

DOI: 10.32364/2587-6821-2023-7-10-3

# Перспективы применения терапевтической транскраниальной магнитной стимуляции при диабетической полинейропатии

М.П. Бобров<sup>1</sup>, Е.В. Екушева<sup>1,2</sup>, В.Б. Войтенков<sup>1,3</sup>, Е.В. Хоженко<sup>1</sup><sup>1</sup>Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Москва, Россия<sup>2</sup>НИУ «БелГУ», Белгород, Россия<sup>3</sup>ФГБУ ДНКЦИБ ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия

## РЕЗЮМЕ

В данной статье исследуются перспективные направления применения терапевтической транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) для лечения диабетической полинейропатии (ДПН) — распространенного осложнения сахарного диабета, которое существенно снижает качество жизни пациентов. Консервативное лечение этого состояния не всегда эффективно, поэтому в статье рассматриваются альтернативные методы лечения, включая ТМС — метод, при котором применяется магнитная индукция для воздействия на структуры головного мозга. Применение ТМС для лечения ДПН показало определенные положительные результаты. В статье рассматриваются различные аспекты применения ТМС, включая протоколы, длительность курса лечения, дозировку и безопасность. Проводится обзор существующих российских и зарубежных исследований с рекомендациями по применению ТМС в клинической практике для лечения ДПН. Даные исследования демонстрируют потенциал применения ТМС в качестве дополнительного метода лечения ДПН. Однако для более глубокого понимания эффективности и механизмов действия ТМС при этом заболевании необходимы дальнейшие клинические исследования. Использование ТМС в лечении ДПН может представлять новое направление в области терапевтических методов, способствующих улучшению жизни пациентов с сахарным диабетом.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сахарный диабет, осложнения, диабетическая полинейропатия, невропатическая боль, ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция, консервативное лечение.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Бобров М.П., Екушева Е.В., Войтенков В.Б., Хоженко Е.В. Перспективы применения терапевтической транскраниальной магнитной стимуляции при диабетической полинейропатии. РМЖ. Медицинское обозрение. 2023;7(10):625–629. DOI: 10.32364/2587-6821-2023-7-10-3.

## Prospects for the use of therapeutic transcranial magnetic stimulation in diabetic polyneuropathy

M.P. Bobrov<sup>1</sup>, E.V. Ekusheva<sup>1,2</sup>, V.B. Voitenkov<sup>1,3</sup>, E.V. Khozhenko<sup>1</sup><sup>1</sup>Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center of the Federal Medical Biological Agency of Russian Federation, Moscow, Russian Federation<sup>2</sup>Belgorod State University, Belgorod, Russian Federation<sup>3</sup>Children's Research and Clinical Center of Infectious Diseases of the Federal Medical-Biological Agency, St. Petersburg, Russian Federation

## ABSTRACT

This article examines promising areas of therapeutic transcranial magnetic stimulation (TMS) for the treatment of diabetic polyneuropathy (DPN) — a common complication of diabetes mellitus, which significantly reduces the life quality of patients. Conservative therapy of this condition is not always effective; therefore, the article discusses alternative treatment methods, including TMS — a method in which magnetic induction is used to affect the brain structures. TMS use for the DPN treatment has shown certain positive results. The article discusses various aspects of the TMS use, including protocols, treatment duration, dosage and safety. A review of existing Russian and foreign studies with recommendations on the TMS use in clinical practice for the DPN treatment is being conducted. These studies demonstrate the potential of using TMS as an additional treatment method of DPN. However, there is a need in further clinical studies for a deeper understanding of the TMS efficacy and mechanisms of action in this disease. TMS use in the DPN treatment may represent a new direction in the field of therapeutic methods that contribute to improving the patient lives with diabetes mellitus.

**KEYWORDS:** diabetes mellitus, complications, diabetic polyneuropathy, neuropathic pain, rhythmic transcranial magnetic stimulation, conservative therapy.

**FOR CITATION:** Bobrov M.P., Ekusheva E.V., Voitenkov V.B., Khozhenko E.V. Prospects for the use of therapeutic transcranial magnetic stimulation in diabetic polyneuropathy. Russian Medical Inquiry. 2023;7(10):625–629 (in Russ.). DOI: 10.32364/2587-6821-2023-7-10-3.

## ВВЕДЕНИЕ

Сахарный диабет (СД) является одной из важнейших проблем современной медицины. По данным International Diabetic Federation на 2017 г., этим заболе-

ванием страдал 451 млн человек во всем мире, а согласно прогнозам экспертов этой же федерации, их число к 2040 г. достигнет 642 млн [1]. В России на 01.01.2022 зарегистрировано 4 871 863 случая заболевания (3,35%

населения РФ), из них с СД 1 типа — 5,6% (271,4 тыс.) и с СД 2 типа — 92,3% (4,50 млн) случаев [2].

Сахарный диабет представляет собой группу метаболических заболеваний, характеризующихся хронической гипергликемией, которая является результатом нарушения секреции инсулина и его физиологического действия или обоих этих факторов. Хроническая гипергликемия при СД сопровождается повреждением и дисфункцией различных органов и систем, в частности глаз, почек, нервов, сердца и кривеносных сосудов [3]. Диабетическая полинейропатия (ДПН) является одним из ведущих осложнений СД и отмечается у 43 и 24% пациентов при СД 1 типа и СД 2 типа соответственно [4]. Вместе с тем в зависимости от используемых у пациентов с СД критериев диагностики и методологии обследования частота ДПН может варьировать в широких пределах — от 25 до 90%, причем эти показатели существенно возрастают по мере увеличения длительности и степени тяжести заболевания, возраста и выраженности гипергликемии у пациентов с СД 1 и 2 типов [5].

Диагноз ДПН устанавливается при наличии симптомов или признаков поражения периферической нервной системы у больных с СД, при исключении других факторов развития полинейропатии [6, 7]. Одним из основных осложнений ДПН является диабетическая стопа, которая характеризуется болью, парестезиями и последующей потерей чувствительности в области стопы с развитием трофических нарушений, а нередко является причиной ампутации конечности.

Современные подходы к лечению полинейропатий, в том числе ДПН, подразумевают комплексный подход, воздействие на различные звенья патологического процесса. Существуют немедикаментозные методы, в частности лечебная физкультура, кинезиотерапия, рефлексотерапия, чрескожная электрическая стимуляция; фармакологические, малоинвазивные и хирургические методы лечения полинейропатии. К последним относятся: блокады периферических нервов и ганглиев, эпидуральные блокады, хирургическая нейромодуляция и деструктивные операции [8]. Фармакологическая терапия ДПН включает большое количество препаратов [8], выбор которых зависит от клинической картины, жалоб пациента и имеющихся коморбидных заболеваний.

Нейропатический болевой синдром является одним из наиболее частых проявлений ДПН, для терапии которого применяют лекарственные средства из группы противоэпилептических препаратов (ПЭП) (габапентин, прегабалин, ламотриджин), селективных ингибиторов обратного захвата серотонина и норадреналина (дулоксетин, венлафаксин), реже — трициклических антидепрессантов (амитриптилин) и еще реже — местные анестетики и опиоидные анальгетики [8–13].

Противоэпилептические препараты эффективно влияют на патогенез формирования и поддержания нейропатического болевого синдрома, снижают выраженнуюность апоптоза, уменьшают патологическую возбудимость нейронов, однако при их приеме нередко наблюдаются побочные эффекты в виде головокружения, сонливости и периферических отеков [8, 10].

Наиболее частым препаратом из группы местных анестетиков является лидокаин, который используется в лечебных блокадах, а также в виде пластыря [9]. Применение лидокаина может вызвать аллергические реакции (крапивницу, ангионевротический отек) и ограничено у паци-

ентов с хронической сердечной, почечной и печеночной недостаточностью [8]. Реже для терапии выраженного болевого синдрома используются опиоидные анальгетики (морфин, тапентадол, трамадол), при этом ранее проведенные исследования у пациентов с ДПН показали низкий уровень доказательности эффективности их применения [8, 14]. Опиоидные анальгетики при длительном применении вызывают зависимость, запоры, нарушение дыхания и расстройство когнитивных функций; кроме того, к лекарственным средствам данной группы применяются особые правила назначения и выписки рецептов [8].

Наличие указанных побочных эффектов и нежелательных явлений при фармакологической терапии ДПН, применение большого количества препаратов, в том числе для лечения основного заболевания (СД) и других коморбидных патологических состояний, может вызывать у пациента негативное отношение к рекомендованному лечению с пропуском приема препаратов. Все это в итоге приводит к развитию рефрактерной к лечению хронической боли, в связи с чем необходим поиск немедикаментозных и неинвазивных методов терапии, снижающих риск развития побочных эффектов и повышающих приверженность пациента лечению. Одним из таких направлений воздействия является ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС).

## ТРАНСКРАНИАЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ

Способом неинвазивной стимуляции структур центральной и периферической нервной системы стала ТМС, основанная на феномене магнитной индукции [15, 16]. Используя различные параметры и методы стимуляции, можно изменять нервную возбудимость, повышая или снижая ее [17–19], в частности, использование серии импульсов (ритмическая ТМС, рТМС) в низкочастотном режиме (частота стимуляции 1 Гц и менее) вызывает снижение возбудимости церебральных нейронов, а высокочастотный режим стимуляции (5 Гц и более) приводит к противоположному эффекту, оказывая активизирующую влияние на межнейрональные взаимодействия [20]. Применение рТМС вызывает модуляцию активности тормозного медиатора — гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК) и других нейротрансмиттеров [20], влияет на процесс оксидативного стресса [21], способствует функциональному восстановлению нейронов и улучшению двигательных функций [22, 23].

Исходя из возможностей рТМС, возникает вопрос о применении данного метода в лечении поражений периферической нервной системы, в частности полинейропатий, в том числе ДПН. В обзоре литературы мы приводим анализ имеющихся данных о применении рТМС в терапии ДПН.

Особенность патогенеза ДПН заключается в том, что при хронической гипергликемии наступают метаболические нарушения, приводящие к накоплению метаболитов оксидативного стресса и нарушению липидного обмена. Эти процессы в свою очередь ведут к изменениям в структуре нервных волокон: происходит поражение шванновских клеток, нарушение микроциркуляции, из-за чего нарушается трофики аксонов, что и вызывает их непосредственное поражение [24].

При ДПН, самым распространенным вариантом которой является дистальная симметричная поли-

**Таблица.** Характеристики различных вариантов рTMS при диабетической полинейропатии**Table.** Characteristics of various rTMS in diabetic polyneuropathy

Вариант рTMS, особенности rTMS type, patterns	Область стимуляции Stimulation area	Эффект Effect	Исследование Study
рTMS, 5 Гц / rTMS, 5 Hz H- и 8-образная катушка, 5 Гц H- and 8-shaped coil, 5 Hz	Первичная моторная кора ( $M_1$ ) Primary motor cortex ( $M_1$ )	Снижение уровня боли по ВАШ Pain reduction according to the VAS	T. Shimizu et al., 2017 [27]
рTMS, 20 Гц / rTMS, 20 Hz H-образная катушка / H-shaped coil	Дорсолатеральная префронтальная кора ( $F_3$ ) правого полушария / Right dorsolateral prefrontal cortex ( $F3$ )	Снижение уровня боли по ВАШ и данным ноцицептивного рефлекса сгибания / Pain reduction according to the VAS and the nociceptive flexion reflex data	E. Onesti et al., 2013 [28]
рTMS, 5 Гц / rTMS, 5 Hz катушка в виде двойного контура double contour coil	Первичная моторная кора ( $M_1$ ) Primary motor cortex ( $M_1$ )	Снижение уровня боли по ВАШ Pain reduction according to the VAS	L. Dongyang et al., 2021 [29]

**Примечание.** рTMS — ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция.**Note.** rTMS — rhythmic transcranial magnetic stimulation, VAS — visual analogue scale.

нейропатия, на начальных стадиях преимущественно страдают аfferентные волокна, затем вовлекаются волокна вегетативной нервной системы (ВНС), далее двигательные аксоны [7]. Поражение ВНС характеризуется развитием вегетативных нейропатий с кардиоваскулярными, желудочно-кишечными, урогенитальными и другими проявлениями. Реже встречаются изолированные или множественные мононейропатии, радикулопатии и полирадикулопатии [24].

Одной из основных жалоб пациентов с ДПН, которая часто бывает первой причиной обращения их за медицинской помощью и последующей диагностики СД, является невропатическая боль, описываемая как «жгучая», «простреливающая», эквивалентами которой могут быть также парастезии и мучительные дизестезии. При данном варианте хронического болевого синдрома назначаются ПЭП и антидепрессанты, имеющие ряд побочных эффектов и не всегда позволяющие полностью контролировать боль [25]. Дополнительным методом терапии, который может эффективно повлиять на клиническую картину ДПН, является рTMS.

Метод рTMS широко используется в лечении различных болевых синдромов, возникающих вследствие инсульта, травмы нервной системы, фибромиалгии и других заболеваний [8, 26]. В последнее десятилетие опубликован ряд метаанализов и систематических обзоров, посвященных изучению влияния и эффективности рTMS при хронических болевых синдромах различного генеза. На данный момент в базе PubMed представлено более 800 публикаций, где в терапии различных болевых синдромов применяется метод рTMS, в том числе и при ДПН (см. таблицу). Данный метод включен в клинические рекомендации Российского общества по изучению боли как метод терапии нейропатической боли [8].

В своем исследовании T. Shimizu et al. [27] продемонстрировали эффективность применения высокочастотной (5 Гц) рTMS при лечении нейропатического болевого синдрома в нижних конечностях в виде снижения выраженности боли по визуальной аналоговой шкале (ВАШ) по сравнению с имитацией этой процедуры или плацебо-стимуляции (см. таблицу). Было обнаружено, что применение H-формы катушки позволяет значимо снизить выраженность боли по ВАШ, нежели использование 8-образной катушки, что, возможно, объясняется стимулированием более глубоких структур головного мозга

Н-образным индуктором и активированием нисходящей антиноцицептивной системы [28].

Для терапии рефрактерного к фармакологическому лечению болевого синдрома при ДПН L. Dongyang et al. [29] проводили на протяжении 5 дней стимуляцию островковой доли 31 пациенту. Было продемонстрировано, что при рTMS интенсивность болевого синдрома по ВАШ снижается более чем на 50% от исходных данных по сравнению с плацебо-стимуляцией.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полинейропатия при СД является прогрессирующим патологическим состоянием и одним из наиболее значимых осложнений СД, приводящим к нарушению трудоспособности, выраженной дезадаптации, ранней инвалидизации и смерти пациентов. Длительное время ДПН может оставаться незамеченной для больных и медицинских специалистов, что обуславливает позднее начало терапии и профилактики дальнейших осложнений, а также увеличивает вероятность развития рефрактерного к медикаментозному лечению болевого синдрома. Эти обстоятельства диктуют необходимость поиска методов, позволяющих повысить эффективность или дополнить проводимую фармакологическую терапию, улучшая качество жизни и прогноз заболевания.

Метод рTMS является перспективным для лечения труднокурабельных хронических болевых синдромов, в том числе при ДПН, оказывает положительное влияние на имеющийся метаболический синдром и преддиабет. Метод рTMS безопасен, хорошо переносится, не имеет нежелательных явлений при проведении процедуры [30] и применяется в лечении полинейропатий различного генеза [31–33], что позволяет рекомендовать его к включению в клинические рекомендации по лечению СД.

Вместе с тем вопрос клинического использования рTMS при ДПН недостаточно изучен с точки зрения определения предикторов и критериев эффективности, не определен протокол стимуляции (область воздействия, режим дозирования, длительность и частота сеансов). Все это дает возможность для широкой научной деятельности по изучению и внедрению рTMS в лечение пациентов как с ДПН, так и с СД в целом.

**Литература / References**

1. Cho N.H., Shaw J.E., Karuranga S. et al. IDF diabetes atlas: Global estimates of diabetes prevalence for 2017 and projections for 2045. *Diabetes Res Clin Pract.* 2018;138:271–281. DOI: 10.1016/j.diabres.2018.02.023.
2. Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К. и др. Сахарный диабет в Российской Федерации: динамика эпидемиологических показателей по данным Федерального регистра сахарного диабета за период 2010–2022 гг. *Сахарный диабет.* 2023;26(2):104–123. DOI: 10.14341/DM13035.
- [Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K. et al. Diabetes mellitus in the Russian Federation: dynamics of epidemiological indicators according to the Federal Register of Diabetes Mellitus for the period 2010–2022. *Diabetes mellitus.* 2023;26(2):104–123 (in Russ.)]. DOI: 10.14341/DM13035.
3. Дедов И.И., Шестакова М.В., Майоров А.Ю. и др. Сахарный диабет 2 типа у взрослых. *Сахарный диабет.* 2020;23(2S):4–102. DOI: 10.14341/DM12507.
- [Dedov I.I., Shestakova M.V., Mayorov A.Y. et al. Diabetes mellitus type 2 in adults. *Diabetes mellitus.* 2020;23(2S):4–102 (in Russ.)]. DOI: 10.14341/DM12507.
4. Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К. и др. Эпидемиологические характеристики сахарного диабета в Российской Федерации: клинико-статистический анализ по данным регистра сахарного диабета на 01.01.2021. *Сахарный диабет.* 2021;24(3):204–221. DOI: 10.14341/DM12759.
- [Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K. et al. Epidemiological characteristics of diabetes mellitus in the Russian Federation: clinical and statistical analysis according to the Federal diabetes register data of 01.01.2021. *Diabetes mellitus.* 2021;24(3):204–221 (in Russ.)]. DOI: 10.14341/DM12759.
5. Екушева Е.В. Диабетическая невропатия — междисциплинарная проблема в клинической практике. *РМЖ.* 2021;10:50–55.
- [Ekusheva E.V. Diabetic neuropathy — an interdisciplinary problem in clinical practice. *RMJ.* 2021;10:50–55 (in Russ.)].
6. Ibrahim A. IDF Clinical Practice Recommendation on the Diabetic Foot: A guide for healthcare professionals. *Diabetes Res Clin Pract.* 2017;127:285–287. DOI: 10.1016/j.diabres.2017.04.013.
7. American Diabetes Association Professional Practice Committee. 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes-2022. *Diabetes Care.* 2022;45(Suppl 1):S17–S38. DOI: 10.2337/dc22-S002.
8. Давыдов О.С., Яхно Н.Н., Кукушкин М.Л. и др. Невропатическая боль: клинические рекомендации по диагностике и лечению Российского общества по изучению боли. *Российский журнал боли.* 2018;4:5–41. DOI: 10.25731/RASP.2018.04.025.
- [Davydov O.S., Yakhno N.N., Kukushkin M.L. et al. Neuropathic pain: clinical guidelines on the diagnostics and treatment from the Russian association for the studying of pain. *Russian Journal of Pain.* 2018;4:5–41 (in Russ.)]. DOI: 10.25731/RASP.2018.04.025.
9. Строков И.А., Фокина А.С. Современная терапия невропатической боли. Эффективная фармакотерапия. 2012;3:26–33.
- [Strokov I.A., Fokina A.S. Modern therapy of neuropathic pain. Effective pharmacotherapy. 2012;3:26–33 (in Russ.)].
10. Морозов А.М., Сороковикова Т.В., Жуков С.В. и др. Диабетическая дистальная полинейропатия: профилактика, лечение и реабилитация (обзор литературы). *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2022;3(57):68–77. DOI: 10.20340/vmi-rvz.2022.3.CLIN.4.
- [Morozov A.M., Sorokovikova T.V., Zhukov C.B. et al. Diabetic distal polyneuropathy: prevention, treatment and rehabilitation (review). *Bulletin of the medical Institute "REAVIZ". Rehabilitation, Doctor and Health.* 2022;3(57):68–77 (in Russ.)]. DOI: 10.20340/vmi-rvz.2022.3.CLIN.4.
11. Екушева Е.В. Ламотриджин в терапии хронических болевых синдромов. *Медицинский алфавит.* 2020;22:5–8. DOI: 10.33667/2078-5631-2020-22-5-8.
- [Ekusheva E.V. Lamotrigine in treatment of chronic pain syndromes. *Medical alphabet.* 2020;22:5–8 (in Russ.)]. DOI: 10.33667/2078-5631-2020-22-5-8.
12. Wiffen P.J., Derry S., Moore R.A. et al. Antiepileptic drugs for neuropathic pain and fibromyalgia — an overview of Cochrane reviews. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013;2013(11):CD010567. DOI: 10.1002/14651858.CD010567.pub2.
13. Wiffen P.J., Derry S., Bell R.F. et al. Gabapentin for chronic neuropathic pain in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;6(6):CD007938. DOI: 10.1002/14651858.CD007938.pub4.
14. Duehmke R.M., Derry S., Wiffen P.J. et al. Tramadol for neuropathic pain in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;6(6):CD003726. DOI: 10.1002/14651858.CD003726.pub4.
15. Mann S.K., Malhi N.K. Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023. PMID: 33760474.
16. Cole J.T. Handbook of Transcranial Magnetic Stimulation and Magnetic Stimulation of the Human Nervous System. *Spinal Cord.* 2002;40:258–258. DOI: 10.1038/SJ.SC.3101293.
17. Meng Y., Zhang D., Hai H. et al. Efficacy of coupling intermittent theta-burst stimulation and 1Hz repetitive transcranial magnetic stimulation to enhance upper limb motor recovery in subacute stroke patients: a randomized controlled trial. *Restor Neurol Neurosci.* 2020;38(1):109–118. DOI: 10.3233/RNN-190953.
18. Wang X., Mao Z., Ling Z., Yu X. Repetitive transcranial magnetic stimulation for cognitive impairment in Alzheimer's disease: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Neurol.* 2020;267(3):791–801. DOI: 10.1007/s00415-019-09644-y.
19. Fitzgerald P., Fountain S., Daskalakis Z. A comprehensive review of the effects of rTMS on motor cortical excitability and inhibition. *Clin Neurophysiol.* 2006;117(12):2584–2590. DOI: 10.1016/j.clinph.2006.06.712.
20. Куташов В.А., Ульянова О.В. 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 V.A., Ulyanova O.V. The use of transcranial magnetic stimulation in the complex treatment of patients with ischemic stroke in the late recovery period from the therapeutic and rehabilitation positions. *Vestnik fizioterapii i kurortologii.* 2018;24(3):73–80 (in Russ.)].
21. Tasset I., Pérez-Herrera A., Medina F.J. et al. Extremely low-frequency electromagnetic fields activate the antioxidant pathway Nrf2 in a Huntington's disease-like rat model. *Brain Stimul.* 2013;6(1):84–86. DOI: 10.1016/j.brs.2012.03.015.
22. Du J., Yang F., Hu J. et al. Effects of high- and low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on motor recovery in early stroke patients: Evidence from a randomized controlled trial with clinical, neurophysiological and functional imaging assessments. *Neuroimage Clin.* 2019;21:101620. DOI: 10.1016/j.nicl.2018.101620.
23. Полилова Ю.В., Дробышев В.А., Гецман Я.А., Шельякина О.В. Отдаленные результаты включения роботизированной механотерапии и транскраниальной магнитостимуляции в восстановительное лечение последствий спинальной травмы. Современные проблемы науки и образования. 2016;2:63.
- [Polilova Yu.V., Drobyshev V.A., Getsman Ya.A., Shelyakina O.V. Long-term results of the inclusion of robotic mechanotherapy and transcranial magnetostimulation in the rehabilitation treatment of the consequences of spinal injury. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2016;2:63 (in Russ.)].
24. Feldman E.L., Callaghan B.C., Pop-Busui R. et al. Diabetic neuropathy. *Nat Rev Dis Primers.* 2019;5(1):42. DOI: 10.1038/s41572-019-0097-9.
25. Умерова А.Р., Дорфман П., Орлова Е.А. Современные подходы к лечению диабетической полинейропатии. *РМЖ.* 2015;23(26):1538–1542.
- [Umerova A.R., Dorfman P., Orlova E.A. Modern approaches to the treatment of diabetic polyneuropathy. *RMJ.* 2015;23(26):1538–1542 (in Russ.)].
26. Eldaief M.C., Press D.Z., Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation in neurology: a review of established and prospective applications. *Neurol Clin Pract.* 2013;3(6):519–526. DOI: 10.1212/01.CP.0000436213.11132.8e.
27. Shimizu T., Hosomi K., Maruo T. et al. Efficacy of deep rTMS for neuropathic pain in the lower limb: a randomized, double-blind crossover trial of an H-coil and figure-8 coil. *J Neurosurg.* 2017;127(5):1172–1180. DOI: 10.3171/2016.9.JNS16815.
28. Onesti E., Gabriele M., Cambieri C. et al. H-coil repetitive transcranial magnetic stimulation for pain relief in patients with diabetic neuropathy. *Eur J Pain.* 2013;17(9):1347–1356. DOI: 10.1002/j.1532-2149.2013.00320.x.

29. Dongyang L., Fernandes A.M., da Cunha P.H.M. et al. Posterior-superior insular deep transcranial magnetic stimulation alleviates peripheral neuropathic pain — A pilot double-blind, randomized crossover study. *Neurophysiol Clin.* 2021;51(4):291–302. DOI: 10.1016/j.neucli.2021.06.003.

30. Войтенков В.Б., Екушева Е.В., Скрипченко Н.В., Дамулин И.В. Транскрианальная магнитная стимуляция в диагностике и терапии болевых синдромов у детей и взрослых. *Журнал неврологии и психиатрии имени С.С. Корсакова.* 2019;119(4):93–99. DOI: 10.17116/jnevro201911904193.

[Voitenkov V.B., Ekusheva E.V., Skripchenko N.V., Damulin I.V. Transcranial magnetic stimulation in the diagnostic and treatment of pain syndromes in children and adults. *Zhurnal Nevrologii i Psichiatrii imeni S.S. Korsakova.* 2019;119(4):93–99 (in Russ.)]. DOI: 10.17116/jnevro201911904193.

31. Гидаятова М.О., Флейшман А.Н., Ямщикова А.В. Способ лечения профессиональной вегетативно-сенсорной полинейропатии верхних конечностей. Патент РФ № 2732349 С1. Опубликовано 15.09.2020. Бюл. № 26.

[Gidayatova M.O., Fleishman A.N., Yamshchikova A.V. Method of treatment of occupational autonomic-sensory polyneuropathy upper limbs. RF patent No. 2732349 C1. Published 09.15.2020. Bull. No. 26 (in Russ.)].

32. Мартынов И.Д., Ямщикова А.В., Флейшман А.Н., Петровский С.А. Использование транскрианальной магнитной стимуляции префронтальной коры при профессиональных полинейропатиях. *Медицина в Кузбассе.* 2022;21(3):86–90. DOI: 10.24412/2687-0053-2022-3-86-90.

[Martynov I.D., Yamshchikova A.V., Fleishman A.N., Petrovsky S.A. The use of transcranial magnetic stimulation of the prefrontal cortex in occupational polyneuropathies. *Medicina v Kuzbasse.* 2022;21(3):86–90 (in Russ.)]. DOI: 10.24412/2687-0053-2022-3-86-90.

33. Гидаятова М.О., Мартынов И.Д., Ямщикова А.В., Флейшман А.Н. Транскрианальная магнитная стимуляция префронтальной коры головного мозга для коррекции вегетативных нарушений у шахтеров с полиневропатией. *Гигиена и санитария.* 2021;100(7):679–682. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-7-679-682.

[Gidayatova M.O., Martynov I.D., Yamshchikova A.V., Fleishman A.N. Effectiveness of transcranial magnetic stimulation of the prefrontal cortex for the correction of autonomic disorders in miners with polyneuropathy. *Gigiena i Sanitariya* (Hygiene and Sanitation, Russian journal). 2021;100(7):679–682 (in Russ.)]. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-7-679-682.

г. Москва, Волоколамское ш., д. 91; ORCID iD 0000-0003-0448-7402.

**Хоженко Елена Владимировна** — д.м.н., профессор кафедры нервных болезней и нейрореабилитации Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России; 125371, Россия, г. Москва, Волоколамское ш., д. 91; ORCID iD 0000-0003-0313-1754.

**Контактная информация:** Бобров Максим Павлович, e-mail: [gintoky95@gmail.com](mailto:gintoky95@gmail.com).

**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

**Конфликт интересов** отсутствует.

**Статья поступила** 02.08.2023.

**Поступила после рецензирования** 25.08.2023.

**Принята в печать** 19.09.2023.

#### ABOUT THE AUTHORS:

**Maxim P. Bobrov** — Resident of the 2<sup>nd</sup> year of the Department of Nervous Diseases and Neurological Rehabilitation, Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center of the Federal Medical Biological Agency of Russian Federation; 91, Volokolamskoe road, Moscow, 125371, Russian Federation; ORCID iD 0009-0000-5447-7320.

**Evgenia V. Ekusheva** — Dr. Sc. (Med.), Professor of the Department of Nervous Diseases and Neurological Rehabilitation, Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center of the Federal Medical Biological Agency of Russian Federation; 91, Volokolamskoe Road, Moscow, 125371, Russian Federation; Leading Researcher of the Laboratory "Problemy Starenia", Belgorod State University; 85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation; ORCID iD 0000-0002-3638-6094.

**Vladislav B. Voitenkov** — C. Sc. (Med.), Associate Professor of the Department of Nervous Diseases and Neurological Rehabilitation, Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center of the Federal Medical Biological Agency of Russian Federation; 91, Volokolamskoe road, Moscow, 125371, Russian Federation; Head of the Department of Functional Diagnostics, Children's Research and Clinical Center of Infectious Diseases of the Federal Medical Biological Agency; 9, Professor Popov Str., St. Petersburg, 197022, Russian Federation; ORCID iD 0000-0003-0448-7402.

**Elena V. Khozhenko** — Dr. Sc. (Med.), Professor of the Department of Nervous Diseases and Neurological Rehabilitation, Academy of Postgraduate Education of the Federal Scientific and Clinical Center of the Federal Medical Biological Agency of Russian Federation; 91, Volokolamskoe road, Moscow, 125371, Russian Federation; ORCID iD 0000-0003-0313-1754.

**Contact information:** Maxim P. Bobrov, e-mail: [gintoky95@gmail.com](mailto:gintoky95@gmail.com).

**Financial Disclosure:** no authors have a financial or property interest in any material or method mentioned.

**There is no conflict of interest.**

**Received** 02.08.2023.

**Revised** 25.08.2023.

**Accepted** 19.09.2023.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Бобров Максим Павлович** — ординатор 2-го года кафедры нервных болезней и нейрореабилитации Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России; 125371, Россия, г. Москва, Волоколамское ш., д. 91; ORCID iD 0009-0000-5447-7320.

**Екушева Евгения Викторовна** — д.м.н., профессор, заведующая кафедрой нервных болезней и нейрореабилитации Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России; 125371, Россия, г. Москва, Волоколамское ш., д. 91; старший научный сотрудник лаборатории проблем старения НИУ «БелГУ»; 308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, д. 85; ORCID iD 0000-0002-3638-6094.

**Войтенков Владислав Борисович** — к.м.н., заведующий отделением функциональной диагностики ФГБУ ДНКЦИБ ФМБА России; 197022, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 9; доцент кафедры нервных болезней и нейрореабилитации Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России; 125371, Россия,