

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ В КЛИНИЧЕСКОЙ НЕВРОЛОГИИ (НАУЧНЫЙ ОБЗОР)

Бобров М.П.<sup>1</sup>, Войтенков В.Б.<sup>1,2</sup>, Екушева Е.В.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Волоколамское шоссе, д. 91, Москва, 125371, Российская Федерация

<sup>2</sup> Детский научно-клинический центр инфекционных болезней ФМБА России, ул. Профессора Попова, д. 9, Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация

<sup>3</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация

### Резюме

Транскраниальная магнитная стимуляция — метод неинвазивной нейромодуляции, основанный на электромагнитной индукции электрического поля в тканях центральной и периферической нервной системы. Рассмотрены физические основы метода и параметры стимуляции. Представлен обзор применения транскраниальной магнитной стимуляции в лечении и реабилитации больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения, болевыми синдромами, нейродегенеративными заболеваниями. Проведен анализ публикаций российских исследователей на данную тему и рассмотрены научные перспективы использования транскраниальной магнитной стимуляции.

**Ключевые слова:** транскраниальная магнитная стимуляция, острые нарушения мозгового кровообращения, боль, нейродегенеративные заболевания, нейрореабилитация.

## PROSPECTIVE DIRECTIONS OF THERAPEUTIC TRANSCRANIAL MAGNETIC STIMULATION IN CLINICAL NEUROLOGY: A SCIENTIFIC REVIEW

Bobrov MP<sup>1</sup>, Voitenkov VB<sup>1,2</sup>, Ekusheva EV<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Academy of Postgraduate Education of FSBF FRCC of the FMBA, 91 Volokolamskoye Hwy, 125371 Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Children's Scientific and Clinical Center of Infectious Diseases of the FMBA, 9 Professora Popova St., 197022 St. Petersburg, Russian Federation

<sup>3</sup> Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., 308015 Belgorod, Russian Federation

### Abstract

Transcranial magnetic stimulation is a method of noninvasive neuromodulation based on electromagnetic induction of an electric field in the tissues of the central and peripheral nervous system. The physical basis of the method and the parameters of stimulation are considered. An overview of the use of transcranial magnetic stimulation in the treatment and rehabilitation of patients with stroke, pain syndromes, neurodegenerative diseases is presented. The analysis of publications of Russian researchers on this topic is carried out and the scientific prospects of using transcranial magnetic stimulation are considered.

**Keywords:** transcranial magnetic stimulation, stroke, pain, neurodegenerative diseases, neurorehabilitation.

**Publication ethics.** The submitted article was not previously published. All borrowings are correct.

**Conflict of interest.** There is no information about a conflict of interest.

**Source of financing.** The study had no sponsorship.

Received: 14.11.2022

Accepted for publication: 15.03.2023

Бобров М.П., Войтенков В.Б., Екушева Е.В. Перспективные направления применения терапевтической транскраниальной магнитной стимуляции в клинической неврологии (научный обзор) // Физическая и реабилитационная медицина. — 2023. — Т. 5. — № 1. — С. 72-82. DOI: 10.26211/2658-4522-2023-5-1-72-82.

Bobrov MP, Voitenkov VB, Ekusheva EV. Perspektivnye napravleniya primeneniya terapevticheskoi transkraniialnoi magnitnoi stimulyacii v klinicheskoi nevrologii (nauchnyi obzor) [Prospective Directions of Therapeutic Transcranial Magnetic Stimulation in Clinical Neurology: A Scientific Review]. Fizicheskaya i reabilitacionnaya medicina [Physical and Rehabilitation Medicine]. 2023;5(1):72-82. DOI: 10.26211/2658-4522-2023-5-1-72-82. (In Russian).

Владислав Борисович Войтенков / Vladislav B. Voitenkov; e-mail: vlad203@inbox.ru

## Введение / Introduction

Транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) — метод неинвазивной стимуляции центральной или периферической нервной системы с помощью продукции высокочастотного или низкочастотного магнитного поля, которое модулирует процессы возбуждения или торможения в нейрональных сетях и их элементах [1]. Активное применение ТМС началось с середины 80-х гг. XX в. [2]. Интерес к данному методу неуклонно растет в связи с тем, что ТМС является неинвазивным методом и обладает возможностью применения в диагностике и лечении многих неврологических и психических заболеваний [3, 4].

### *Физические основы действия ТМС / The physical basis of transcranial magnetic stimulation*

Метод применения ТМС основан на явлении электромагнитной индукции [5]. Устройство, которое продуцирует короткий электрический ток в катушке, генерирует магнитное поле мощностью 1,5–2 Тл перпендикулярно направлению движения тока, проникающее в ткани головного мозга на глубину от 1,5 до 2 см [5, 6]. Под действием индукционного электрического поля происходят деполяризация мембран корковых нейронов с возникновением потенциалов действия и распространение возбуждения в стимулируемых участках коры головного мозга [7, 8]. Нейромодуляторный эффект зависит от ряда параметров: частота, интенсивность, продолжительность, область воздействия, количество сеансов [1, 9]. Частота импульсов влияет на то, какой эффект ТМС будет оказывать на корковую возбудимость: низкочастотная ТМС (от 1 до 5 Гц) снижает корковую возбудимость, а высокочастотная (от 1 до 50 Гц) — повышает [10, 11].

В зависимости от размеров и форм катушки меняется интенсивность и ориентация магнитного поля, глубина проникновения [12, 13–16]. Так, с использованием 8-образной катушки можно осуществить локальную (с точностью до 0,5 см) стимуляцию коры полушарий головного мозга; круглая катушка имеет большую площадь воздействия, а специальные Н-образные катушки позволяют импульсу проникать в глубокие структуры головного мозга [8, 17–19].

В клинической практике в качестве терапевтического средства применяется ритмическая ТМС (рТМС) [20]. Основной областью применения являются психоневрологические расстройства, такие как депрессия, шизофрения, эпилепсия [3, 19]. Другими направлениями применения рТМС являются лечение и реабилитация больных, перенесших острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК) [21, 22], лечение хронической боли

[23–25], использование при нейродегенеративных заболеваниях [4, 26].

Изменение корковой возбудимости путем применения рТМС может быть использовано для реабилитации пациентов с ОНМК [27, 28]. В целях изучения эффекта воздействия рТМС в остром периоде ОНМК группой исследователей была дана оценка применения высоко- и низкочастотной рТМС [29]. В качестве исследуемых была взята выборка из 60 человек с впервые перенесенным ишемическим инсультом, которых разделили на 3 группы и которым к стандартной терапии было добавлено 5 процедур рТМС: к первой — высокочастотная рТМС, которая воздействовала на первичную моторную кору на стороне поражения; ко второй — низкочастотная рТМС, которая воздействовала на первичную моторную кору на противоположной поражению стороне; третья группа была контрольной. По результатам оказалось, что улучшение двигательных функций в первых двух группах значительно выше, чем в контрольной. Было показано, что корковая активность на стороне поражения сильно коррелирует с двигательной функцией как непосредственно после прохождения процедур, так и по прошествии 3 месяцев, что может свидетельствовать о том, что применение высоко- и низкочастотной рТМС может помочь в восстановлении двигательных функций в острый период ОНМК и что эффект сохраняется длительное время.

Некоторые исследования продемонстрировали использование рТМС вместе с различными методами реабилитации. Группа исследователей решила проверить взаимодействие рТМС с зеркальной терапией (ЗТ) у пациентов с двигательными нарушениями в руке после перенесенного ОНМК [30]. Было выбрано 20 пациентов с подострым ишемическим инсультом, которых разделили на две группы: в первой к ЗТ добавили высокочастотную рТМС (20 Гц), которая воздействовала на проекцию руки в моторной коре; во второй группе была применена только высокочастотная рТМС. При оценке результатов была получена значительная разница в восстановлении двигательных функций. В первой группе функция руки восстановилась значительно лучше. Однако не совсем ясно, насколько применение высокочастотной рТМС могло усилить эффект ЗТ по сравнению с изолированным применением ЗТ. В другом исследовании проводилось изучение эффективности применения рТМС с терапией двигательными образами (АОТ) [31]. В этом исследовании приняли участие 22 пациента с подострым инсультом, которых случайно поделили на 2 группы: в первой группе проводили рТМС (1 Гц) и АОТ; во второй — только рТМС. Применение рТМС включало в себя 20-минутное воздействие на моторную кору противо-

положительного поражения полушария на протяжении 10 дней. В результате было выявлено значительное улучшение двигательных функций в обеих группах. Отличия составляли в выполнении отдельных тестов и силе сжатия, которые в первой группе оказались выше. Таким образом, можно сделать вывод о том, что комбинация рТМС с другими методами нейрореабилитации обладает лучшим восстановительным эффектом, чем отдельное применение рТМС в остром и подостром периодах ОНМК. С другой стороны, данные исследований не показывают насколько усиливается эффект восстановления функций при подключении рТМС к процессу реабилитации.

Несколько исследований продемонстрировало применение рТМС с двигательными образами (ДО) в лечении двигательных нарушений верхней конечности. ДО является методом реабилитации, при котором пациент мысленно выполняет движение, но не делает его и так же не напрягает при этом мышцы [32]. В качестве эффективности комбинированного использования рТМС и ДО авторы [33] изучили две группы пациентов с двигательными нарушениями после ОНМК: в первой группе проводили низкочастотную рТМС над первичной моторной корой в противоположном поражению полушария и ДО; во второй группе проводилась только низкочастотная рТМС. В каждой из групп было 10 процедур рТМС по 30 мин на протяжении 2 недель. Оценка результатов показала, что в обеих группах улучшились двигательные функции, но в первой группе улучшение двигательных функций оказалось значительно выше по сравнению со второй ( $p < 0,05$ ).

В другом исследовании было изучено комбинированное взаимодействие рТМС, электрической стимуляции (ЭС) и применения ДО у пациентов, перенесших ОНМК, с ограничением двигательных функций верхней конечности [34, 35]. Было выделено две группы с пациентами в подостром периоде ОНМК: в первой группе проводили низкочастотную рТМС, ЭС и ДО; во второй группе — рТМС, ДО и имитировали ЭС. Данная терапия проводилась 5 дней в неделю на протяжении 2 недель. В качестве оценки результатов использовалась шкала Фугл-Мейера (FMA). По окончании исследования было установлено улучшение двигательных функций в обеих группах, но в первой группе количество баллов FMA было значительно выше. Можно сделать вывод, что комбинированное применение низкочастотной рТМС, ДО, ЭС может эффективно применяться в реабилитации больных с двигательными нарушениями в верхней конечности после перенесенного ОНМК.

За последние 15 лет появилось много исследований, позволяющих оценить эффект рТМС при применении у больных с хроническими бо-

левыми синдромами различной этиологии [7, 26]. Так Malfitano C, Rossetti A, Scarano S, Malloggi C, Tesio L. [36] был проведен разбор клинического случая 32-летней женщины, перенесшей ишемический инсульт в области правого таламуса с лекарственной резистентностью к лечению боли и левосторонней парестезией. Двигательных нарушений не было, но присутствовала жгучая боль и аллодиния при легком прикосновении. В качестве терапии через 40 дней после ОНМК были включены 10 процедур высокочастотной рТМС (10 Гц), которая была направлена на первичную моторную кору, на проекцию руки. В качестве оценки результатов использовали опросник и корковый ответ на одиночный и двойной ответ ТМС до начала лечения (T0), сразу после (T1) и через 1 месяц после лечения (T2). В T0 пациентка испытывала выраженный болевой синдром, и возбудимость с моторной коры была снижена. В период T1 и T2 оценка выраженности боли и парестезии снизилась. Клиническое улучшение наблюдалось вместе с восстановлением возбудимости моторной коры пораженного полушария.

Другое исследование, двойное слепое, плацебо-контролируемое, также исследовало влияние рТМС у пациентов с центральной болью [37]. В нем пациентов с центральной болью разделили на две группы: в первой группе применяли высокочастотную рТМС (10 Гц) на область премоторной коры и дорсолатеральной префронтальной коры ежедневно в течение 10 дней; второй группе проводили имитацию рТМС. Оценка эффективности проводилась с помощью визуальной аналоговой шкалы до начала проведения процедур, во время лечения и через 1, 2 и 4 недели. Однако исследование было завершено из-за того, что у 21 пациента из первой группы после прохождения лечения и последующего наблюдения не было значительного изменения оценки боли по сравнению с началом исследования, что может говорить о том, что рТМС при воздействии на область премоторной коры и дорсолатеральной префронтальной коры не вызывает анальгезирующий эффект.

Другой перспективной областью применения рТМС является ее использование у пациентов с фибромиалгией [38, 39]. В целях изучения влияния рТМС на течение фибромиалгии группой исследователей была сделана выборка из 49 женщин, которых разделили на 3 группы: в первой группе, состоящей из 16 женщин, в качестве лечения применяли физические упражнения на протяжении 8 недель, по два 60-минутных занятия в неделю; во второй группе из 17 женщин применяли высокочастотную рТМС по 6 процедур в течение 2 недель; третья группа из 16 женщин была контрольной [40]. В динамике (до начала лечения, через 2 и 8 недель) производилась оценка таких пока-

зателей как ощущение боли, оценка болевого порога при надавливании, выносливость и функциональные способности, утомляемость, скорость и мощность походки, а также эмоциональный статус (депрессия, стресс и удовлетворение). В результате удалось установить, что в группе с применением рТМС наблюдалось значительное улучшение всех показателей, в группе с физическими упражнениями наблюдалось улучшение показателей среднего болевого порога давления, воспринимаемого общего воздействия физических упражнений и общего балла, выносливости и функциональных возможностей, скорости и силы, тревоги, депрессии и стресса. В контрольной группе значимого роста показателей не наблюдалось.

В другом исследовании [41] изучали лечебный эффект низкочастотной рТМС при лечении фибромиалгии. В исследование было включено 90 пациентов, которых разделили на две группы: в первой использовали низкочастотную рТМС (1 Гц) на область правой дорсолатеральной префронтальной коры по 5 раз в неделю на протяжении 4 недель; во второй группе имитировали рТМС. В первой группе после лечения наблюдалось значительное снижение средней оценки боли по сравнению с контрольной группой. Данное состояние сохранялось и после 6 месяцев наблюдения. В более крупном исследовании [42], в котором приняли участие 560 женщин, также изучался лечебный эффект низкоинтенсивной рТМС. Участники были разделены на две группы по 260 человек: в группе 1 применяли стандартное фармакологическое лечение; в группе 2 к стандартному фармакологическому лечению добавили низкоинтенсивную рТМС, которая состояла из 8 процедур по 20 минут один раз в неделю. В качестве оценки использовались индекс распространения боли (widespread pain index, WPI), шкала оценки тяжести симптомов (symptoms severity score, SS score), модифицированный опросник фибромиалгии (Spanish-validated version of the FM impact questionnaire, S-FIQ). Результаты оценивались в начале лечения, в конце лечения и через 2, 12 и 24 недели после последней процедуры рТМС. Начиная со второй недели после окончания лечения, было выявлено значительное улучшение по исследуемым показателям, которое сохранялось и через 24 недели после лечения. По данным этих исследований можно сделать вывод о том, что применение рТМС в лечении фибромиалгии, особенно в совокупности с другими методами лечения, оказывает положительный эффект на течение заболевания.

Другой областью применения рТМС может послужить лечение скелетномышечной боли у пациентов с болезнью Паркинсона (БП). Такое исследование провели авторы [43] среди 52 пациентов, которых разделили на 2 группы: в первой группе из

26 человек в качестве лечения применяли высокочастотную рТМС (20 Гц) на область первичной моторной коры, состоящую из 5 процедур; во второй группе применяли имитацию рТМС. Результаты оценивались с помощью цифровой рейтинговой шкалы (ЦРШ), в том числе оценивались двигательные функции, шкала тревоги, шкала депрессии, вегетативные расстройства и общая оценка тяжести БП. После анализа результатов было выявлено, что в первой группе достоверно ( $p < 0,001$ ) наблюдались значительные улучшения показателей ЦРШ и в других исследуемых шкалах, которых не было во второй группе. Это может говорить о том, что применение высокочастотной рТМС на область первичной моторной коры в составе дополнительной терапии может использоваться для снижения скелетномышечной боли у пациентов с БП.

Если рассмотреть научные публикации исследований в России на тему применения ТМС в лечении и реабилитации больных с неврологическими и психоневрологическими заболеваниями, видно, что авторами изучен широкий пласт нозологий, при которых возможно эффективное применение ТМС: лечение депрессии [44], в том числе фармакорезистентной депрессии [45], генерализованного тревожного расстройства [46]; использование у больных с центральной постинсультной болью [47], лечение хронической головной боли напряжения [48]; применение в реабилитации больных с ОНМК [49, 50]. В целях изучить показания и противопоказания, а также эффективность влияния ТМС на когнитивные нарушения пациентов с ишемическим инсультом при комплексном их лечении с лечебно-реабилитационных позиций В.А. Куташов, О.В. Ульянова [51] провели обследование 105 пациентов с ишемическим инсультом в позднем восстановительном периоде. Клинический статус больных, динамика, выраженность клинических проявлений оценивались с помощью использования различных шкал (оценка степени КН (MMSE), индекс мобильности Ривермид, Рэнкин, NIHSS, оценка уровня нарушения кратковременной памяти, госпитальная шкала тревоги и депрессии HADS). На начало исследования клинический статус пациентов расценивался как средней тяжести (10,0 баллов по шкале NIHSS). Лечение ТМС проводилось ежедневно в течение 10 дней. При оценке результатов было выявлено, что в исследуемой группе наблюдалось улучшение качества сна, нормализация когнитивных функций. Помимо этого, отмечалось улучшение кратковременной памяти, снижался уровень тревожности и депрессии. Включение ТМС в лечение ишемического инсульта в позднем восстановительном периоде положительно влияло на общую повседневную активность у больных ос-



новой группы по шкале Рэнкина до 72,1 %, а по индексу мобильности Ривермид — на 11,4±0,2 балла. Через 2 недели комплексного лечения в основной группе показатели шкалы NIHSS снизились на 35 % (основная группа;  $p < 0,05$ ). В контрольной группе, получавшей стандартный реабилитационный комплекс, эти изменения составили всего 17 % ( $p < 0,05$ ), то есть в два раза ниже, чем в основной. В то же время были получены данные за улучшение церебрального кровотока во внутренней сонной артерии на 48,5 % на стороне пораженного полушария. Данный клинический эффект сохранялся не только по окончании лечения, но и после него. На основании этого исследования можно сделать выводы о том, что применение ТМС в поздний восстановительный период у пациентов с ишемическим инсультом способствует регрессу неврологических расстройств, двигательного дефицита, улучшению психоэмоционального фона, восстанавливает когнитивные функции.

В России исследователями также изучен вопрос применения ТМС у пациентов с различными болевыми синдромами [52]. В свою очередь, А.Г. Пойдашева, И.С. Бакулин, Д.Ю. Лагода [53] оценили эффективность использования ТМС в лечении больных с невралгией тройничного нерва. В исследование было включено 20 пациентов,

которые получили 10 процедур высокочастотной рТМС на область первичной моторной коры (зона кисти) контрлатерального поражению полушария. Оценку результатов проводили с помощью числовой аналоговой шкалы качества жизни по опроснику SF-36, выраженность аффективных расстройств — по опроснику депрессии Бека (BDI). При оценке эффекта курса рТМС выявлено статистически значимое уменьшение максимальной ( $p = 0,01$ ) и средней ( $p < 0,01$ ) интенсивности боли. У 50 % пациентов максимальная интенсивность боли снизилась более чем на 30 % от исходного уровня. Также наблюдались значимые изменения согласно опроснику SF-36. Степень аффективных расстройств значимо не менялась. В результате неконтролируемого исследования была показана возможная эффективность применения высокочастотной рТМС для уменьшения интенсивности болевого синдрома у пациентов с невралгией тройничного нерва.

Ряд нозологий, при которых возможно применение лечебной ТМС, мало изучен российскими специалистами. К таким заболеваниям можно отнести: болезнь Альцгеймера; состояние после различных травм центральной и периферической нервных систем; полинейропатии. Ряд исследований представлен в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

**Применение транскраниальной магнитной стимуляции  
при различных заболеваниях и состояниях /  
The use of transcranial magnetic stimulation in various diseases and conditions**

Заболевание, состояние / Disease, condition	Вариант ТМС / Variant of transcranial magnetic stimulation	Область воздействия / Area of impact	Результат / Result	Исследование / Study
Последствия черепно-мозговой травмы легкой степени тяжести / Consequences of mild traumatic brain injury	Высокочастотная, 10 Гц	Дорсолатеральная префронтальная кора	Снижение уровня астении, тревожности, депрессии	И.В. Литвиненко и соавт. 2020 [54]
Последствия спинальной травмы / Consequences of spinal injury	При повышенном тоне мышц — низкочастотная, меньше 5 Гц. При повышенном тоне мышц — высокочастотная, более 5 Гц	Не указана	Уменьшение неврологического дефицита, уменьшение потребности во вспомогательных средствах передвижения	Ю.В. Полилова и соавт. 2016 [55]
Травматическое поражение лобных долей / Traumatic lesion of the frontal lobes	Высокочастотная, 10 Гц	Дорсолатеральная префронтальная кора	Увеличение скорости психических процессов, улучшение нейродинамических показателей	О.Р. Добрушина и соавт. 2014 [56]

Заболевание, состояние / Disease, condition	Вариант ТМС / Variant of transcranial magnetic stimulation	Область воздействия / Area of impact	Результат / Result	Исследование / Study
Полинейропатия при вибрационной болезни / Polyneuropathy in vibration disease	Низкочастотная, 1 Гц	Дорсолатеральная префронтальная кора	Уменьшение чувствительных и вегетативных нарушений	И.Д. Мартынов и соавт. 2022 [57]
Полинейропатия верхних конечностей / Polyneuropathy of the upper extremities	Низкочастотная, 1 Гц	Дорсолатеральная префронтальная кора	Нормализация автономной регуляции	М.О. Гидаева и соавт. 2021 [58]

### Выводы / Summary

ТМС — метод, который широко применяется в лечении ряда неврологических и психоэмоциональных расстройств. Преимуществами его применения можно назвать неинвазивность, хорошую переносимость, возможность модулировать воздействие под конкретный клинический случай. Особенно интересны данные о применении ТМС у пациентов с рефрактерными к стандартной терапии хроническими болевыми синдромами. Использование ТМС может значительно улучшить качество жизни пациента, снизить выраженность боли, расширить привычные схемы консервативной терапии. ТМС показывает хорошие результаты применения в лечении и реабилитации пациентов после ОНМК, оказывает хорошее влияние на психоэмоциональный фон, способствует восстановлению когнитивных функций и повседневной активности пациентов. Необходимо проведение дополнительных исследований, которые могут конкретизировать режимы применения ТМС при различных неврологических заболеваниях, что впоследствии поможет врачу расширить схемы лечения и реабилитации пациентов.

**Этика публикации.** Представленная статья ранее опубликована не была, все заимствования корректны.

**Конфликт интересов.** Информация о конфликте интересов отсутствует.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

### Литература

1. 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 // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. — 2019. — Т. 119. — № 4. — С. 93-99. — DOI 10.17116/jnevro201911904193.
2. Barker AT, Jalinous R, Freeston IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *Lancet*. 1985;1:1106-09. DOI: 10.1016/s0140-6736(85)92413-4.
3. Lefaucheur JP, André-Obadia N, Poulet E, Devanne H et al. Recommandations françaises sur l'utilisation de la stimulation magnétique transcrânienne répétitive (rTMS) : règles de sécurité et indications thérapeutiques [French guidelines on the use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): safety and therapeutic indications]. *Neurophysiol Clin. French*. 2011 Dec;41(5-6):221-95. DOI: 10.1016/j.neucli.2011.10.062.
4. Бакулин И.С., Пойдашева А.Г., Лагода Д.Ю. и др. Перспективы развития терапевтической транскраниальной магнитной стимуляции // Нервные болезни. — 2021. — № 4. — С. 3-10. DOI 10.24412/2226-0757-2021-12371.
5. Rossia S, Hallett M, Rossini PM, Pascual-Leone A. Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. *Clin Neurophysiol*. 2009; 120(12): 2008-39.
6. Najib U, Bashir S, Edwards D, Rotenberg A. Transcranial brain stimulation: clinical applications and future directions. *Neurosurg Clin N Am*. 2011 Apr;22(2):233-51. DOI: 10.1016/j.nec.2011.01.002.
7. Eldaief MC, Press DZ, Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation in neurology: A review of established and prospective applications. *Neurol Clin Pract*. 2013 Dec;3(6):519-26. DOI: 10.1212/01.CPJ.0000436213.11132.8e.
8. Huerta P, Volpe B. Transcranial magnetic stimulation, synaptic plasticity and network oscillations. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2009 Mar 2;6:7. DOI: 10.1186/1743-0003-6-7.
9. Meng Y, Zhang D, Hai H, Zhao YY. 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):109-18. DOI: 10.3233/RNN-190953.
10. 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 Mar;267(3):791-801. DOI: 10.1007/s00415-019-09644-y.
11. Fitzgerald P, Fountain S, Daskalakis Z. A comprehensive review of the effects of rTMS on motor cortical excitability and inhibition. *Clinical Neurophysiology*. 2006;117(12):2584-90. DOI: 10.1016/j.clinph.2006.06.712.
12. Jalinous R. Technical and practical aspects of magnetic nerve stimulation. *J Clin Neurophysiol*. 1991 Jan;8(1): 10-25. DOI: 10.1097/00004691-199101000-00004.

13. Fitzgerald P, Fountain S, Daskalakis Z. A comprehensive review of the effects of rTMS on motor cortical excitability and inhibition. *Clinical Neurophysiology*. 2006;117(12):2584-90. DOI: 10.1016/j.clinph.2006.06.712.
14. Wagner T, Valero-Cabre A, Pascual-Leone A: Noninvasive human brain stimulation. *Annu Rev Biomed Eng* 2007, 9:527-65.
15. Kujirai T, Caramia MD, Rothwell JC, Day BL et al. Corticocortical inhibition in human motor cortex. *J Physiol* 1993;471:501-19.
16. Chen R, Classen J, Gerloff C, Celnik P et al. Depression of motor cortex excitability by low-frequency transcranial magnetic stimulation. *Neurology*. 1997 May;48(5):1398-403. DOI: 10.1212/wnl.48.5.1398.
17. Eldaief MC, Press DZ, Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation in neurology: A review of established and prospective applications. *Neurol Clin Pract*. 2013 Dec;3(6):519-26. DOI: 10.1212/01.CPJ.0000436213.11132.8e.
18. Cohen D, Cuffin BN. Developing a more focal magnetic stimulator. Part I: Some basic principles. *J Clin Neurophysiol*. 1991 Jan;8(1):102-11. DOI: 10.1097/00004691-199101000-00013.
19. Yunokuchi K, Cohen D. Developing a more focal magnetic stimulator. Part II: Fabricating coils and measuring induced current distributions. *J Clin Neurophysiol*. 1991 Jan;8(1):112-20.
20. Червяков А.В., Пойдашева А.Г., Коржова Ю.Е., Супонева Н.А. и др. Ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция в неврологии и психиатрии. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. — 2015. — Т. 115. — № 12. — С. 7–18.
21. Lefaucheur JP, André-Obadia N, Antal A, Ayache SS et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). *Clin Neurophysiol*. 2014 Nov;125(11):2150-2206. DOI: 10.1016/j.clinph.2014.05.021.
22. Dionísio A, Duarte IC, Patrício M, Castelo-Branco M. The Use of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Stroke Rehabilitation: A Systematic Review. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2018 Jan;27(1):1-31. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.008.
23. Li T, Zeng X, Lin L, Xian T et al. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation with different frequencies on post-stroke aphasia: A PRISMA-compliant meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2020 Jun 12;99(24):e20439. DOI: 10.1097/MD.00000000000020439.
24. Сорокин Ю. Н. Транскраниальная магнитная стимуляция при хронических болевых синдромах // *Университетская клиника*. — 2021. — № 2. — С. 127-133. DOI 10.26435/uc.v0i2(39).699.
25. Hamid P, Malik BH, Hussain ML. Noninvasive Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) in Chronic Refractory Pain: A Systematic Review. *Cureus*. 2019 Oct 29;11(10):e6019. DOI: 10.7759/cureus.6019.
26. Давыдов О.С., Яхно Н.Н., Кукушкин М.Л., Чурюканов М.В. и др. Невропатическая боль: клинические рекомендации по диагностике и лечению Российского общества по изучению боли. — 2018. Доступен по: [https://painrussia.ru/russian-Journal-of-Pain/10.25731/RGBoli\\_4\\_2018\\_Article25.pdf](https://painrussia.ru/russian-Journal-of-Pain/10.25731/RGBoli_4_2018_Article25.pdf). (дата обращения: 25.01.2022).
27. Trung J, Hanganu A, Jobert S, Degroot C et al. Transcranial magnetic stimulation improves cognition over time in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. 2019 Sep;66:3-8. DOI: 10.1016/j.parkreldis.2019.07.006.
28. Eldaief M, Press D, Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation in neurology. *Neurology. Clinical Practice*. 2013 Dec: 519–25.
29. Hallett M, Wassermann EM, Pascual-Leone A et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation. Recommendations for the practice of clinical neurophysiology: guidelines of the international federation of clinical neurophysiology. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. (2nd ed.). 1999; Suppl. 52:105–13.
30. Du J, Yang F, Hu J, 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.
31. Kim J, Yim J. Effects of High-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Combined with Task-Oriented Mirror Therapy Training on Hand Rehabilitation of Acute Stroke Patients. *Med Sci Monit*. 2018 Feb 6;24:743-50. DOI: 10.12659/msm.905636.
32. Noh JS, Lim JH, Choi TW, Jang SG et al. Effects and safety of combined rTMS and action observation for recovery of function in the upper extremities in stroke patients: A randomized controlled trial. *Restor Neurol Neurosci*. 2019;37(3):219-30. DOI: 10.3233/RNN-180883.
33. Mulder T. Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation. *J Neural Transm (Vienna)*. 2007;114(10):1265-78. DOI: 10.1007/s00702-007-0763-z.
34. Pan W, Wang P, Song X, Sun X et al. The Effects of Combined Low Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation and Motor Imagery on Upper Extremity Motor Recovery Following Stroke. *Front Neurol*. 2019 Feb 19;10:96. DOI: 10.3389/fneur.2019.00096.
35. Kang JH, Kim MW, Park KH, Choi YA. The effects of additional electrical stimulation combined with repetitive transcranial magnetic stimulation and motor imagery on upper extremity motor recovery in the subacute period after stroke: A preliminary study. *Medicine (Baltimore)*. 2021 Sep 3;100(35):e27170. DOI: 10.1097/MD.00000000000027170.
36. Malfitano C, Rossetti A, Scarano S, Malloggi C et al. Efficacy of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Acute Central Post-stroke Pain: A Case Study. *Front Neurol*. 2021 Nov 11;12:742567. DOI: 10.3389/fneur.2021.742567.
37. de Oliveira RA, de Andrade DC, Mendonça M, Barros R et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the left premotor/dorsolateral prefrontal cortex does not have analgesic effect on central poststroke pain. *J Pain*. 2014 Dec;15(12):1271-81. DOI: 10.1016/j.jpain.2014.09.009.
38. Conde-Antón Á, Hernando-Garijo I, Jiménez-Del-Barrio S, Mingo-Gómez MT, et al. Effects of transcranial direct current stimulation and transcranial magnetic stimulation in patients with fibromyalgia. A systematic review. *Neurologia (Engl Ed)*. 2020 Oct 15;S0213-4853(20):30278-4. English, Spanish. DOI: 10.1016/j.nrl.2020.07.024.
39. Cheng CM, Wang SJ, Su TP, Chen MH et al. Analgesic effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on modified 2010 criteria-diagnosed fibromyalgia: Pilot study. *Psychiatry Clin. Neurosci*. 2019;73(4):187-93. DOI: 10.1111/pcn.12812.
40. Izquierdo-Alventosa R, Inglés M, Cortés-Amador S, Gimeno-Mallench L et al. Effectiveness of High-Frequency Transcranial Magnetic Stimulation and



- Physical Exercise in Women With Fibromyalgia: A Randomized Controlled Trial. *Phys Ther.* 2021 Oct 1; 101(10):pzab159. DOI: 10.1093/ptj/pzab159.
41. Tanwar S, Mattoo B, Kumar U, Bhatia R. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the prefrontal cortex for fibromyalgia syndrome: a randomised controlled trial with 6-months follow up. *Adv Rheumatol.* 2020 Jun 29;60(1):34. DOI: 10.1186/s42358-020-00135-7.
  42. Pareja JL, Cáceres O, Zambrano P, Martín F et al. Treatment with low-intensity transcranial magnetic stimulation in women with fibromyalgia improves diagnostic variables up to 6 months after treatment completion. *Clin Exp Rheumatol.* 2022 Jun;40(6):1112-8. DOI: 10.55563/clinexprheumatol/gd4v6h.
  43. Li J, Mi TM, Zhu BF, Ma JH. High-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation over the primary motor cortex relieves musculoskeletal pain in patients with Parkinson's disease: A randomized controlled trial. *Parkinsonism Relat Disord.* 2020 Nov;80:113-9. DOI: 10.1016/j.parkreldis.2020.07.006.
  44. Маслеников, Н. В., Цукарзи Э. Э., Мосолов С. Н. Депрессии при шизофрении: оценка когнитивных функций в динамике при лечении транскраниальной магнитной стимуляцией // Социальная и клиническая психиатрия. — 2013. — Т. 23. — № 1. — С. 5-11.
  45. Изнак А. Ф., Изнак Е. В., Дамянович Е. В. и др. Транскраниальная магнитная стимуляция в комплексной терапии фармакорезистентной депрессии: динамика клинических, психологических и ЭЭГ показателей // Физиология человека. — 2015. — Т. 41. — № 5. — С. 57. DOI 10.7868/S0131164615050057.
  46. Тимурбулатов И. Ф., Гулиев М. А. Транскраниальная магнитная стимуляция в лечении генерализованного тревожного расстройства // Психиатрия, психотерапия и клиническая психология. — 2019. — Т. 10. — № 4. — С. 663-667.
  47. Червяков А. В., Белопасова А. В., Пойдашева А. Г. и др. Транскраниальная магнитная стимуляция в лечении центрального постинсультного болевого синдрома // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* — 2013. — Т. 7. — № 4. — С. 45-50.
  48. Искра Д. А., Фрунза Д. Н. Повторная транскраниальная магнитная стимуляция в лечении хронических головных болей напряжения // *Вестник Российской Военно-медицинской академии.* — 2012. — Т. 39. — № 3. — С. 34-38.
  49. Токарева Д.В., Полякова А.В., Вознюк И.А., Забиров С.Ш. Возможности транскраниальной магнитной стимуляции в программе восстановительного лечения в остром периоде инсульта // Неотложные состояния в неврологии: современные методы диагностики и лечения : Сборник статей и тезисов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 140-летию со дня рождения Михаила Ивановича Аствацатурова / Под ред. И.В. Литвиненко. — Санкт-Петербург: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, 2017. — С. 185.
  50. Акимжанова А.К., Гржибовский А.М., Хайбуллин Т.Н. и др. Эффективность транскраниальной магнитной стимуляции в реабилитации пациентов с мозговым инсультом // *Наука и здравоохранение.* — 2016. — № 4. — С. 50-65.
  51. 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. — Т. 24. — № 3. — С. 73-80.
  52. 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 // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* — 2019. — Т. 119. — № 4. — С. 93-99. — DOI 10.17116/jnevro201911904193.
  53. Пойдашева А.Г., Бакулин И.С., Лагода Д.Ю. и др. Эффективность и безопасность применения высокочастотной ритмической транскраниальной магнитной стимуляции в терапии невралгии тройничного нерва // *Нервно-мышечные болезни.* — 2021. — Т. 11. — № 2. — С. 35-47. DOI: 10.17650/2222-8721-2021-11-2-35-47.
  54. Литвиненко И. В., Юрин А. А. Транскраниальная магнитная стимуляция в коррекции последствий легкой черепно-мозговой травмы // *Морская медицина.* — 2020. — Т. 6. — № 2. — С. 36-41. DOI: 10.22328/2413-5747-2020-6-2-36-41.
  55. Полилова Ю.В., Дробышев В.А., Гецман Я.А., Шелякина О.В. Отдалённые результаты включения роботизированной механотерапии и транскраниальной магнитной стимуляции в восстановительное лечение последствий спинальной травмы // *Современные проблемы науки и образования.* — 2016. — № 2. — С. 63.
  56. Добрушина О.Р., Сидякина И.В., Лядов К.В. и др. Навигационная транскраниальная магнитная стимуляция в реабилитации травматического повреждения лобных долей головного мозга // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* — 2014. — Т. 8. — № 3. — С. 49-56.
  57. Мартынов И.Д., Ямщикова А.В., Флейшман А.Н., Петровский С.А. Использование транскраниальной магнитной стимуляции префронтальной коры при профессиональных полинейропатиях // *Медицина в Кузбассе.* — 2022. — Т. 21. — № 3. — С. 86-90. DOI: 10.24412/2687-0053-2022-3-86-90.
  58. Гидаева М.О., Мартынов И.Д., Ямщикова А.В., Флейшман А.Н. Транскраниальная магнитная стимуляция префронтальной коры головного мозга для коррекции вегетативных нарушений у шахтёров с полинейропатией // *Гигиена и санитария.* — 2021. — Т. 100. — № 7. — С. 679-682. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-7-679-682.

## References

1. Vojtenkov VB, Ekusheva EV, Skripchenko NV, Damulin IV. Transkraniálnaya magnitnaya stimulyaciya v diagnostike i terapii bolevykh sindromov u detej i vzroslykh [Transcranial magnetic stimulation in the diagnosis and therapy of pain syndromes in children and adults]. *Zhurnal neurologii i psichiatrii im. S.S. Korsakova* [Journal of Neurology and Psychiatry named after SS Korsakov]. 2019;119(4):93-9. DOI: 10.17116/jnevro201911904193. (In Russian).
2. Barker AT, Jalínous R, Freeston IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *Lancet.* 1985;1:1106-09. DOI: 10.1016/s0140-6736(85)92413-4.
3. Lefaucheur JP, André-Obadia N, Poulet E, Devanne H et al. Recommandations françaises sur l'utilisation de la stimulation magnétique transcrânienne répétitive (rTMS) : règles de sécurité et indications thérapeutiques [French guidelines on the use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): safety and therapeutic indications]. *Neurophysiol Clin.* French. 2011 Dec;41(5-6):221-95. DOI: 10.1016/j.neucli.2011.10.062.
4. Bakulin IS, Pojdasheva AG, Lagoda DY et al. Perspektivy razvitiya terapevticheskoj transkraniál'noj magnitnoj



- stimulyacii [Prospects for the development of therapeutic transcranial magnetic stimulation]. *Nervnye bolezni* [Nervous diseases]. 2021(4):3-10. DOI: 10.24412/2226-0757-2021-12371. (In Russian).
5. Rossia S, Hallett M, Rossini PM, Pascual-Leone A. Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. *Clin Neurophysiol*. 2009; 120(12): 2008-39.
  6. Najib U, Bashir S, Edwards D, Rotenberg A. Transcranial brain stimulation: clinical applications and future directions. *Neurosurg Clin N Am*. 2011 Apr;22(2):233-51. DOI: 10.1016/j.nec.2011.01.002.
  7. Eldaief MC, Press DZ, Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation in neurology: A review of established and prospective applications. *Neurol Clin Pract*. 2013 Dec;3(6):519-26. DOI: 10.1212/01.CPJ.0000436213.11132.8e.
  8. Huerta P, Volpe B. Transcranial magnetic stimulation, synaptic plasticity and network oscillations. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2009 Mar 2;6:7. DOI: 10.1186/1743-0003-6-7.
  9. Meng Y, Zhang D, Hai H, Zhao YY. 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):109-18. DOI: 10.3233/RNN-190953.
  10. 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 Mar;267(3):791-801. DOI: 10.1007/s00415-019-09644-y.
  11. Fitzgerald P, Fountain S, Daskalakis Z. A comprehensive review of the effects of rTMS on motor cortical excitability and inhibition. *Clinical Neurophysiology*. 2006;117(12):2584-90. DOI: 10.1016/j.clinph.2006.06.712.
  12. Jalinous R. Technical and practical aspects of magnetic nerve stimulation. *J Clin Neurophysiol*. 1991 Jan;8(1):10-25. DOI: 10.1097/00004691-199101000-00004.
  13. Fitzgerald P, Fountain S, Daskalakis Z. A comprehensive review of the effects of rTMS on motor cortical excitability and inhibition. *Clinical Neurophysiology*. 2006;117(12):2584-90. DOI: 10.1016/j.clinph.2006.06.712.
  14. Wagner T, Valero-Cabre A, Pascual-Leone A: Noninvasive human brain stimulation. *Annu Rev Biomed Eng* 2007, 9:527-65
  15. Kujirai T, Caramia MD, Rothwell JC, Day BL et al. Corticocortical inhibition in human motor cortex. *J Physiol* 1993;471:501-19.
  16. Chen R, Classen J, Gerloff C, Celnik P et al. Depression of motor cortex excitability by low-frequency transcranial magnetic stimulation. *Neurology*. 1997 May;48(5):1398-403. DOI: 10.1212/wnl.48.5.1398.
  17. Eldaief MC, Press DZ, Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation in neurology: A review of established and prospective applications. *Neurol Clin Pract*. 2013 Dec;3(6):519-26. DOI: 10.1212/01.CPJ.0000436213.11132.8e.
  18. Cohen D, Cuffin BN. Developing a more focal magnetic stimulator. Part I: Some basic principles. *J Clin Neurophysiol*. 1991 Jan;8(1):102-11. DOI: 10.1097/00004691-199101000-00013.
  19. Yunokuchi K, Cohen D. Developing a more focal magnetic stimulator. Part II: Fabricating coils and measuring induced current distributions. *J Clin Neurophysiol*. 1991 Jan;8(1):112-20.
  20. Chervyakov AV, Poydasheva AG, Korzhova YuYe, Suponeva NA, Chernikova LA, Piradov MA. Ritmicheskaya transkraniyal'naya magnitnaya stimulyatsiya v nevrologii i psikiatrii [Rhythmic transcranial magnetic stimulation in neurology and psychiatry]. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. C.C. Korsakova* [Journal of Neurology and Psychiatry named after SS Korsakov]. 2015;115(12):7-18. (In Russian).
  21. Lefaucheur JP, André-Obadia N, Antal A, Ayache SS et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). *Clin Neurophysiol*. 2014 Nov;125(11):2150-2206. DOI: 10.1016/j.clinph.2014.05.021.
  22. Dionísio A, Duarte IC, Patrício M, Castelo-Branco M. The Use of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Stroke Rehabilitation: A Systematic Review. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2018 Jan;27(1):1-31. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.008.
  23. Li T, Zeng X, Lin L, Xian T et al. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation with different frequencies on post-stroke aphasia: A PRISMA-compliant meta-analysis. *Medicine* (Baltimore). 2020 Jun 12;99(24):e20439. doi: 10.1097/MD.00000000000020439.
  24. Sorokin Yu.N. Transkraniyal'naya magnitnaya stimulyatsiya pri hronicheskikh bolevykh sindromah [Transcranial magnetic stimulation in chronic pain syndromes]. *Universitetskaya klinika* [University Clinic]. 2021;2(39):127-33. DOI: 10.26435/uc.v0i2(39).699. (In Russian).
  25. Hamid P, Malik BH, Hussain ML. Noninvasive Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) in Chronic Refractory Pain: A Systematic Review. *Cureus*. 2019 Oct 29;11(10):e6019. DOI: 10.7759/cureus.6019.
  26. Davydov OS, Yahno NN, Kukushkin ML, Churyukanov MV et al. Nevropaticheskaya bol': klinicheskie rekomendacii po diagnostike i lecheniyu Rossijskogo obshchestva po izucheniyu boli [Neuropathic pain: clinical guidelines for the diagnosis and treatment of the Russian Society for the Study of Pain]. Available at: [https://painrussia.ru/russian-Journal-of-Pain/10.25731/RGBoli\\_4\\_2018\\_Article25.pdf](https://painrussia.ru/russian-Journal-of-Pain/10.25731/RGBoli_4_2018_Article25.pdf). (accessed 25.01.2022). (In Russian).
  27. Trung J, Hanganu A, Jobert S, Degroot C et al. Transcranial magnetic stimulation improves cognition over time in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. 2019 Sep;66:3-8. DOI: 10.1016/j.parkreldis.2019.07.006.
  28. Eldaief M, Press D, Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation in neurology. *Neurology. Clinical Practice*. 2013 Dec: 519-25.
  29. Hallett M, Wassermann EM, Pascual-Leone A et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation. Recommendations for the practice of clinical neurophysiology: guidelines of the international federation of clinical neurophysiology. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. (2<sup>nd</sup> ed.). 1999; Suppl. 52:105-13.
  30. Du J, Yang F, Hu J, 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.
  31. Kim J, Yim J. Effects of High-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Combined with Task-Oriented Mirror Therapy Training on Hand Rehabilitation of Acute Stroke Patients. *Med Sci Monit*. 2018 Feb 6;24:743-50. DOI: 10.12659/msm.905636.

32. Noh JS, Lim JH, Choi TW, Jang SG et al. Effects and safety of combined rTMS and action observation for recovery of function in the upper extremities in stroke patients: A randomized controlled trial. *Restor Neurol Neurosci*. 2019;37(3):219-30. DOI: 10.3233/RNN-180883.
33. Mulder T. Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation. *J Neural Transm (Vienna)*. 2007;114(10):1265-78. DOI: 10.1007/s00702-007-0763-z.
34. Pan W, Wang P, Song X, Sun X et al. The Effects of Combined Low Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation and Motor Imagery on Upper Extremity Motor Recovery Following Stroke. *Front Neurol*. 2019 Feb 19;10:96. DOI: 10.3389/fneur.2019.00096.
35. Kang JH, Kim MW, Park KH, Choi YA. The effects of additional electrical stimulation combined with repetitive transcranial magnetic stimulation and motor imagery on upper extremity motor recovery in the subacute period after stroke: A preliminary study. *Medicine (Baltimore)*. 2021 Sep 3;100(35):e27170. DOI: 10.1097/MD.00000000000027170.
36. Malfitano C, Rossetti A, Scarano S, Malloggi C et al. Efficacy of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Acute Central Post-stroke Pain: A Case Study. *Front Neurol*. 2021 Nov 11;12:742567. DOI: 10.3389/fneur.2021.742567.
37. de Oliveira RA, de Andrade DC, Mendonça M, Barros R et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the left premotor/dorsolateral prefrontal cortex does not have analgesic effect on central poststroke pain. *J Pain*. 2014 Dec;15(12):1271-81. DOI: 10.1016/j.jpain.2014.09.009.
38. Conde-Antón Á, Hernando-Garijo I, Jiménez-Del-Barrio S, Mingo-Gómez MT, et al. Effects of transcranial direct current stimulation and transcranial magnetic stimulation in patients with fibromyalgia. A systematic review. *Neurologia (Engl Ed)*. 2020 Oct 15;S0213-4853(20):30278-4. English, Spanish. DOI: 10.1016/j.nrl.2020.07.024.
39. Cheng CM, Wang SJ, Su TP, Chen MH et al. Analgesic effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on modified 2010 criteria-diagnosed fibromyalgia: Pilot study. *Psychiatry Clin. Neurosci*. 2019;73(4):187-93. DOI: 10.1111/pcn.12812.
40. Izquierdo-Alventosa R, Inglés M, Cortés-Amador S, Gimeno-Mallench L et al. Effectiveness of High-Frequency Transcranial Magnetic Stimulation and Physical Exercise in Women With Fibromyalgia: A Randomized Controlled Trial. *Phys Ther*. 2021 Oct 1; 101(10):pzab159. DOI: 10.1093/ptj/pzab159.
41. Tanwar S, Mattoo B, Kumar U, Bhatia R. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the prefrontal cortex for fibromyalgia syndrome: a randomised controlled trial with 6-months follow up. *Adv Rheumatol*. 2020 Jun 29;60(1):34. DOI: 10.1186/s42358-020-00135-7.
42. Pareja JL, Cáceres O, Zambrano P, Martín F et al. Treatment with low-intensity transcranial magnetic stimulation in women with fibromyalgia improves diagnostic variables up to 6 months after treatment completion. *Clin Exp Rheumatol*. 2022 Jun;40(6):1112-8. DOI: 10.55563/clinexprheumatol/gd4v6h.
43. Li J, Mi TM, Zhu BF, Ma JH. High-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation over the primary motor cortex relieves musculoskeletal pain in patients with Parkinson's disease: A randomized controlled trial. *Parkinsonism Relat Disord*. 2020 Nov;80:113-9. DOI: 10.1016/j.parkreldis.2020.07.006.
44. Maslenikov NV, Cukarzi EE, Mosolov SN. Depressii pri shizofrenii: oценка kognitivnykh funktsiy v dinamike pri lechenii transkranial'noj magnitnoy stimulyatsii [Depression in schizophrenia: assessment of cognitive functions in dynamics in the treatment of transcranial magnetic stimulation]. *Social'naya i klinicheskaya psikiatriya [Social and clinical psychiatry]*. 2013;23(1): 5-11. (In Russian).
45. Iznak AF, Iznak EV, Damyanovich EV et al. Transkranial'naya magnitnaya stimulyatsiya v kompleksnoy terapii farmakorezistentnoy depressii: dinamika klinicheskikh, psihologicheskikh i EEG pokazatelej [Transcranial magnetic stimulation in the complex therapy of pharmacoresistant depression: dynamics of clinical, psychological and EEG indicators]. *Fiziologiya cheloveka [Human physiology]*. 2015;41(5):57. DOI 10.7868/S0131164615050057. (In Russian).
46. Timerbulatov IF, Guliev MA. Transkranial'naya magnitnaya stimulyatsiya v lechenii generalizovannogo trevozhnogo rasstrojstva [Transcranial magnetic stimulation in the treatment of generalized anxiety disorder]. *Psikiatriya, psihoterapiya i klinicheskaya psihologiya [Psychiatry, psychotherapy and clinical psychology]*. 2019;10(4):663-7. (In Russian).
47. Chervyakov AV, Belopasova AV, Pojdasheva AG. Transkranial'naya magnitnaya stimulyatsiya v lechenii central'nogo postinsul'tnogo bolevogo sindroma [Transcranial magnetic stimulation in the treatment of central post-stroke pain syndrome]. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noj nevrologii [Annals of clinical and experimental neurology]*. 2013;7(4):45-50. (In Russian).
48. Iskra DA, Frunza DN. Povtornaya transkranial'naya magnitnaya stimulyatsiya v lechenii hronicheskikh golovnykh bolej napryazheniya [Repeated transcranial magnetic stimulation in the treatment of chronic tension headaches]. *Vestnik Rossijskoj Voenno-medicinskoj akademii [Bulletin of the Russian Military Medical Academy]*. 2012;3(39):34-8. (In Russian).
49. Tokareva DV, Polyakova AV, Voznyuk IA, Zabiroy SS. Vozmozhnosti transkranial'noj magnitnoy stimulyatsii v programme vosstanovitel'nogo lecheniya v ostrom periode insul'ta. Neotlozhnye sostoyaniya v nevrologii: sovremennyye metody diagnostiki i lecheniya: Sbornik statej i tezisov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 140-letiyu so dnya rozhdeniya Mihaila Ivanovicha Astvacaturova [Possibilities of transcranial magnetic stimulation in the program of rehabilitation treatment in the acute period of stroke Urgent conditions in neurology: modern methods of diagnosis and treatment : Collection of articles and abstracts of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 140th anniversary of the birth of Mikhail Ivanovich Astvatsaturov]. Pod redakciej IV Litvinenko [Edited by IV Litvinenko]. Sankt-Peterburg: Voenno-medicinskaya akademiya imeni SM Kirova [St. Petersburg: SM Kirov Military Medical Academy]. 2017:185. (In Russian).
50. Akimzhanova AK, Grzhibovskij AM, Hajbullin TN et al. Effektivnost' transkranial'noj magnitnoy stimulyatsii v reabilitatsii pacientov s mozgovym insul'tom [The effectiveness of transcranial magnetic stimulation in the rehabilitation of patients with cerebral stroke]. *Nauka i zdavoohranenie [Science and Healthcare]*. 2016(4): 50-65. (In Russian).
51. Kutashov VA, Ul'yanova OV. Primenenie transkranial'noj magnitnoy stimulyatsii pri kompleksnom lechenii pacientov s ishemicheskim insul'tom v pozdnem vosstanovitel'nom periode s lechebno-reabilitatsionnykh pozicij [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 Bulletin of physiotherapy and balneology]. Vestnik fizioterapii i kurortologii [Bulletin of Physiotherapy and Balneology]. 2018;24(3):73-80. (In Russian).
52. Vojtenkov VB, Ekusheva EV, Skripchenko NV, Damulin IV. Transkraniyal'naya magnitnaya stimulyaciya v diagnostike i terapii bolevykh sindromov u detej i vzroslykh [Transcranial magnetic stimulation in the diagnosis and therapy of pain syndromes in children and adults]. Zhurnal nevrologii i psixiatrii im. CC Korsakova [Journal of Neurology and Psychiatry named after CC Korsakov]. 2019;119(4):93-9. DOI: 10.17116/jnevro201911904193. (In Russian).
53. Pojdasheva AG, Bakulin IS, Lagoda DY et al. Effektivnost' i bezopasnost' primeneniya vysokochastotnoj ritmicheskoj transkraniyal'noj magnitnoj stimulyacii v terapii nevralgii trojnichnogo nerva [The effectiveness and safety of the use of high-frequency rhythmic transcranial magnetic stimulation in the treatment of trigeminal neuralgia]. Nervno-myshechnye bolezni [Neuromuscular diseases]. 2021;11(2):35-47. DOI: 10.17650/2222-8721-2021-11-2-35-47. (In Russian).
54. Litvinenko IV, Yurin AA. Transkraniyal'naya magnitnaya stimulyaciya v korrekcii posledstvij legkoj cherepno-mozgovoj travmy [Transcranial magnetic stimulation in the correction of the consequences of mild traumatic brain injury]. Morskaya medicina [Marine medicine]. 2020;6(2):36-41. DOI: 10.22328/2413-5747-2020-6-2-36-41. (In Russian).
55. Polilova YV, Drobyshev VA, Gecman YA, Shelyakina OV. Otdalyonnye rezul'taty vkl'yucheniya robotizirovannoj mekhanoterapii i transkraniyal'noj magnitostimulyacii v vosstanovitel'noe lechenie posledstvij spinal'noj travmy [Long-term results of the inclusion of robotic mechanotherapy and transcranial magnetostimulation in the rehabilitation treatment of spinal injury consequences]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. 2016;2:63. (In Russian).
56. Dobrushina OR, Sidyakina IV, Lyadov KV et al. Navigacionnaya transkraniyal'naya magnitnaya stimulyaciya v reabilitacii travmaticheskogo povrezhdeniya lobnyh dolej golovnogo mozga [Navigational transcranial magnetic stimulation in the rehabilitation of traumatic damage to the frontal lobes of the brain]. Annaly klinicheskoy i eksperimental'noj nevrologii [Annals of clinical and experimental neurology]. 2014;8(3):49-56. (In Russian).
57. Martynov ID, Yamshchikova AV, Flejshman AN, Petrovskij SA. Ispol'zovanie transkraniyal'noj magnitnoj stimulyacii prefrontal'noj kory pri professional'nyh polinejropatiyah [The use of transcranial magnetic stimulation of the prefrontal cortex in occupational polyneuropathies]. Medicina v Kuzbasse [Medicine in Kuzbass]. 2022;21(3):86-90. DOI: 10.24412/2687-0053-2022-3-86-90. (In Russian).
58. Gidayatova MO, Martynov ID, Yamshchikova AV, Flejshman AN. Transkraniyal'naya magnitnaya stimulyaciya prefrontal'noj kory golovnogo mozga dlya korrekcii vegetativnykh narushenij u shahtyrov s polinevropatiej [Transcranial magnetic stimulation of the prefrontal cortex for the correction of autonomic disorders in miners with polyneuropathy]. Gigiena i sanitariya [Hygiene and sanitation]. 2021;100(7):679-82. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-7-679-682. (In Russian).

Рукопись поступила: 14.11.2022

Принята в печать: 15.03.2023

#### Авторы

Бобров Максим Павлович — врач-ординатор кафедры нервных болезней и нейрореабилитации Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Волоколамское ш., д. 91, Москва, 125371, Российская Федерация; тел.: +79605151108; e-mail: tuzhikov.kp@yandex.ru.

Войтенков Владислав Борисович — кандидат медицинских наук, заведующий отделением функциональных методов диагностики ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней ФМБА России», ул. Профессора Попова, д. 9, Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация; доцент кафедры нервных болезней и нейрореабилитации Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Волоколамское ш., д. 91, Москва, 125371, Российская Федерация; тел.: +78122343823; e-mail: vlad203@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0448-7402>.

Екушева Евгения Викторовна — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой нервных болезней и нейрореабилитации Академии постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Волоколамское ш., д. 91, Москва, 125371, Российская Федерация; Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация; тел.: +79166786201; e-mail: ekushevaev@mail.ru.

#### Authors

Bobrov Michael Pavlovich, resident doctor of the Department of Nervous Diseases and Neurorehabilitation, Academy of Postgraduate Education of the Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific and Clinical Center of Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies of the Federal Medical and Biological Agency of Russia", 91 Volokolamskoye Hwy, 125371 Moscow, Russian Federation; tel.: +79605151108; e-mail: tuzhikov.kp@yandex.ru.

Voitenkov Vladislav Borisovich, PhD in Medical sciences, Head of the Clinical Department of Neurophysiology, Children's Scientific and Clinical Center of Infectious Diseases of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, 9 Professora Popova St., 197022 St. Petersburg, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Nervous Diseases and Neurorehabilitation, Academy of Postgraduate Education of the Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific and Clinical Center of Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies of the Federal Medical and Biological Agency of Russia", 91 Volokolamskoye Hwy, 125371 Moscow, Russian Federation; tel.: +78122343823; e-mail: vlad203@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0448-7402>.

Ekusheva Eugenia Victorovna, Grand PhD in Medical sciences, Professor, Head of the Department of Nervous Diseases and Neurorehabilitation, Academy of Postgraduate Education of the Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific and Clinical Center of Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies of the Federal Medical and Biological Agency of Russia", 91 Volokolamskoye Hwy, 125371 Moscow, Russian Federation; Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St, 308015 Belgorod, Russian Federation; tel.: +79166786201; e-mail: ekushevaev@mail.ru.