive transspinal magnetic stimulation in the treatment of chronic low back pain. A meta-analysis (Part II). *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimental'naya terapiya. (Pathological Physiology and Experimental Therapy, Russian Journal)*. 2021; 65(4): 97-108. (in Russian).

DOI: 10.25557/0031-2991.2021.04.97-108

For correspondence: Yuri A. Merkulov, Doctor of Medical Sciences, Principal researcher, Scientific Research Institute of General Pathology and Pathophysiology; 8 Baltiyskaya Str., Moscow, 125315, Russian Federation, e-mail: 4181220@gmail.com

Contribution: research concept and design - Merkulov Y.A.; material collecting - Merkulov Y.A., Gorelikov A.E., Pyatkov A.A.; illustrative material, statistical data processing, data analysis and interpretation, text writing – Merkulov Y.A.; text editig -- Merkulova D.M.; Approval of the final version of the article – all co-authors.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Information about the authors:

Merkulov Y.A. <https://orcid.org/0000-0001-7684-9834>

Gorelikov A.E. <https://orcid.org/0000-0003-4276-0190>

Pyatkov A.A. <https://orcid.org/0000-0001-7464-5205>

Merkulova D.M. <https://orcid.org/0000-0003-0368-683X>

Received 28.05.2021

Accepted 02.11.2021

Published 20.12.2021

Введение

Боль в нижней части спины, острая или хроническая, преобладает над другими видами боли [1] и, выходя за нозологические рамки болезней опорно-двигательного аппарата (ОДА), поражает около 80-84% населения хотя бы раз в жизни [2-4]. По предварительной оценке примерно 25% людей после первоначального

эпизода дорсалгии периодически испытывают обострения, в то время как у 7-10% она переходит в хроническое состояние [5] и определяет развитие выраженных физических, психологических и социальных последствий, влияющих на их долговременную работоспособность и качество жизни [6]. Хроническая боль в пояснице составляет 22% от всех случаев хро-

нической боли и 35% от рефрактерных болевых синдромов [1]. Классификация болей в пояснице осложняется изменчивостью проявлений и сложностью патогенеза [4]. Наиболее распространенная диффузная боль без иррадиации за пределы ягодич классифицируется как неспецифическая боль в пояснице и проявляется у 60% всех страдающих хронической дорсалгией [7]. По данным H. Snekkevik и соавт. [8], 70% таких пациентов предъявляют жалобы на повышенную утомляемость и 18% дополнительно страдают от депрессии. По данным Alsaadi S.M. с соавт. [9], 59% пациентов с хронической болью в нижней части спины (ХБНЧС) испытывают трудности со сном. Результаты проведенных клинико-эпидемиологических исследований свидетельствуют, что нейропатический компонент в структуре ХБНЧС варьирует от 2,8% в китайской популяции [10], 15,8% в Великобритании [11], 35% в России [12] и до 49,5% и 54,7% – в Африке и Саудовской Аравии [13-14].

Базовое лечение неспецифических болей в пояснице является консервативным, и включает назначение неопиоидных анальгетиков, нестероидных противовоспалительных средств, физиотерапию, динамические укрепляющие упражнения, термотерапию и, при необходимости, короткий курс миорелаксантов [3]. Кроме того, консервативные методы включают в себя тракционную терапию, мануальную терапию и чрескожную электрическую нейростимуляцию (ЧЭНС) [4].

Распространенными назначениями при лечении хронической боли являются опиоиды. Использование этой группы препаратов противоречиво в связи с рисками сильной зависимости и злоупотреблениями [3, 15-16]. Считается, что хроническое употребление опиоидов наносит вред здоровью людей с ХБНЧС, потому что они могут обострить депрессию, что, в свою очередь, приводит к усилению боли [3]. Следовательно, использования опиоидных препаратов при хронической «нераковой» боли следует избегать [16].

Наряду с освещенным в первой части систематического обзора [17], положительным влиянием ритмической транскраниальной магнитной стимуляции (рТМС) на механизмы пластичности в центральной нервной системе (ЦНС) за счет непосредственного воздействия на мозговые структуры (центральная стимуляция, реализующаяся по нисходящим механизмам коркового торможения) [18], аналогичная неинвазивная и безболезненная нейромодуляция при ХБНЧС может достигаться опосредованно путем стимуляции области поясницы по принципу «снизу вверх». Данный путь активации восстановительных процессов пла-

стичности ЦНС должен способствовать уменьшению боли, улучшению сенсорной интеграции и нормализации сенсомоторного контроля осанки и движения, которые взаимосвязаны в управлении ХБНЧС [19]. Такие эффекты могут быть потенцированы посредством использования другой разновидности высокоинтенсивной импульсной магнитотерапии (ВИМТ): периферической, функциональной или (применительно к мишени стимуляции) транспинальной магнитной стимуляции (ТсМС – для наглядности различия с аббревиатурой ТМС). Патогенетическое обоснование применения ТсМС базируется на основополагающих физиотерапевтических принципах индуцирования электрических полей и токов значительной величины, обладающих полимодальным терапевтическим воздействием в глубине подлежащих тканей (преимущественно в нервной и мышечной) без их повреждения [20]. Исследования на здоровых людях показали, что соматосенсорный входной сигнал от стимуляции периферических нервов и мышц приводит к функциональным изменениям возбудимости и корковых мотонейронов. В 2000 г. M. Ridding и соавт. [21] продемонстрировали, что длительная периферическая стимуляция может вызывать продолжительное увеличение возбудимости мотонейронов коры головного мозга, связанных со стимулируемыми участками тела. Значимость содружественной активации соматосенсорных афферентов и внутрикоровых моторных волокон была объективизирована с помощью низкочастотной стимуляции срединного нерва в паре с ТМС. Если воздействия таких стимулов синхронизируются на уровне моторной коры, это приводит к стойкому увеличению амплитуды моторных вызванных потенциалов (МВП) скелетных мышц [22]. Последующие экспериментальные и клинические исследования в нормальных условиях и условиях патологии подтвердили, что проприоцептивный поток сигналов, посылаемых ритмической ТсМС (рТсМС) вызывает эффект кондиционирования на различных уровнях сенсомоторной и когнитивной систем [23]. Кроме обезболивающего эффекта рТсМС за счет блокады передачи болевых импульсов в ЦНС, были описаны противоотечный, противовоспалительный, миостимулирующий и стимулирующий процессы регенерации эффекты [24]. Начало успешного применения ВИМТ при заболеваниях ОДА в отечественной восстановительной медицине было положено в классических работах И.М. Митбрейта и соавт., отмечавших, что применение магнитотерапии при остеохондрозе позвоночника, деформирующем артрозе суставов позволяет получить противоотечный, обезболивающий эффект, увеличение объема движений в суставах в бо-

лее ранние сроки обострения заболеваний и задержать дальнейшее развитие дегенеративно-дистрофического процесса [25].

Из вышеизложенного следует, что академический и практический интерес к проблемам боли, в том числе боли в спине и ее нейропатическому варианту в частности, равно как и ее немедикаментозной терапии посредством высокотехнологичных методов нейромодуляции ритмическими электромагнитными импульсами, поддерживается в профессиональном сообществе регенеративной медицины на высоком уровне. Это закономерно выражается в регулярной публикации обобщающих обзорных материалов по данным вопросам в медицинской печати. Один из недавних на момент набора этого текста отечественных критических анализов, посвященных магнитной стимуляции в лечении и реабилитации больных с заболеваниями нервной системы и позвоночника был опубликован в 2018 г. А.Е. Гореликовым и соавт. [26]. Обзор более специфической направленности по использованию ТМС в диагностике и терапии болевых синдромов у детей и взрослых – в 2019 г. В.Б. Войтенковым и соавт [27]. О накопленных к 2016 г. данных по применению рТсМС можно узнать из фундаментальной работы Блохиной В.Н. и соавт. [28]. Вместе с тем, насколько представлялось известным, отсутствовали работы, систематизирующие применение рТМС, рТсМС либо их комбинации у пациентов с ХБНЧС. Несмотря на то, что в зарубежной литературе в 2020 г. вышел систематический обзор S. Yang, M.C. Chang по оценке эффективности рТМС в управлении болью [29], ситуация с более специфической направленностью литературных данных в целом выглядела идентично.

Цель обзора – анализ результатов исследований, направленных на изучение эффективности рТМС и рТсМС в терапии ХБНЧС.

Методика

Нами проведен поиск в базах данных MEDLINE (PubMed.gov) и РИНЦ (elibrary.ru) опубликованных до июня 2020 г статей, в которых авторы использовали метод ритмической магнитной стимуляции для лечения и реабилитации пациентов с хроническим болевым синдромом в спине. Ключевые фразы поиска для выявления потенциально релевантных статей в MEDLINE были: [(rtms OR rpms) OR (repetitive magnetic stimulation)] AND (low back pain); в базе РИНЦ: [(ртмс) OR (рпмс) OR (ритмическая магнитная стимуляция)] AND (боль в спине). Кроме того, с учетом предварительного знакомства с одноименной статьей Р.В. Lee и соавт. [30], был проведен дополнительный поиск

в MEDLINE по фразам: ((pemt) OR (pulsed electromagnetic therapy)) AND (low back pain) и РИНЦ: (импульсная магнитотерапия) AND (боль в спине). Основанием для дополнительного расширения поискового запроса послужило описание метода импульсной магнитотерапии в работе Р.В. Lee и соавт. [30], где применялась ВИМТ с магнитной индукцией до 2,1 Тл, а использованный аппарат CR-3000 System (CR Technology Co., Kyungki-do, Korea) конструктивно не отличался от приборов для ритмической магнитной стимуляции, однако без специфической идентификации.

При выборе статей были применены следующие критерии включения: (1) пациенты с ХБНЧС, (2) методы ритмической магнитной стимуляции были применены для лечения и/или реабилитации этих пациентов, и (3) после воздействия ритмической магнитной стимуляцией были проведены контрольные исследования для оценки степени снижения боли. Следующие типы исследований были исключены: (1) обзоры, (2) исследования на животных, (3) диссертации и авторефераты диссертаций, а также (4) тезисы и/или доклады конференций.

Статистическую обработку полученных материалов проводили в программе Jamovi V 1.2.18.0 (jamovi.org) с помощью модуля MAJOR (Meta-Analysis for Jamovi) по исходам, основанным на непрерывных данных – оценке боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) между основной группой, получавшей тот или иной вид ритмической магнитной стимуляции, и контрольной группой, получавшей имитационную магнитную стимуляцию (ИМС) – с использованием модели случайных эффектов, метода ограниченного максимального правдоподобия, стандартизованной разности средних и 95% доверительного интервала (ДИ). Оценка статистической неоднородности исследований проводилась по показателю I^2 и Q-тесту.

Результаты

По результатам поиска было выявлено 170 потенциально релевантных статей. Из них 64 и 77 публикаций отобраны по исходным ключевым фразам в базах MEDLINE и РИНЦ, соответственно. При помощи дополнительных фраз поиска найдено 25 публикаций в базе данных MEDLINE и 4 – в РИНЦ. Названия и аннотации всех отобранных работ были проверены на соответствие требованиям. Затем были получены полнотекстовые статьи для оценки приемлемости исследований, и в итоге в обзор было включено в общей сложности 14 публикаций [17]. Эти публикации состояли из нерандомизированных, наблюдательных и РКИ с параллельным или перекрестным дизайном.

Характеристики исследований, изучавших воздействие рТсМС, обобщены в **таблице**.

Обсуждение

Параллельно с нейростимулирующим эффектом рТМС, дополнительный – миостимулирующий эффект ВИМТ при ХБНЧС может быть реализован посредством применения методики рТсМС. В его основе лежит способность индуцированных токов вызывать сокращение мышц (скелетных и гладких). При этом возбуждаются почти все волокна, расположенные как на поверхности, так и в глубине иннервирующих их нервов, в то время как при электрической стимуляции возбуждению подвергаются главным образом поверхностно расположенные толстые миелинизированные нервные волокна [20]. Исходя из механизмов формирования болевого синдрома, основным принципом его купирования, в том числе и магнитными полями, является подавление импульсной активности ноцицепторов, проводников и гиперактивных нейронов, образующих генератор патологически усиленного возбуждения на сегментарном и супрасегментарном уровнях ЦНС. На местном уровне обезболивающее действие магнитных полей связано со снижением чувствительности периферических болевых рецепторов и проводимости афферентов боли. В основе этих изменений, по-видимому, лежит влияние физического фактора на ионные каналы клеток, синаптическую передачу и потенциалы действия нейронов [31]. Включение того или иного механизма зависит от вида и дозиметрических параметров магнитного поля. Обезболивающий эффект магнитотерапии обуславливается прекращением или ослаблением нервной импульсации из болевого очага вследствие устранения гипоксии. Он может быть связан с упомянутым выше противовоспалительным и противоотечным действием рТсМС и является, по сути, вторичным, в особенности при травматических и воспалительных процессах [25]. В фундаментальных исследованиях S. Chokroverty и соавт. [32] было показано, что при ТсМС в области пояснично-крестцового отдела позвоночника, возбуждение нервных корешков происходит прежде, чем они выходят из межпозвоноковых отверстий, что позволяет использовать методику в диагностике и лечении пояснично-крестцовой радикулопатии.

Есть данные, что рТсМС, неинвазивным образом наносимая на мышцы спины и спинномозговые корешки, не активирует кожные ноцицептивные афференты, а генерирует массивные потоки чисто проприоцептивных сигналов в мозг без ноцицептивных компонентов [23]. Это отличается от электрической

стимуляции, которая широко задействует поверхностные кожные рецепторы и может посылать в мозг шумоподобную информацию, бессмысленную для сенсомоторного управления движением [33]. Проприоцептивные потоки, генерируемые рТсМС, могут влиять на возбудимость кортикоспинального тракта, лобно-теменных областей коры, а также интракортикальных тормозных и возбуждающих структур в первичной моторной коре (M1), что представляет собой определенный потенциал для лечения боли [34]. При этом в ряде публикаций, описавших диагностические возможности метода ТМС в оценке параметров МВП, коркового «периода молчания» и интракортикального ингибирования [35], было подтверждено, что рТсМС с частотой 20-25 Гц у здоровых испытуемых приводит к изменению кортикоспинальной и внутрикортикальной возбудимости, в то время как, частота 10 Гц – не оказывает влияния на возбудимость коры.

В подборку настоящего обзора вошли девять работ, изучавших эффективность рТсМС при ХБНЧС, пять из которых – рандомизированные клинические исследования (РКИ) с плацебо-контролем в виде имитационной магнитной стимуляции (ИМС) [30, 36-43]. Исследование Y.L. Lo и соавт. в 2011 г. показало, что единственный сеанс рТсМС, проведенной над поясничным отделом позвоночника у пациентов со спондилезом, может уменьшить боль более чем на 60%, а его эффект продолжался в течение как минимум 4 дней [36]. Н. Massé-Alarie и соавт. в 2013 г. также продемонстрировали, что комплексная терапия, сочетающая рТсМС с ЛФК, способна всего за один сеанс благотворно повлиять на возбудимость M1 и улучшить способность к произвольной активации глубоких мышц брюшной стенки, задействованных в нарушенной стабилизации поясницы у людей с ХБНЧС [37]. У обследованных пациентов было выявлено значимое снижение амплитуды МВП поперечной мышцы живота в сравнении с уровнем перед стимуляцией. При этом регресс болевого синдрома был статистически подтвержден только в группе рТсМС, в которой через 2 нед было дополнительно отмечено уменьшение функционального ограничения жизнедеятельности и кинезиофобии в отличие от группы, получавшей ИМС в комбинации с ЛФК. По мнению авторов, рТсМС могла привести к сокращению мышцы либо путем прямой стимуляции мышечных волокон, либо посредством преимущественной деполяризации терминалей аксонов альфа-мотонейронов в нерве. Непрямой (связанный с сокращением мышцы) путь передачи проприоцептивной информации в сенсомоторную кору, как они полагают, имеет большое значение

Характеристики включенных исследований, использовавших rTcMS для терапевтического воздействия на ХБНЧС

Characteristics of included studies that used rTcMS for therapeutic management of CLBP

№ п/п	Источник, год	Дизайн исследования	Кол-во пациентов	Частота (Гц)	Интенсивность (МП/ВМ, %)	Протокол стимуляции	Тип индуктора	Область стимуляции	Кол-во сеансов стимуляции	Оценка результатов
1	Lee P.B. et al. [30], 2006	ПарИ	17+19 (ИМС)	5/10	60-100/ВМ	Чередование частот стимуляции каждые 5 сек в теч. 15 мин	НД	Нижняя часть спины в 5 см от поверхности кожи	9	ЧРШ, ODI
2	Kim J.Y. et al. [40], 2010	ПарИ	13+10 (ЧЭНС)	20	С 20/ВМ до 85% предела переносимости	8571 импульс за сеанс из 10 мин с чередованием 5 сек стимуляции и 2 сек отдыха	НД	Участок наибольшей болезненности	10	ЧРШ, ODI, MPQ
3	Lo Y.L. et al. [36], 2011	ПарИ	10+10 (ИМС)	10	45-55/ВМ	1000 импульсов за сеанс: 200 пачек из 5 импульсов с 5 сек интервалами между пачками	8-образный	На уровне T12-L1 межпозвонокового промежутка	1	ВАШ
4	Massé-Alarie H. et al. [37], 2013	ПарИ	7 (КТ)+ 6 (ИМС)	50	33/МП (пальпаторное сокращение поперечной м-цы живота)	Чередование (2 сек «on» / 8 сек «off») в виде пачек из 3 импульсов, повторяющихся каждые 200 мс	8-образный	На 2 см медиальнее и ниже передней верхней подвздошной ости	1	ВАШ, TSK, QBPDS
5	Massé-Alarie H. et al. [38], 2017	ПарИ	9 (КТ)+ 9 (ИМС)	20	35-40/ВМ	6000 импульсов в теч. 20 мин: 30 мыш. сокращений в теч. 10 сек с 30 сек «off» между сокращениями	8-образный	На уровне L4-L5 позвонка над многораздельными мышцами спины	3	ВАШ, TSK, ODI, PSFS
6	Кончугова Т.В. с соавт. [41], 2017	ПарИ	32 (КТ)+ 33 (ЧЭНС)	НД	НД	Параметры, «реализованные в готовом протоколе»	Кольцевой	Между ребрами и тазом	10	ВАШ
7	Abdelhalim N.M. et al. [39], 2019	ПарИ	21+21 (ИМС)	5/10	НД	Чередование частот стимуляции каждые 5 сек	НД	Нижняя часть спины в 5 см от поверхности кожи	12	ЧРШ, ODI, SF-36
8	Копачка М.М. с соавт. [42], 2019	НИ	20	НД	НД	По 15-35 минут 1 раз в день; при выраженном моторном дефиците (7 пациентов) дополнительно 10 мин	Кольцевой	На уровне L4-S1 позвонка; при выраженном моторном дефиците (7 чел) дополнительно стимуляция дистального отрезка п. tibialis в проекции подколенной ямки	10-20	ВАШ

Продолжение табл. см. на стр. 103.

№ п/п	Источник, год	Дизайн исследования	Кол-во пациентов	Частота (Гц)	Интенсивность (МП/ВМ, %)	Протокол стимуляции	Тип индуктора	Область стимуляции	Кол-во сеансов стимуляции	Оценка результатов
9	Блохина В.Н., Меликян Э.Г. [43], 2020	ПарИ	35 (КТ)+ 36 (ФТ)	1	НД	При наличии болевого синдрома и чувствительных расстройств: 100 стимулов в трейне, пауза 5 сек, всего 1500 стимулов, длительность сеанса 25 мин. Больным с двигательными нарушениями: протокол №1 – 100 стимулов в трейне, пауза 5 сек, всего 1500 стимулов, длительность сеанса 20 мин; протокол №2 – 100 стимулов в трейне, пауза 5 сек, всего 1200 стимулов, длительность сеанса 20 мин	Кольцевой	На уровне L3-L4 при радикулопатии L5; на уровне основания крестца со смешением на 3-4 см в сторону стимулируемой конечности при радикулопатии S1	10	ВАШ, ОТСХ

Примечания. рТсМС – ритмическая транспинальная магнитная стимуляция; ХБНЧС – хроническая боль в нижней части спины; ПарИ – параллельное исследование; НИ – наблюдательное исследование; ИМС – имитационная магнитная стимуляция; ЧЭНС – чрескожная электрическая нейростимуляция; КТ – комплексная терапия; ФТ – физиотерапия; НД – нет данных; МП – моторный порог; ВМ – выходная мощность; ЧРШ – числовая ранговая шкала; ODI – Oswestry Disability Index (Освестровский опросник нарушения жизнедеятельности при боли в спине); MPQ – McGill Pain Questionnaire (болевого опросник МакГилла); ВАШ – визуально-аналоговая шкала; TSK – Tampa Scale for Kinesiophobia (Тамповская шкала кинезиофобии); QBPDS – Quebec Back Pain Disability Scale (Квебекская шкала боли в спине); PSFS – Patient Specific Functional Scale (пациент-специфичная функциональная шкала); SF-36 – короткая форма одноименной шкалы оценки физического и психического аспектов качества жизни; ОТСХ – опросник тревожности Спилбергер-Ханина.

Note. рТсМС – repetitive transspinal magnetic stimulation; ХБНЧС – chronic low back pain; ПарИ – parallel study; НИ – observational study; ИМС – sham magnetic stimulation; ЧЭНС – percutaneous electrical neurostimulation; КТ – complex therapy; ФТ – physical therapy; НД – no data; МП – motor threshold; ВМ – stimulator output; ЧРШ – numerical rank scale; ODI – Oswestry Disability Index; MPQ – McGill Pain Questionnaire; ВАШ – visual analogue scale; TSK – Tampa Scale for Kinesiophobia; QBPDS – Quebec Back Pain Disability Scale; PSFS – Patient Specific Functional Scale; SF-36 – Short Form 36 Health Survey Questionnaire; ОТСХ – State-Trait Anxiety Inventory.

для индукции сенсорно-управляемой пластичности мозга. Следовательно, была продемонстрирована способность рТсМС генерировать сенсорно-управляемую активность в структурах М1, компенсируя связанные с болью нарушения интеграции сенсорных сигналов и реактивируя внутрикорковые тормозные механизмы. В дальнейшей своей работе [38] авторы подтвердили эти выводы на модели комбинированной терапии рТсМС+ЛФК многораздельной мышцы поясницы у 9 пациентов с ХБНЧС, у которых было объективизировано не только значительное уменьшение боли по ВАШ после проведения первого сеанса процедуры, но и поддержание этого эффекта наряду с улучшением функций по шкалам оценки нарушений жизнедеятельности в течение недели, что почти вдвое превышает вышеописанные результаты работы Y.L. Lo [36]. Долгосрочное воздействие такой комбинированной методики, а также ее влияние на различные маркеры кортикотормозного контроля боли, однако, еще предстоит определить.

Здесь необходимо отметить, что данные, опровергающие способность рТсМС изолированно вызывать обратное развитие ХБНЧС были опубликованы в исследовании 13 пациентов Kim J.Y. с соавт. в 2010 [40]. У 10 человек группы сравнения применялась ЧЭНС, которая определила статистически значимое улучшение динамики числовой ранговой шкалы (ЧРШ) боли, оцененное через 8 ч после проведения стимуляции ($p=0,015$). При оценке через 2 нед противоболовое преимущество ЧЭНС перед рТсМС зафиксировалось на уровне $p=0,005$; к нему добавилось значимое отличие в динамике результатов Освестровского опросника нарушения жизнедеятельности при боли в спине ($p=0,016$). Авторы заключили, что ЧЭНС приводит к более значительному облегчению ХБНЧС, допустив возможные ограничения исследования, связанные с эффектом плацебо в отсутствие контрольной группы и рекомендовав дальнейшее изучение вопроса на большей выборке для сравнения эффектов различных методов лечения боли в пояснице. Как следует из таблицы,

такое исследование было опубликовано в 2017 г. Т.В. Кончуговой и соавт. [41], которые в целях повышения терапевтической эффективности и сокращения сроков лечения и реабилитации изучали результаты комплексного воздействия рТсМС и ударно-волновой терапии (УВТ) на ХБНЧС у 32 пациентов с дорсалгией в сравнении с применением ЧЭНС у 33 человек. Авторы сообщили, что в основной группе была выявлена достоверная позитивная динамика болевого синдрома по ВАШ. Его регресс более чем на 50% отмечен у 83% пациентов основной группы в отличие от группы сравнения, где значимый регресс после 10-дневного курса ЧЭНС зафиксирован только в половине случаев. Дальнейшие уточнения в работе не приведены. Сходное по детализации отечественное исследование последовало в 2019 г. В нем Копачка М.М. с соавт. [42] отметили, что после изучения мирового опыта ими было принято решение проводить ритмическую низкочастотную стимуляцию пояснично-крестцовой области в проекции нервных структур, поражение которых вызвало моторный дефицит и чувствительные нарушения у 20 пациентов с ХБНЧС. Для усиления эффекта при выраженном моторном дефиците у 7 пациентов была дополнительно добавлена 10-минутная стимуляция дистального отрезка n. tibialis в подколенной ямке. Субъективно снижение интенсивности болевого синдрома на фоне такой терапии отметили 15 из 20 пациентов. Примерно в 50% случаев анальгезирующий эффект продолжался более 1 месяца после окончания курса, что позволило авторам предположить необходимость проведения поддерживающих курсов рТсМС для закрепления полученных результатов.

В своей работе 2020 г. В.Н. Блохина и Э.Г. Меликян вернулись к оценке эффекта от дополнительного воздействия рТсМС в комплексе с традиционной реабилитационной терапией у пациентов с ХБНЧС после микродискэктомии и тревожностью [43]. Оценка проводилась на 7-й день (до начала реабилитационного лечения) и на 21-й день после операции. По данным исследования было отмечено значимое противоболевое действие как у 35 пациентов основной группы за счет комплексной терапии, так и у 36 лиц— группы сравнения, получавшей традиционную реабилитацию. При этом к 21-му дню не было выявлено межгруппового различия при оценке ВАШ боли в спине, однако отмечено статистически значимое ($p=0,036$) различие между группами по показателю уровня боли в нижней конечности. Параллельный анализ зафиксированного снижения ситуационной и личностной тревожности (СТ и ЛТ) в обеих группах показал, что у пациентов, получавших в том числе рТсМС, значительно

уменьшилась частота проявлений высокого и умеренного уровня ЛТ, которая может выступать предиктором медленного восстановления. Авторы заключили, что рТсМС является эффективным терапевтическим инструментом у данной категории пациентов.

В 2 дополнительно отобранных для настоящего обзора работах описано применение рТсМС под видом высокоинтенсивной импульсной магнитотерапии. В статье Lee P.V. с соавт. в 2006 [30] показано, что подобная рТсМС приводит к статистически значимому снижению ХБНЧС по сравнению с имитацией при оценке через 3 нед применения 3 раза в неделю, а ее эффект сохраняется до 4-х нед, сопровождаясь столь же выраженным улучшением по шкале оценки нарушения жизнедеятельности. Отличительной особенностью дизайна РКИ Р.В. Lee явилось то, что все участники, в том числе обследующий и проводящий лечение доктора, а также осуществляющий ввод данных сотрудник, были «ослеплены» по отношению к его деталям. Вместе с тем, используемый прибор был ограничен по воздействию в частотном диапазоне до 10 Гц. Этот же прибор был использован и в работе N.M. Abdelhalim и соавт. 12 лет спустя [39] с аналогичным протоколом, режимами и периодичностью сеансов. Результаты показали, что по всем оцененным параметрам, включая ЧРШ боли, качество жизни и объем движений в поясничном отделе позвоночника, у пациентов экспериментальной группы были зафиксированы значимые улучшения через месяц использования рТсМС, в отличие от группы контроля, получавшей ИМС.

Проведен метаанализ потенциально сопоставимых РКИ ($k=5$) по исходам, основанным на оценке боли по ВАШ между основной и контрольной группами, получавшими рТсМС и ИМС при ХБНЧС. Среднее отличие между группами было $g=-0,94$, ($p=0,001$; 95% ДИ [-1,51; -0,37]). Q-тест Кокрана был проведен для изучения того, могли ли колебания наблюдаемого эффекта быть связаны только с ошибкой выборки ($Q\sim(df=4)\sim=8,83$; $p=0,065$). Не было получено исчерпывающих доказательств, что истинная величина эффекта варьирует в разных исследованиях. Статистика I^2 указывает на долю дисперсии наблюдаемого эффекта, обусловленную ошибкой выборки. В данном случае $I^2=54,04\%$. Несмотря на то, что эта статистика не является абсолютной мерой неоднородности, она часто интерпретируется как таковая. При интерпретации значений I^2 не рекомендуется использовать эмпирические правила, такие как малые, средние или большие. Вместо этого информация, представляющая интервальный прогноз, более полезна для понимания неоднородности истинной величины эффекта в мета-

анализе. В данном случае 95% доверительный интервал составил -2,02; 0,14. То есть, по расчетам, 95% истинной величины эффекта находятся между $g=-2,02$ и $g=0,14$. Графическое представление данных отражено на рисунке.

Заключение

Традиционно лечение хронических заболеваний ОДА (ХЗОДА), таких как ХБНЧС, закреплено в биомедицинской модели. Эта модель основана на структурно-патологической парадигме, где повреждение анатомических структур считается единственной причиной заболевания. За последние десятилетия появились доказательства нейрофизиологических изменений (нейропластичности) в ЦНС и ПНС, связанных с ХЗОДА. Исследования показывают, что ХЗОДА не просто являются результатом существующей структурной патологии периферических тканей, но включают в себя сложное взаимодействие между их повреждением, изменением афферентной информации, передаваемой от периферических рецепторов к спинному мозгу, стволу и областям коры головного мозга, изменениями в нейронной обработке болевых раздражителей и психосоциальных факторов [44]. Данные нейрофизиологические изменения согласуются с биопсихосоциальной моделью ХБНЧС,

подтверждающей на основании экспериментальных и клинических результатов искажение сенсорной передачи, изменения управления движением, изменения в проприоцепции, психологические и поведенческие отклонения, которые вовлечены как в клиническую манифестацию, так и в патофизиологию этого заболевания [45].

Общепринятые регенеративные технологии в значительной степени направлены на механизмы, связанные с запуском (т.е. периферические структурные повреждения, включающие воспаление, восстановление и ремоделирование тканей) и исходами ХЗОДА (такими, как мышечная сила, выносливость, управление движением и проприоцепция) [46]. Хотя эти методики способны оказать влияние на периферические структуры, они сами по себе могут быть недостаточными для восстановления свойств и функций коры и облегчения боли, особенно при хронических повреждениях. Ограниченные ресурсы в терапии ХЗОДА задействованы в решении проблем передачи, обработки и вспомогательной афферентной стимуляции двигательной активности [46]. Неспособность эффективно лечить такие состояния, как ХБНЧС, может быть связана с тем, что описанные центральные нейропластические изменения в различных областях в значительной степени игнорируются, что, вероятно, объяс-

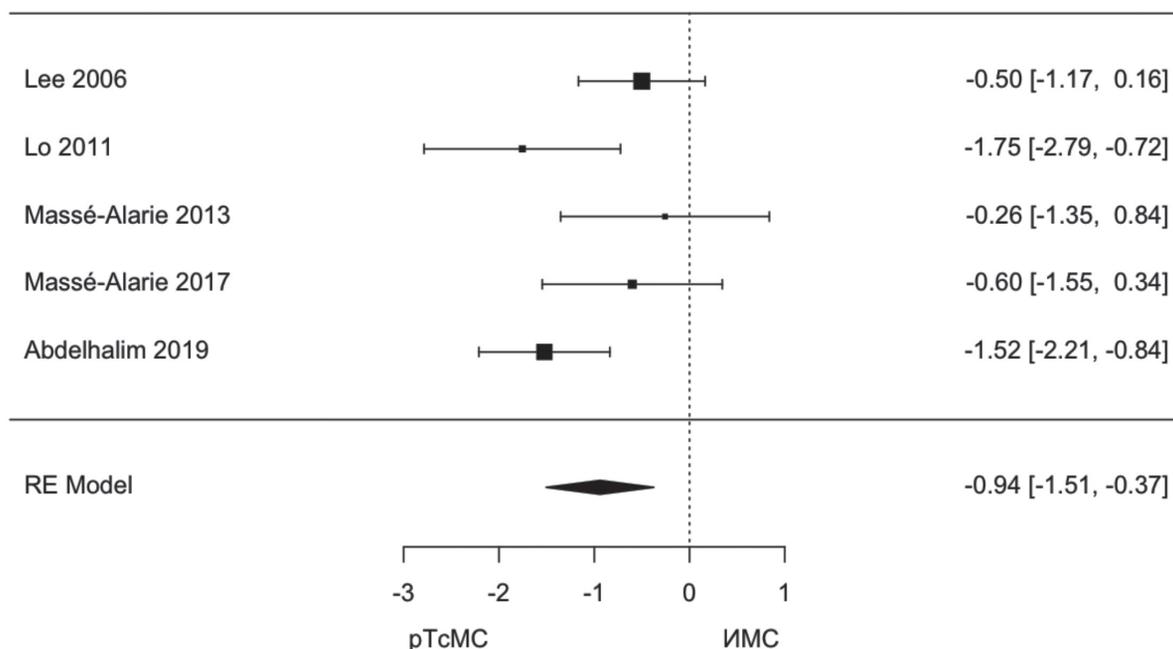


Рис. Форест-диаграмма пяти РКИ по исходам, основанным на оценке боли по ВАШ между группами, получавшими рТсМС и ИМС при ХБНЧС. Fig. Forest plot of five RCTs on outcomes based on VAS pain scores between the groups receiving rTsMS and sham stimulation for CLBP.

няет, почему терапевтические эффекты невелики, независимо от типа вмешательства [45].

Нейропластичность управляется стимулами, и стимулы могут быть опосредованы процессами, направленными как сверху вниз, от вышележащих к ниже-расположенным иерархическим структурам нервной системы, так и снизу вверх, от периферических к центральным [47]. Поскольку ХЗОДА, и ХБНЧС, в частности, включают нейропластические изменения в определенных областях, логично предположить, что и лечение должно быть направлено через различные пораженные структуры в нервной системе, т.е. также снизу вверх и сверху вниз. В этой связи комбинация рассмотренных в 1-й и 2-й частях настоящего обзора [17] методик, по отдельности подтвердивших свое благотворное влияние на пластичность мозга, могла бы повлиять на процессы управления болью при изучаемой патологии в большей степени, чем каждая из них по отдельности. Эта гипотеза дополнительно основывается на результатах применения транскраниальной электрической стимуляции и периферической электрической стимуляции паравертебральных мышц [48-49], которые описывают терапевтический болеутоляющий эффект, в том числе длительный, от их комбинированного воздействия. Насколько известно авторам настоящего обзора, подобная экстраполяция на комбинацию методик рТМС и рТсМС, несмотря на очевидную патогенетическую обоснованность, до настоящего времени в литературе не встречается, что, таким образом, предполагается сделать предметом собственного исследования.

Литература

(п.п. 1-11; 13-16; 18; 19; 21-23; 29-40; 44-49 см. References)

12. Яхно Н.Н., Кукушкин М.Л., Давыдов О.С., Данилов, А.Б., Амелин, А.В., Куликов, С.М. Результаты Российского эпидемиологического исследования распространенности невропатической боли, ее причин и характеристик в популяции амбулаторных больных, обратившихся к врачу—неврологу. *Боль*. 2018; 3(20): 24-32.
17. Меркулов Ю.А., Гореликов А.Е., Пятков А.А., Меркулова Д.М. Ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция в терапии хронической боли в нижней части спины. Систематический обзор (Часть I). *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2021; 65(3): 80-90. <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2021.03.80-90>
20. Улашик В.С., Плетнев А.С., Войченко Н.В., Плетнев С.В. *Магнитотерапия: теоретические основы и практическое применение*. Под ред. В. С. Улашика. Минск: Беларуская навука, 2015. ISBN 978-985-08-1853-9
24. Живолупов С.А., Рашидов Н.А., Онищенко Л.С., Гайкова О.Н., Самарцев И.Н., Степанов А.Ю., Попов В.А. Особенности реперации мышц голени при лечении экспериментальной невропатии седалищного нерва с помощью трансспинальной импульсной магнитной стимуляции. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2010; 2(30): 140-4.
25. Митбрейт И.М., Савченко А.Г., Волкова Л.П., Берлин Ю.В. «Бегущее» импульсное низкочастотное магнитное поле в лечении больных поясничным остеохондрозом. *Вопр. курорт, физиотер. и ЛФК*. 1989; 4: 43-6.
26. Гореликов А.Е., Мельникова Е.А., Рудь И.М. Магнитная стимуляция в лечении и реабилитации больных с заболеваниями нервной системы и позвоночника. *Медицинская реабилитация*. 2017; 11(140): 46-50.
27. Войтенков В.Б., Екушева Е.В., Скрипченко Н.В., Дамулин И.В. Транскраниальная магнитная стимуляция в диагностике и терапии болевых синдромов у детей и взрослых. *Журн неврол и психиатр*. 2019; 4: 93-9.
28. Блохина В.Н., Николаев С.Г., Кузнецов А.Н., Меликян Э.Г. Применение ритмической периферической магнитной стимуляции (РПМС). *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова*. 2016; 11(3): 111-7.
41. Кончугова Т.В., Даминов В.Д., Уварова О.А., Кульчицкая Д.Б., Гушина Н.В., Каримов А.Н. Обоснование применения нового сочетанного метода ударно-волновой терапии и ритмической периферической магнитной стимуляции в клинической практике. *Физиотерапевт*. 2017; 6: 16-23.
42. Копачка М.М., Трошина Е.М., Челябинина М.В., Лаптева К.Н., Дзюбанова Н.А., Зеленков П.В. и др. Опыт применения низкочастотной периферической ритмической магнитной стимуляции у пациентов с болевым синдромом на поясничном уровне (пилотное исследование). *Российский журнал боли*. 2019; 17(S1): 138-9.
43. Блохина В.Н., Меликян Э.Г. Оценка тревожности и болевого синдрома у пациентов с пояснично-крестцовой радикулопатией в раннем реабилитационном периоде после микродискэктомии при применении различных реабилитационных программ. *Альманах клинической медицины*. 2020; 48(1): 13-21.

References

1. Nakamura M., Nishiwaki Y., Sumitani M., Ushida T., Yamashita T., Konno S., Taguchi T., Toyama Y. Investigation of chronic musculoskeletal pain (third report): with special reference to the importance of neuropathic pain and psychogenic pain. *Journal of Orthopaedic Science*. 2014; 19(4): 667-75. <https://doi.org/10.1007/s00776-014-0567-6>
2. Frebarger J.K., Holmes G.M., Agans R.P., Jackman A.M., Darter J.D., Wallace A.S., Castel L.D., Kalsbeek W.D., Carey T.S. The rising prevalence of chronic low back pain. *Archives of Internal Medicine*. 2009; 169(3): 251-8. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2008.543>
3. National Inst. of Neurological Disorders and Stroke. Low back pain fact sheet. 2018-08-07. NIH Publication No. 15–5161.
4. Krath A., Klüter T., Stukenberg M., Zielhardt P., Gollwitzer H., Harrasser N., Hausdorf J., Ringeisen M., Gerdesmeyer L. Electromagnetic transduction therapy in non-specific low back pain: A prospective randomised controlled trial. *Journal of Orthopaedics*. 2017; 14(3): 410-5. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2017.06.016>
5. Nayback-Beebe A.M., Yoder L.H., Goff B.J., Arzola S., Weidlich C. The effect of pulsed electromagnetic frequency therapy on health-related quality of life in military service members with chronic low

- back pain. *Nursing Outlook*. 2017; 65(5S): S26-S33. <https://doi.org/10.1016/j.outlook.2017.07.012>
6. Outcalt S.D., Kroenke K., Krebs E.E., Chumbler N.R., Wu J., Yu Z., Bair M.J. Chronic pain and comorbid mental health conditions: Independent associations of posttraumatic stress disorder and depression with pain, disability, and quality of life. *Journal of Behavioral Medicine*. 2015; 38(3): 535-43. <https://doi.org/10.1007/s10865-015-9628-3>
 7. Iizuka Y., Iizuka H., Mieda T., Tsunoda D., Sasaki T., Tajika T., et al. Prevalence of chronic nonspecific low back pain and its associated factors among middle-aged and elderly people: an analysis based on data from a musculo-skeletal examination in Japan. *Asian Spine Journal*. 2017; 11(6): 989-97. <https://doi.org/10.4184/asj.2017.11.6.989>
 8. Snekkvik H., Eriksen H.R., Tangen T., Chalder T., Reme S.E. Fatigue and depression in sick-listed chronic low back pain patients. *Pain Medicine*. 2014; 15(7): 1163-70. <https://doi.org/10.1111/pme.12435>
 9. Alsaadi S.M., McAuley J.H., Hush J.M., Maher C.G. Prevalence of sleep disturbance in patients with low back pain. *European Spine Journal*. 2011; 20(5): 737-43. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1661-x>
 10. Li J., He J., Li H., Fan B.F., Liu B.T., Mao P., et al. Proportion of neuropathic pain in the back region in chronic low back pain patients -a multicenter investigation. *Sci Rep*. 2018; 8(1): 16537. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33832-x>
 11. Torrance N., Smith B.H., Bennett M.I., Lee A.J. The epidemiology of chronic pain of predominantly neuropathic origin. Results from a general population survey. *J. Pain*. 2006; 7(4): 281-9.
 12. Yakhno N.N., Kukushkin M.L., Davydov O.S., Danilov A.B., Amelin A.V., Kulikov S.M. Results of the Russian epidemiological study of the prevalence of neuropathic pain, its causes and characteristics in the population of outpatients who consulted a neurologist. *Bol'*. 2018; 3(20): 24-32. (in Russian)
 13. Ouedraogo D.D., Nonguierma V., Tiéno H., Guira O., Drabo J.Y. Prevalence of neuropathic pain among Black African patients suffering from common low back pain. *Rheumatol Int*. 2012; 32: 2149-53.
 14. Kaki A.M., El-Yaski A.Z., Youseif E. Identifying neuropathic pain among patients with chronic low-back pain: use of the Leeds Assessment of Neuropathic Symptoms and Signs pain scale. *Reg Anesth Pain Med*. 2005; 30: 422-8.
 15. Dworkin R.H., O'Connor A.B., Backonja M., Farrar J.T., Finnerup N.B., Jensen T.S., Kalso E.A., Loeser J.D., Miaskowski C., Nurmikko T.J., Portenoy R.K., Rice A.S., Stacey B.R., Treede R.D., Turk D.C., Wallace M.S. Pharmacologic management of neuropathic pain: Evidence-based recommendations. *Pain*. 2007; 132(3): 237-51. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2007.08.033>
 16. Steele A. Opioid use and depression in chronic pelvic pain. *Obstetrics and Gynecology Clinics of North America*. 2014; 41(3): 491-501. <https://doi.org/10.1016/j.ogc.2014.04.005>
 17. Merkulov Y.A., Gorelikov A.E., Pyatkov A.A., Merkulova D.M. Repetitive transcranial magnetic stimulation in the treatment of chronic low back pain. A systematic review (Part I). *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimental'naya terapiya*. 2021; 65(3): 80-90 (in Russian). <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2021.03.80-90>
 18. Lefaucheur J.P., Drouot X., Menard-Lefaucheur I., Keravel Y., Nguyen J.P. Motor cortex rTMS restores defective intracortical inhibition in chronic neuropathic pain. *Neurology*. 2006; 67: 1568-74. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000242731.10074.3c>
 19. Massé-Alarie H., Schneider C. Revisiting the Corticomotor Plasticity in Low Back Pain: Challenges and Perspectives. *Healthcare*. 2016; 4(3): 67. <https://doi.org/10.3390/healthcare4030067>
 20. Ulashchik V.S., Pletnev A.S., Voychenko N.V., Pletnev S.V. *Magneto-therapy: theoretical foundations and practical application. [Magnitoterapiya: teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye]*. Ed. V.S. Ulashchik. Minsk: Belaruskaya navuka; 2015. ISBN 978-985-08-1853-9. (in Russian)
 21. Ridding M., Brouwer B., Miles T., Pitcher J., Thompson P. Changes in muscle responses to stimulation of the motor cortex induced by peripheral nerve stimulation in human subjects. *Exp. Brain Res*. 2000; 131(1): 135-43.
 22. Stefan K., Ans L.G., Cohen E.K., Benecke R., Classen J. Induction of plasticity in the human motor cortex by paired associative stimulation. *Brain*. 2000; 123(3): 572-84.
 23. Struppler A., Angerer B., Havel P. Modulation of sensorimotor performances and cognition abilities induced by RPMS: clinical and experimental investigations. *Suppl. Clin. Neurophysiol*. 2003; 56(C): 358-67.
 24. Zhivolupov S.A., Rashidov N.A., Onischenko L.S., Gaykova O.N., Samartsev I.N., Stepanov A.Ju., Popov V.A. Regeneration of the shin muscles during transspinal impulse magnetic stimulation of experimental sciatic nerve neuropathy. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*. 2010; 2(30): 140-4. (in Russian)
 25. Mitbreit I.M., Savchenko A.G., Volkova L.P., Berlin Y.V. "Running" pulsed low-frequency magnetic field in the treatment of patients with lumbar osteochondrosis. *Vopr. kurort., physioter. i LFK*. 1989; 4: C 43-6. (in Russian)
 26. Gorelikov A.E., Melnikova E.A., Rud I.M. Magnetic stimulation in the treatment and rehabilitation of patients with diseases of the nervous system and spine. *Meditsinskaya Reabilitatsiya*. 2017; 11(140): 46-50. (in Russian)
 27. Voytenkov V.B., Ekusheva E.V., Skripchenko N.V., Damulin I.V. Transcranial magnetic stimulation in the diagnosis and therapy of pain syndromes in children and adults. *Jurn Nevrol i Psichiatr*. 2019; 4: 93-9. (in Russian)
 28. Blokhina V.N., Nikolaev S.G., Kuznetsov A.N., Melikyan E.G. Application of repetitive peripheral magnetic stimulation (RPMS). *Vestnik Natsional'nogo mediciko-khirurgicheskogo Centra im N.I. Pirogova*. 2016; 11(3): 111-7. (in Russian)
 29. Yang S., Chang M.C. Effect of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Pain Management: A Systematic Narrative Review. *Front. Neurol*. 2020; 11: 114. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00114>
 30. Lee P.B., Kim Y.C., Lim Y.J., Lee C.J., Choi S.S., Park S.H., et al. Efficacy of pulsed electromagnetic therapy for chronic lower back pain: A randomized, double-blind, placebo-controlled study *J Int. Med. Res*. 2006; 34(2): 160-7. <https://doi.org/10.1177/147323000603400205>
 31. Rosen A.D. Effect of a 125 mT static magnetic field on the kinetics of voltage activated Na⁺ channels in GH3 cells. *Bioelectromagnetics*. 2003; 24(7): 517-23.
 32. Chokroverty S., Flynn D., Picone M.A., Chokroverty M., Belsh, J. Magnetic coil stimulation of the human lumbosacral vertebral column: site of stimulation and clinical application. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*. 1993; 89(1): 54-60. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(93\)90085-4](https://doi.org/10.1016/0168-5597(93)90085-4)
 33. Zhu Y., Starr A. Magnetic stimulation of muscle evokes cerebral potentials. *Muscle Nerve*. 1991; 14: 721-32.
 34. Krause P., Straube A. Peripheral repetitive magnetic stimulation induces intracortical inhibition in healthy subjects. *Neurol. Res*. 2008; 30: 690-4.

35. Gallasch E., Christova M., Kunz A., Rafolt D., Golaszewski S. Modulation of sensorimotor cortex by repetitive peripheral magnetic stimulation. *Front Hum Neurosci.* 2015; 14(9): 407. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00407>
36. Lo Y.L., Fook-Chong S., Huerto A.P., George J.M. A randomized, placebo-controlled trial of repetitive spinal magnetic stimulation in lumbosacral spondylotic pain. *Pain Med.* 2011; 12: 1041-5. <https://doi.org/10.1111/j.1526-4637.2011.01143.x>
37. Massé-Alarie H., Flamand V.H., Moffet H., Schneider C. Peripheral neurostimulation and specific motor training of deep abdominal muscles improve postural control in chronic low back pain. *Clin J Pain.* 2013; 29(9): 814-823. <https://doi.org/10.1097/AJP.0b013e318276a058>
38. Massé-Alarie H., Beaulieu L.D., Preuss R., Schneider C. Repetitive peripheral magnetic neurostimulation of multifidus muscles combined with motor training influences spine motor control and chronic low back pain. *Clin Neurophysiol.* 2017; 128(3): 442-53. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2016.12.020>
39. Abdelhalim N.M., Samhan A.F., Abdelbasset W.K. Short-Term impacts of pulsed electromagnetic field therapy in middle-aged university's employees with non-specific low back pain: A pilot study. *Pak J Med Sci.* 2019; 35(4): 987-91. <https://doi.org/10.12669/pjms.35.4.49>
40. Kim J.Y., Yoon S.H., Rah U.W., Cho K.H., Hong J.Y. Effect of Repetitive Magnetic Stimulation and Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation in Chronic Low Back Pain: A Pilot Study. *Ann Rehabil Med.* 2010; 34(6): 725-9.
41. Konchugova T.V., Daminov V.D., Uvarova O.A., Kulchitskaya D.B., Gushchina N.V., Karimov A.N. Rationale for application of a new combined method of shockwave therapy and repetitive peripheral magnetic stimulation in clinical practice. *Physioterapevt.* 2017; 6: 16-23. (in Russian)
42. Kopachka M.M., Troshina E.M., Chelyapina M.V., Lapteva K.N., Dzyubanov N.A., Zelenkov P.V., et al. Experience of low-frequency peripheral repetitive magnetic stimulation in patients with lumbar pain syndrome (a pilot study). *Russkiy Jurnal Boli.* 2019; 17(S1): 138-9. (in Russian)
43. Blokhina V.N., Melikyan E.G. Assessment of anxiety and pain syndrome in patients with lumbosacral radiculopathy in the early rehabilitation period after microdiscectomy using different rehabilitation programs. *Almanakh Klinicheskoy Meditsiny.* 2020; 48(1): 13-21. (in Russian)
44. Pelletier R., Higgins J., Bourbonnais D. Is neuroplasticity in the central nervous system the missing link to our understanding of chronic musculoskeletal disorders? *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2015; 16(1): 25.
45. Pelletier R., Higgins J., Bourbonnais D. Addressing Neuroplastic Changes in Distributed Areas of the Nervous System Associated with Chronic Musculoskeletal Disorders. *Phys Ther.* 2015; 95(11): 1582-91. <https://doi.org/10.2522/ptj.20140575>
46. Nijs J., Meeus M., Cagnie B., et al. A modern neuroscience approach to chronic spinal pain: combining pain neuroscience education with cognition-targeted motor control training. *Phys Ther.* 2014; 94(5): 730-8. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130258>
47. Schabrun S.M., Jones E., Elgueta Cancino E.L., Hodges P.W. Targeting chronic recurrent low back pain from the top-down and the bottom-up: a combined transcranial direct current stimulation and peripheral electrical stimulation intervention. *Brain Stimul.* 2014; 7(3): 451-9. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.01.058>
48. Luz-Santos C., Ribeiro Camatti J., Barbosa Paixão A., Nunes Sá K., Montoya P., Lee M., Fontes Baptista A. Additive effect of tDCS combined with Peripheral Electrical Stimulation to an exercise program in pain control in knee osteoarthritis: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2017; 18(1): 609. <https://doi.org/10.1186/s13063-017-2332-6>
49. Hazime F.A., Baptista A.F., de Freitas D.G., Monteiro R.L., Maretto R.L., Hasue R.H., João S.M.A. Treating low back pain with combined cerebral and peripheral electrical stimulation: A randomized, double-blind, factorial clinical trial. *Eur J Pain.* 2017; 21(7): 1132-43. <https://doi.org/10.1002/ejp.1037>

Сведения об авторах:

Меркулов Юрий Александрович, доктор мед. наук, гл. науч. сотр., e-mail: 4181220@gmail.com;

Гореликов Андрей Евгеньевич, зав. отд-нием медицинской реабилитации, e-mail: winstone@bk.ru;

Пятков Артем Александрович, канд. мед. наук, врач-невролог, e-mail: contradolor@mail.ru;

Меркулова Дина Мироновна, доктор мед. наук, проф. каф. нервных болезней, руководитель неврологического центра, e-mail: dinamerk@mail.ru