



Ю.В. Нестерова¹, Г.А. Каркашадзе¹, Л.С. Намазова-Баранова^{1, 2, 3}, Е.А. Вишнева^{1, 2},
Е.В. Кайтукова^{1, 2}, Л.М. Яцык¹, Д.А. Бушуева¹, Н.С. Сергиенко¹, Т.Ю. Гогберашвили¹,
Т.А. Константиныди¹, Д.С. Кратко¹

¹ НИИ педиатрии и охраны здоровья детей ЦКБ РАН Министерства науки и высшего образования РФ, Москва, Российская Федерация

² Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация

³ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Российская Федерация

Лечение когнитивных и поведенческих расстройств у детей с помощью транскраниальной магнитной стимуляции: обзор литературы

Автор, ответственный за переписку:

Нестерова Юлия Викторовна, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела развития мозга в онтогенезе, формирования когнитивных функций и нейробиологии Научно-исследовательского института педиатрии и охраны здоровья детей ЦКБ РАН Министерства науки и высшего образования РФ

Адрес: 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10, **тел.:** +7 (499) 400-47-33, **e-mail:** julnester@mail.ru

Среди когнитивных нарушений ведущее место у детей занимают расстройства речи, представляющие актуальную медицинскую проблему. Современный подход к лечению когнитивных и поведенческих дисфункций у детей заключается в комплексности фармакотерапевтических, коррекционных и психотерапевтических методов, а также неинвазивного инструментального метода нейростимуляции головного мозга. В статье будет представлен обзор имеющихся на сегодняшний день данных о применении метода транскраниальной магнитной стимуляции — неинвазивного лечения различных психоневрологических расстройств у детей и анализ его отличий от физиотерапевтических методов, используемых в традиционной отечественной практике.

Ключевые слова: транскраниальная магнитная стимуляция, педиатрия, когнитивные нарушения, задержка психоречевого развития, стимуляция

Для цитирования: Нестерова Ю.В., Каркашадзе Г.А., Намазова-Баранова Л.С., Вишнева Е.А., Кайтукова Е.В., Яцык Л.М., Бушуева Д.А., Сергиенко Н.С., Гогберашвили Т.Ю., Константиныди Т.А., Кратко Д.С. Лечение когнитивных и поведенческих расстройств у детей с помощью транскраниальной магнитной стимуляции: обзор литературы. *Педиатрическая фармакология*. 2021;18(6):498–506. doi:10.15690/pf.v18i6.2347

498

Julia V. Nesterova¹, George A. Karkashadze¹, Leila S. Namazova-Baranova^{1,2}, Elena A. Vishneva^{1,2},
Elena V. Kaytukova^{1,2}, Leonid M. Yatsik¹, Daria A. Bushueva¹, Natalia S. Sergienko¹, Tinatin Yu. Gogberashvili¹,
Tatiana A. Konstantinidi¹, Dmitry S. Kratko¹

¹ Research Institute of Pediatrics and Children's Health in «Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences», Moscow, Russian Federation

² Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

³ Belgorod National Research University, Belgorod, Russian Federation

Treatment of Cognitive and Behavioral Disorders in Children Using Transcranial Magnetic Stimulation: Literature Review

Speech disorders have the leading position among cognitive disorders and represent the urgent medical problem. The modern approach to the treatment of cognitive and behavioral disorders in children consists of the integrity of pharmacotherapeutic, correctional and psychotherapeutic, as well as non-invasive instrumental methods of brain neurostimulation. This article provides the overview of the currently available data on transcranial magnetic stimulation method as noninvasive treatment of various neuropsychiatric disorders in children and its difference from physiotherapeutic methods used in traditional Russian practice.

Keywords: transcranial magnetic stimulation, pediatrics, cognitive impairment, delayed speech development, stimulation.

For citation: Nesterova Julia V., Karkashadze George A., Namazova-Baranova Leila S., Vishneva Elena A., Kaytukova Elena V., Yatsik Leonid M., Bushueva Daria A., Sergienko Natalia S., Gogberashvili Tinatin Yu., Konstantinidi Tatiana A., Kratko Dmitry S. Treatment of Cognitive and Behavioral Disorders in Children Using Transcranial Magnetic Stimulation: Literature Review. *Pediatricheskaya farmakologiya — Pediatric pharmacology*. 2021;18(6):498–506. (In Russ). doi:10.15690/pf.v18i6.2347

ОБОСНОВАНИЕ

За последние десятилетия количество выявляемых нарушений в психоэмоциональном развитии детей возросло в десятки раз [1]. Не в последнюю очередь это происходит по причине того, что на фоне внедрения в широкую практику новейших научно-медицинских достижений и улучшения качества медицинской помощи растет число выживших недоношенных детей с низкой массой тела, а также увеличивается выживаемость детей с патологиями развития. Эта тенденция особенно очевидна в развитых странах, где предел жизнеспособности увеличился с 27 нед в 2007 г. до 22–23 нед в 2017 [2, 3–7]. Соответственно, растет число детей с когнитивными и поведенческими нарушениями различной степени тяжести, сформировавшимися вследствие целого ряда внутриутробных и перинатальных патологий [8–12].

Так, у детей с диагнозом «детский церебральный паралич» (ДЦП) распространенность когнитивных нарушений различной степени тяжести составляет около 32–87% [8]. По отдельным данным, 30–50% детей с эпилепсией также имеют когнитивную и/или эмоциональную дисфункцию [13–16].

По сравнению с 80–90-ми гг. прошлого века в последние два десятилетия возросло число детей с расстройствами аутистического спектра (РАС) и детей с диагнозом «синдром дефицита внимания и гиперактивности» (СДВГ). Причины увеличения этих показателей (с 0,6–1 до 2% в случае РАС и с 1 до 2,5% в случае СДВГ) пока неясны, по всей вероятности, в его основе лежат как совершенствование диагностических методов [17–21], так и истинное увеличение распространенности.

Многолетний клинический опыт показал, что при отсутствии лечения или проведения адаптационных мероприятий формируются социальная дезадаптация и изоляция, а также дальнейшее развитие расстройства личности и поведения [8, 22, 23]. Как правило, когнитивные и психоэмоциональные нарушения поддаются коррекции, степень которой в большой степени зависит от первоначального диагноза и предложенной терапевтической схемы, а высокий уровень пластичности головного мозга у детей позволяет в ряде случаев полностью преодолеть патологические изменения [24–27].

Современный подход к лечению когнитивных и поведенческих дисфункций у детей заключается в комплексности следующих мероприятий: фармакотерапии, коррекционных и психотерапевтических занятий, а также неинвазивных инструментальных методов нейростимуляции головного мозга.

В российской детской неврологической практике применяются следующие аппаратные методы немедикаментозной нейростимуляции: биоакустическая коррекция (БАК), транскраниальная микрополяризация (ТКМП), Томатис-терапия и транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС).

Определенные ограничения к применению трех из четырех перечисленных способов аппаратного лечения накладывает отсутствие широкой доказательной базы — рандомизированных исследований и крупных метаанализов, которые бы подтверждали их эффективность. Почти все имеющиеся исследования эффективности БАК, ТКМП и Томатис-терапии недостаточно высокого с позиций доказательной медицины качества (соответствуют уровню доказательности C), и в немногих из них уделялось внимание вопросам безопасности, особенно в детском возрасте [28–48].

Методика БАК разработана и практикуется только в российских клиниках, отсутствуют международные дан-

ные о применении метода и его возможностях в детской клинической практике. Об использовании метода ТКМП в странах Европы и в США имеются единичные публикации [47, 48]. Несмотря на широкое применение метода Томатиса в детской практике, крупных нерандомизированных международных исследований в этом отношении не проводилось. В целом большей доказательной базой относительно других методов выделяется транскраниальная магнитная стимуляция, но лечение этим способом когнитивно-поведенческих расстройств у детей еще недостаточно разработано. Целью настоящей публикации является обзор доступных научных данных о возможностях и перспективах применения транскраниальной магнитной стимуляции в лечении спектра когнитивных и поведенческих расстройств детского возраста.

ТРАНСКРАНИАЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ И ИСТОРИЯ ЕЕ РАЗВИТИЯ

ТМС — метод нейростимуляции и нейромодуляции структур головного мозга, основанный на электромагнитной индукции электрического поля в заданном участке головного мозга. Суть ТМС заключается в возникновении под действием сильного магнитного поля деполяризации мембран нервных клеток. При ТМС магнитные катушки, удерживаемые над кожей головы, создают быстроизменяющиеся магнитные поля вокруг мозга. Эти магнитные поля индуцируют внутричерепные токи, в результате чего нейроны на пути этого тока деполяризуются и запускаются синхронно [49, 50]. Изначально этот метод, внедренный в клиническую практику в Великобритании в 80-х гг. прошлого столетия, был предназначен для активации и оценки целостности и функции моторной коры и кортикоспинальных трактов [51], но в ходе клинического применения ТМС как диагностической методики были выявлены ее возможности как инструмента нейрореабилитации [52–54].

В зависимости от целей применения ТМС были разработаны различные протоколы стимуляции, включая методы одиночных импульсов, парных импульсов, ритмических импульсов и тета-импульсов. Одноимпульсная ТМС (single-pulse TMS) была первой разработанной методикой, которая чаще всего используется для оценки возбудимости кортикоспинального тракта путем стимуляции моторной коры и измерения электромиографической реакции. При этом виде воздействия стимулы предъявляются независимо друг от друга с частотой менее 0,3–1 Гц, что исключает их модулирующее влияние на возбудимость стимулируемой области [49, 55–57].

Стимуляция парными стимулами (paired-pulse TMS; ppTMS) — это протокол, по которому два импульса передаются с интервалом в несколько миллисекунд, что позволяет выявить влияние первого (обычно подпорогового) «кондиционирующего» импульса на второй надпороговый «тестовый» импульс. Этот метод используется для оценки внутрикоркового торможения и возбуждения (при стимуляции одной области) и взаимодействия корковых областей (когда место предъявления стимулов не совпадает) [58, 59].

Потенциальным терапевтическим вмешательством при неврологических состояниях является ритмическая ТМС (rTMS; repetitive TMS — rTMS). Исследования rTMS показали, что лежащая в основе многих неврологических нарушений корковая возбудимость может быть изменена повторяющимися сериями стимуляции. Считается, что низкочастотные медленные импульсы ТМС (≤ 1 Гц) приводят к снижению возбудимости нейронов коры головного мозга, в то время как высокочастот-

ные и быстрые импульсы ТМС (> 5 Гц) оказывают стимулирующий эффект, повышая возбудимость нейронов коры головного мозга и вызывая образование новых нейронных связей [55, 60, 61].

Также выделяют «паттерновые» режимы стимуляции, при которых стимулы предьявляются в виде специфических кластеров. При этом виде стимуляции 3 импульса доставляются с частотой 50 Гц каждые 200 мс либо непрерывно (continuous TBS; cTBS), либо прерывистыми 2-секундными последовательностями каждые 10 с (intermittent TBS; iTBS). Предполагается, что различные протоколы стимуляции создают более продолжительное возбуждение (iTBS) или торможение (cTBS) [55, 62–64].

ТМС как методика была предложена в 1980 г. в Европе, и в первое время ее использование было очень ограниченным — в основном в качестве дополнительного способа обследования в неврологии. Но в течение последних нескольких десятилетий в Европе и США были проведены многочисленные исследования лечебной эффективности, результаты которых свидетельствуют о положительном влиянии ТМС на такие заболевания, как депрессия, шизофрения, генерализованное тревожное расстройство, панические атаки, обсессивно-компульсивное расстройство (ОКР), посттравматическое стрессовое расстройство, инсульты. Кроме этого, она применяется для мониторинга влияния фармакотерапии на изменение уровня возбудимости корковых нейронов и для ранней оценки индивидуальной реакции на лекарственные препараты. На основании представленной доказательной базы Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) одобрило устройства ТМС для лечения большого депрессивного расстройства (БДР) в 2008 г. и для лечения определенного типа головной боли при мигрени в 2013 г., а в 2018 г. компания Brainway получила разрешение на вывод на рынок ТМС для лечения ОКР [65–68]. На сегодняшний день от FDA на основании специализированных клинических исследований получено одобрение CE (Conformité Européenne, «Европейское соответствие») для лечения ТМС поведенческих аддикций и обсессивно-компульсивного расстройства у пациентов [69, 70].

Безопасность процедуры стимуляции мозга зависит от множества факторов, в которые включены подбор пациентов с учетом определенной неврологической патологии, выбор индивидуального протокола стимуляции, мониторинг состояния пациента во время и после процедуры, выявление нежелательных явлений. В статье С. Krishnan и соавт. приведены данные о безопасности применения диагностической (одноимпульсной) ТМС у детей разного возраста [71]. Также безопасность применения ТМС в детской практике была исследована и опубликована в 2017 г. в метаанализе, который показал, что риски возникновения нежелательных явлений сопоставимы с таковыми во взрослой популяции [72]. Помимо этого, S. Rossi и соавт. сформулировали рекомендации по безопасности применения ТМС в детском возрасте [73].

К наиболее распространенным нежелательным эффектам ТМС относят головную боль, дискомфорт в месте стимуляции (приложения катушки), переходящие изменения слуха, повышенную утомляемость, изменения настроения и когнитивных функций [74]. По данным литературы, риск провокации эпилептического приступа при правильно выбранной категории пациентов и протоколов стимуляции низкий.

Несмотря на появляющееся признание, терапевтическая польза ТМС при более широком спектре состояний до сих пор является предметом дискуссий в научных кругах. Но если терапевтическое использование ТМС во взрослой популяции хотя бы в отдельных клинических областях изучено достаточно хорошо, то опыт ее использования у детей весьма ограничен. Отчасти это связано с неполным пониманием эффектов неинвазивной стимуляции на развивающийся мозг [73]. Протоколы использования ТМС у детей могут отличаться из-за возрастных различий в толщине черепа, длине проводящих путей и степени миелинизации. Несмотря на эти опасения, по признанию ведущих специалистов, ТМС является полезной терапевтической мерой при целом ряде когнитивно-поведенческих и психических расстройств у детей [74, 75].

ТРАНСКРАНИАЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ В ЛЕЧЕНИИ КОГНИТИВНЫХ И ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У ДЕТЕЙ

В основном публикации по применению ТМС в педиатрической практике посвящены СДВГ, РАС, различным формам эпилепсии, тикам и др. Исследователи активно обсуждают возможности применения ТМС в педиатрии как в диагностических, так и лечебных целях.

До последнего времени ТМС применялась преимущественно в терапии затяжных депрессий у взрослых [76], и поэтому БДР является наиболее хорошо изученным заболеванием для применения рТМС [76, 77]. Использование рТМС в случае БДР основано на результатах исследований, которые показали, что у лиц с депрессией даже в состоянии покоя отмечаются нарушения активности в структурах, связанных с переработкой эмоционально значимой информации, в частности в левой дорсолатеральной префронтальной коре (ДЛПФК), которая у пациентов с депрессией по сравнению со здоровыми людьми менее активна [78, 79], и применение высокочастотной (10 Гц) рТМС ежедневно в течение 3–6 нед может активизировать деятельность этой области [80, 81].

Лишь в немногих исследованиях изучался терапевтический эффект ТМС у подростков с БДР. F.P. MacMaster и соавт. (2019) провели исследование, в котором приняли участие молодые люди в возрасте 13–21 года ($n = 32$), резистентные к фармакологической коррекции БДР. рТМС применяли на ДЛПФК в течение 15 дней. рТМС оказалась эффективной в снижении тяжести симптомов БДР ($p < 0,00001$) — у 56% респондентов наблюдалось снижение баллов по шкале депрессии Гамильтона (HRSD) на 50%, а 75% субъектов достигли снижения $\geq 30\%$. 44% участников эксперимента впоследствии вошли в ремиссию [82]. Изучив ответ на терапию рТМС у взрослых и подростков с БДР, T. Zhang и соавт. (2019) показали, что симптоматические улучшения (снижение баллов по шкале HRSD) и частота наступления ремиссии были значительно выше у подростков в сравнении с взрослыми [83]. В систематический обзор D. Hett и соавт. (2021) было включено 14 исследований, в которых рТМС использовалась у подростков с депрессией в возрасте 12–25 лет. Все исследования были низкого качества, однако лечение рТМС приводило к снижению показателей депрессии практически во всех исследованиях [84]. В то же время в крупнейшем на сегодняшний день рандомизированном контролируемом исследовании, посвященном изучению безопасности и эффективности ТМС у лиц с БДР в возрасте от 12 до 21 года ($n = 103$), после 6 нед лечения увеличения статистически значимых раз-

личий в показателях ответа на лечение между группой, получавшей рТМС, и группой, получавшей фиктивное лечение, отмечено не было [76].

Активное развитие в последние годы получило применение рТМС в лечении СДВГ. Потенциал ТМС в этой области основан на предположении, что СДВГ связан со снижением процессов торможения в головном мозге и что рТМС, изменяя кортикальную возбудимость, может способствовать уменьшению интенсивности симптомов СДВГ [63, 73, 85]. Кроме того, некоторые исследования продемонстрировали, что ТМС может влиять на дофаминовую систему аналогично D-амфетамину [86, 87]. Единственное рандомизированное контролируемое исследование с участием подростков с СДВГ было проведено L. Weaver и соавт. в 2012 г. Они рандомизировали 9 подростков и молодых людей в возрасте от 14 до 21 года для получения активной или фиктивной высокочастотной рТМС на ДЛПФК. В этом исследовании дети, которые прошли 10 сеансов высокочастотной (10 Гц) рТМС, показали хорошее симптоматическое улучшение, которое, однако, было сопоставимо с улучшениями контрольной группы, подвергавшейся фиктивному лечению [88].

Ряд работ показал, что у лиц, имеющих синдром Туретта, существует дисбаланс между возбуждающей глутаматергической активностью и тормозной ГАМК-ергической системой [89]. Результаты некоторых исследований предполагают наличие гипервозбудимости двигательной коры головного мозга у пациентов с синдромом Туретта [77, 89]. Тем не менее, целенаправленное воздействие на левую первичную моторную кору или левую премоторную кору низкочастотной рТМС не влияло на частоту или тяжесть тиков [89, 90, 91]. В метаанализ C.W. Hsu и соавт. (2019) вошли 8 исследований, в которых оценивали лечебный эффект рТМС у пациентов с синдромом Туретта, в том числе и у детей. Авторы обнаружили, что применение рТМС значительно уменьшало частоту и выраженность тиков по сравнению с исходным уровнем, однако эти улучшения были сопоставимы с улучшениями, наблюдавшимися в фиктивных группах. Кроме того, двусторонняя стимуляция дополнительной моторной области была более эффективной, чем стимуляция других областей. Детский возраст ассоциировал с лучшим эффектом лечения ($p = 0,027$) [92].

Другая область, представляющая интерес для использования ТМС, связана с РАС [73, 93]. Исторически ТМС при РАС использовалась в диагностических целях для изучения кортикальной пластичности, процессов торможения и возбуждения мозга [50, 73, 94]. Однако в последние годы в литературе все чаще появляются сообщения об использовании ТМС для управления общими симптомами РАС и сопутствующей РАС депрессией. Это направление исследований основано на концепции, что aberrantная ГАМК-ергическая передача сигналов ведет к дисфункции внутрикортикального торможения при РАС, которые можно изменить с помощью рТМС, нацеленной на ДЛПФК и моторные пути [95]. В 2014 г. E.M. Sokhadze и соавт. использовали комбинацию рТМС и метода нейробиоуправления, чтобы изучить влияние 18 сеансов на поведенческие реакции, время ответа на стимул, а также другие функциональные и клинические результаты у 42 детей с РАС. Результаты исследования продемонстрировали улучшение поведенческих и функциональных паттернов в группе комбинированного лечения по сравнению с контрольной группой. Участники смогли уменьшить количество персеверативных ошибок или чрезмерно реактивных ответов в тестируемом

материале. Кроме того, в конце исследования наблюдалось снижение повторяющихся и стереотипных действий, а также выраженности гиперактивности и приступов летаргии [96]. Аналогично в исследовании M.F. Casanova и соавт. (2020) применение низкочастотной рТМС в течение 18 еженедельных сеансов у 19 детей с РАС привело к снижению количества ошибок, а поведенческие анкеты показали снижение показателей раздражительности, гиперактивности и повторяющегося поведения [97]. В недавнем систематическом обзоре литературы была проведена оценка 23 исследований, из которых 12 были контролируемые клиническими испытаниями, в которых изучали влияние рТМС на РАС или связанные с ним когнитивные симптомы. Метаанализ показал значимое, но умеренное влияние на повторяющееся и стереотипное поведение, социальное поведение и количество ошибок в задачах управляющих функций. В 5 исследованиях сообщалось о стабильности этих достижений в течение периода до 6 мес [98]. C. Abujaadi и соавт. (2018) оценивали эффект ТМС (iTBS) у детей и подростков с РАС. Всего было проведено 15 сеансов в течение 3 нед. Участники продемонстрировали улучшение показателей персеверативных ошибок в тесте сортировки карточек штата Висконсин и сокращение общего времени выполнения теста Струпа. Также наблюдалось явное сокращение повторяющегося поведения [99].

Основанием для применения ТМС при ОКР является доказанное участие кортико-стриато-таламо-кортикальной системы в патофизиологии ОКР. Предполагается, что ТМС, подавляя ипсилатеральную, стимулирует контралатеральную нейрональную активность [75, 100]. Эффективность ТМС при ОКР во взрослой популяции была показана в целом ряде исследований [101–103]. Единственное исследование ТМС при ОКР у детей и подростков было проведено E. Pedapati и соавт. (2015). Во время проведения сеанса рТМС испытуемым предъявлялись персонализированные изображения, которые вызывали тревогу, связанную с ОКР. Существенных отличий в группе, получавшей рТМС, и группе фиктивного лечения обнаружено не было [104].

Способность рТМС снижать возбудимость коры головного мозга делает ее перспективным терапевтическим методом для лечения эпилепсии, т.е. способствует уменьшению частоты приступов. В систематическом обзоре A.B. Червякова и соавт. (2015) были проанализированы данные за период с января 1994 по сентябрь 2014 г. [61]. В базе данных PubMed найдено 102 публикации по применению рТМС при эпилепсии, из них пять отчетов плацебо-контролируемых исследований. Проведенные исследования продемонстрировали противоречивые результаты. Из пяти вышеупомянутых исследований только в двух получены достоверные данные о снижении частоты приступов по сравнению с группой плацебо. Ранее в метаанализе, включившем 11 плацебо-контролируемых исследований и 164 пациента, был сделан вывод о достоверном снижении частоты приступов при использовании низкочастотной ТМС у больных с неокортикальными эпилепсиями и корковыми дисплазиями [105]. Опубликованные клинические наблюдения предполагают, что рТМС может принести определенную пользу при лечении парциальной эпилепсии у детей [106, 107], но в отсутствие рандомизированных контролируемых данных эффективность рТМС в педиатрической эпилептологии остается недоказанной.

Еще одной потенциально значимой областью, в которой применение ТМС может быть весьма эффективно, считается реабилитация детей с диагнозом ДЦП. M. Gupta

и соавт. (2018) продемонстрировали, что 20 сеансов рТМС улучшают способность к обучению у детей с ДЦП [54]. У.-Н. Ji и соавт. (2019) изучили клинический эффект иглоукалывания в сочетании с рТМС при лечении детей со спастическим церебральным параличом и его влияние на улучшение церебральной гемодинамики. После проведенного лечения по сравнению с начальным уровнем наблюдалось значительное увеличение показателей двигательной активности и других социально значимых функций (когнитивная и речевая функция, двигательные способности, самообслуживание и социальная адаптивность) ($p < 0,01$) [108].

Следует признать, что до сих пор большинство клинических исследований ТМС сосредоточены на взрослых популяциях, при этом наблюдений применения ТМС в педиатрии, особенно в отношении когнитивных нарушений, крайне недостаточно. Не изучены клинические аспекты применения ТМС у детей дошкольного возраста. Имеются всего две публикации о ее применении при лечении когнитивных нарушений в России у детей. Одна из них касается изучения эффективности лечения когнитивных нарушений с помощью ТМС, проводившейся в реабилитационном центре г. Иркутска в 2014–2015 гг. Методику применяли в комплексном лечении детей с когнитивными нарушениями, лечение получили 230 детей с задержкой речевого, психоречевого развития, нарушениями поведения, эмоционально-волевыми нарушениями, умственной отсталостью. Авторы сообщают, что примерно у 2/3 детей отмечалось улучшение показателей развития речи и психологического статуса. Наилучшие результаты были выявлены при одновременном использовании ТМС и коррекционно-развивающих занятий с логопедом и дефектологом [109].

Еще одно исследование было проведено в 2011–2017 гг. в г. Улан-Удэ с участием детей с задержкой речевого, психоречевого развития, СДВГ, РАС. Проводилось лечение ритмической ТМС. После лечения у 75% детей появилась речевая продукция, у малоговорящих детей — фразовая речь и развернутые предложения. Увеличился познавательный интерес, отмечалось улучшение моторики и навыков самообслуживания, урежались или прекращались энурез, энкопроз, также уменьшалась гиперактивность поведения [110]. Недостатком является то, что обе работы соответствуют уровню доказательности С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имеющиеся на сегодняшний день данные позволяют говорить о большом потенциале ТМС в лечении когнитивно-поведенческих и других патологических состояний

у детей. В настоящее время ТМС является хорошо переносимым и безопасным методом лечения отдельных когнитивно-поведенческих дисфункций, особенно у взрослых. Использование ТМС представляется перспективной альтернативой фармакотерапии и другим методам стимуляции физических факторами. Эффективность и безопасность лечения отдельных состояний с помощью ТМС подтверждена исследованиями с высоким уровнем доказательности.

ВКЛАД АВТОРОВ

Ю.В. Нестерова, Г.А. Каркашадзе, Л.С. Намазова-Баранова, Е.А. Вишнева, Е.В. Кайтукова — основные авторы, сбор информации, написание статьи, итоговая переработка статьи, окончательное утверждение версии для публикации.

Л.М. Яцык, Д.А. Бушуева, Н.С. Сергиенко, Т.Ю. Гогберашвили, Т.А. Константиныди, Д.С. Кратко — соавторы, сбор информации, написание статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Julia V. Nesterova, George A. Karkashadze, Leila S. Namazova-Baranova, Elena A. Vishneva, Elena V. Kaytukova — main authors, data collection, manuscript writing, final editing, final approval of manuscript for publication.

Leonid M. Yatsik, Daria A. Bushueva, Natalia S. Sergienko, Tinatin Yu. Gogberashvili, Tatiana A. Konstantinidi, Dmitry S. Kratko — coauthors, data collection, manuscript writing.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Не указан.

FINANCING SOURCE

Not specified.

РАСКРЫТИЕ ИНТЕРЕСОВ

Авторы подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

DISCLOSURE OF INTEREST

Not declared.

ORCID

Ю.В. Нестерова

<https://orcid.org/0000-0002-0596-631X>

Г.А. Каркашадзе

<https://orcid.org/0000-0002-8540-3858>

Л.С. Намазова-Баранова

<https://orcid.org/0000-0002-2209-7531>

Е.А. Вишнева

<https://orcid.org/0000-0001-7398-0562>

Е.В. Кайтукова

<https://orcid.org/0000-0002-8936-3590>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Усманов С.А., Маджидова Ё.Н., Ахмедова Д.С., Мухаммадсолих Ш.Б. Психоречевые нарушения у детей с перинатальными поражениями нервной системы и их коррекция на фоне транскраниальной микрополяризации // *Новый день в медицине*. — 2020. — № 2. — С. 238–241. [Usmanov SA, Madjidova YN, Akhmedova DS, Mukhammadsolikh ShB. Dynamics of clinical and neurological indicators in children with speech disorders on the background of transcranial micropolarization. *New Day in Medicine*. 2020;(2):238–241. (In Russ).]
- Трифоновна Н., Жукова Э., Борисова Н. и др. Пути снижения частоты преждевременных родов у женщин после экстракорпорального оплодотворения // *Врач*. — 2017. — № 1. — С. 19–21. [Trifonova N, Zhukova E, Borisova N, et al. Ways to reduce the rate of premature birth in women after in vitro fertilization. *Vrach*. 2017;(1):19–21. (In Russ).]

- Barfield WD. Public health implications of very preterm birth. *Clin Perinatol*. 2018;45(3):565–577. doi: 10.1016/j.clp.2018.05.007
- Callaghan WM, MacDorman MF, Shapiro-Mendoza CK, Barfield WD. Explaining the recent decrease in US infant mortality rate, 2007–2013. *Am J Obstet Gynecol*. 2017;216(1):73.e1-73.e8. doi: 10.1016/j.ajog.2016.09.097
- Staudt M. Reorganization after pre- and perinatal brain lesions. *J Anat*. 2010;217(4):469–74. doi: 10.1111/j.1469-7580.2010.01262.x
- Purisch SE, Gyamfi-Bannerman C. Epidemiology of preterm birth. *Semin Perinatol*. 2017;41(7):387–391. doi: 10.1053/j.semperi.2017.07.009
- Vogel JP, Chawanpaiboon S, Moller A-B, et al. The global epidemiology of preterm birth. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol*. 2018;52:3–12. doi: 10.1016/j.bpobgyn.2018.04.003

8. Немкова С.А. Речевые нарушения при детском церебральном параличе: диагностика и коррекция // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. — 2019. — Т. 119. — № 5. — С. 112–119. [Nemkova SA. Speech disorders in children with cerebral palsy: diagnostics and correction. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry = Zhurnal neurologii i psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2019;119(5):112–119. (In Russ).] doi: 10.17116/jnevro2019119051112
9. Сергиенко А.А., Строгова С.Е., Зверева Н.В. Нейропсихологический и психометрический анализ дефекта у детей и подростков с эндогенной психической патологией // *Педиатр*. — 2015. — Т. 6. — № 4. — С. 112–115. [Sergienko AA, Strogova SE, Zvereva NV. Neuropsychological and psychometric analysis of the defect at children and adolescents with endogenous mental pathology. *Pediatrician*. 2015;6(4):112–115. (In Russ).] doi: 10.17816/PED64112-115
10. Donaldson AE, Gordon MS, Melvin GA, et al. Addressing the needs of adolescents with treatment resistant depressive disorders: a systematic review of rTMS. *Brain Stimulat*. 2014;7(1):7–12. doi: 10.1016/j.brs.2013.09.012
11. Fluss J, Lidzba K. Cognitive and academic profiles in children with cerebral palsy: A narrative review. *Ann Phys Rehabil Med*. 2020;63(5):447–456. doi: 10.1016/j.rehab.2020.01.005
12. Vitrikas K, Dalton H, Breish D. Cerebral Palsy: An Overview. *Am Fam Physician*. 2020;101(4):213–220.
13. Орипова Ш.Б., Касимова С.А., Абдукадилов У.Т. Сочетание когнитивных и эмоциональных нарушений при эпилепсии // *Re-Health Journal*. — 2020. — № 3-2. — С. 85–88. [Oripova ShB, Kasimova SA, Abdulkadirov UT. Combination of cognitive and emotional disorders in epilepsy. *Re-Health Journal*. 2020;(3-2):85–88. (In Russ).] doi: 10.24411/2181-0443/2020-10126
14. Коростий В.И., Блажина И.Ю. Недементные когнитивные расстройства у пациентов с эпилепсией: современное состояние проблемы // *Психиатрия, психотерапия и клиническая психология*. — 2020. — Т. 11. — № 1. — С. 168–176. [Korostiy V, Blazhina I. Non-demential Cognitive Disorders in Patients with Epilepsy: Current State of the Problem. *Psychiatry, Psychotherapy and Clinical Psychology*. 2020;11(1):169–176. (In Russ).] doi: 10.34883/PI.2020.11.1.016
15. Arinzechi EO, Ogunrin OA, Nwosu CM, et al. Seizure frequency and risk of cognitive impairment in people living with epilepsy in a sub-urban community in South Eastern Nigeria. *J Clin Neurosci*. 2019;59:98–105. doi: 10.1016/j.jocn.2018.10.120
16. Holmes GL. Cognitive impairment in epilepsy: the role of network abnormalities. *Epileptic Disord*. 2015;17(2):101–116. doi: 10.1684/epd.2015.0739
17. Cantio C, White S, Madsen GF, et al. Do cognitive deficits persist into adolescence in autism? *Autism Res*. 2018;11(9):1229–1238. doi: 10.1002/aur.1976
18. Huang F, Sun L, Qian Y, et al. Cognitive function of children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder and learning difficulties: a developmental perspective. *Chin Med J (Engl)*. 2016;129(16):1922–1928. doi: 10.4103/0366-6999.187861
19. Karalunas SL, Hawkey E, Gustafson H, et al. Overlapping and distinct cognitive impairments in Attention-Deficit/Hyperactivity and Autism Spectrum Disorder without intellectual disability. *J Abnorm Child Psychol*. 2018;46(8):1705–1716. doi: 10.1007/s10802-017-0394-2
20. Nyrenius J, Billstedt E. The functional impact of cognition in adults with autism spectrum disorders. *Nord J Psychiatry*. 2020;74(3):220–225. doi: 10.1080/08039488.2019.1694698
21. Rhodus EK, Barber J, Abner EL, et al. Behaviors Characteristic of Autism Spectrum Disorder in a Geriatric Cohort With Mild Cognitive Impairment or Early Dementia. *Alzheimer Dis Assoc Disord*. 2020;34(1):66–71. doi: 10.1097/WAD.0000000000000345
22. Попова О.С., Попова С.И., Самотеев А.А., Гуцалова В.П. Сравнительный анализ данных эпилепсии при применении ТКМП у детей с нарушениями когнитивных функций // *Общая психопатология: традиции и перспективы: материалы Российской научной конференции с международным участием*. — Ростов н/Д; 2017. — С. 265–268. [Popova OS, Popova SI, Samoteev AA, Gutsalova VP. Sravnitel'nyy analiz dannykh epi pri primeneni TKMP u detey s narusheniyami kognitivnykh funktsiy. In: *Obshchaya psikhopatologiya: traditsii i perspektivy*. Abstract book of the Russian scientific conference with international participation. Rostov-on-Don; 2017. pp. 265–268. (In Russ).]
23. Семаго Н.Я., Семаго М.М., Бородина Л.Г. Методология определения коррекционной помощи для детей с различными вариантами РАС // *Комплексное сопровождение детей с расстройствами аутистического спектра: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции*. — М.: МГППУ; 2018. — С. 82–88. [Semago NYa, Semago MM, Borodina LG. Metodologiya opredeleniya korektsionnoy pomoshchi dlya detey s razlichnymi variantami RAS. In: *Kompleksnoe soprovozhdenie detey s rasstroystvami autisticheskogo spektra*: Abstract book of the III All-Russian scientific-practical conference. Moscow: Moscow State University of Psychology and Education; 2018. pp. 82–88. (In Russ).]
24. Каркашадзе Г.А., Маслова О.И., Намазова-Баранова Л.С. Актуальные проблемы диагностики и лечения легких когнитивных нарушений у детей // *Педиатрическая фармакология*. — 2011. — Т. 8. — № 5. — С. 37–41. [Karkashadze GA, Maslova OI, Namazova-Baranova LS. Current problems of diagnosis and treatment of mild cognitive impairments in children. *Pediatriceskaya farmakologiya — Pediatric pharmacology*. 2011;8(5):37–41. (In Russ).]
25. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Каркашадзе Г.А. Новые нейробиологические подходы к профилактике и лечению перинатальных поражений ЦНС. — М.: РАН; 2017. [Baranov AA, Namazova-Baranova LS, Karkashadze GA. *Novye neyrobiologicheskie podkhody k profilaktike i lecheniyu perinatal'nykh porazheniy tsentral'noy nervnoy sistemy*. Moscow: Russian Academy of Sciences; 2017. (In Russ).]
26. Ковалева О.А., Венцова А.Г., Лигунова Д.М. и др. Сравнительный анализ данных транскраниальной доплерографии сосудов головного мозга при применении транскраниальной микрополяризации у детей с когнитивными расстройствами // *Альманах современной науки и образования*. — 2017. — № 6. — С. 54–57. [Kovaleva OA, Ventsova AG, Ligonova DM, et al. Comparative analysis of data of transcranial doppler sonography of brain vessels under the use of transcranial micropolarization when examining children with cognitive disorders. *Almanac of Modern Science and Education*. 2017;(6):54–57. (In Russ).]
27. Яценко Е.В. Микрополяризация — эффективный неинвазивный метод нейростимуляции при органических поражениях головного мозга у детей // *Art of medicine*. — 2019. — № 2. — С. 123–127. [Yatsenko EV. Direct current stimulation is an effective non-invasive method of neurostimulation in treatment of children with organic brain disease. *Art of medicine*. 2019;(2):123–127. (In Russ).] doi: 10.21802/artm.2019.2.10.123
28. Рахманина И.Н., Овсянникова Т.Ю., Калмыкова Н.Ю. Использование биоакустической коррекции при реабилитации детей с расстройствами аутистического спектра // *Вестник научных конференций*. — 2019. — № 3-3. — С. 127–129. [Rakhmanina IN, Ovsyannikova TYu, Kalmykova NYu. Ispol'zovanie bioakusticheskoi korektsii pri reabilitatsii detei s rasstroystvom autisticheskogo spektra. *Vestnik nauchnykh konferentsii*. 2019;(3-3):127–129. (In Russ).]
29. Алексюк Ю.Б. Особенности использования метода биоакустической коррекции (БАК) в рамках психопрофилактической, психокоррекционной работы с детьми // *Социальная работа: теория, методы, практика*. — 2016. — Т. 3. — № 5. — С. 4–6. [Aleksyuk YuB. Osobennosti ispol'zovaniya metoda bioakusticheskoi korektsii (BAK) v ramkakh psikhoprofilakticheskoi, psikhokorektsionnoy raboty s det'mi. *Sotsial'naya rabota: teoriya, metody, praktika*. 2016;3(5):4–6. (In Russ).]
30. Ильичев В.П., Ильичева М.В., Механтьева Л.Е. Немедикаментозные методы коррекции речевых нарушений в педиатрической практике // *Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья*. — 2019. — № 78. — С. 35–40. [Il'ichev VP, Il'icheva MV, Mehant'eva LE. On the use of non-medicamentous methods of correction of speech disorders in pediatric practice. *Medical Scientific Bulletin of Central Chernozemye*. 2019;(78):35–40. (In Russ).]
31. Терешин А.Е., Кирьянова В.В., Константинов К.В. и др. Биоакустическая коррекция в когнитивной реабилитации пациентов с очаговыми поражениями головного мозга // *Вестник восстановительной медицины*. — 2019. — № 5. — С. 47–56. [Tereshin AE, Kiryanova VV, Konstantinov KV, et al. Bioacoustic correction in cognitive rehabilitation of patients with focal brain lesions. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2019;(5):47–56. (In Russ).]
32. Азова О.И. Нарушение обработки слуховой информации: исследования и слуховые терапии // *Актуальные проблемы логопедии: сборник научных и научно-методических трудов*. — Саратов; 2018. — С. 5–13. [Azova OI. Auditory processing disorder: research and listening therapies. *Aktual'nye problemy logopedii*: Collection of scientific and scientific-methodical works. Saratov; 2018. pp. 5-13. (In Russ).]

33. Колчева Ю.А., Константинов К.В., Беникова Е.В. Применение метода «биоакустическая коррекция» при лечении задержки речевого развития у детей // *Университетская клиника*. — 2017. — Т. 12. — № 2. — С. 49–51. [Kolcheva YA, Konstantinov KV, Benikova EV. The efficiency of “bio-acoustic correction” method in treatment of speech development delay in children. *University Clinic*. 2017;12(2):49–51. (In Russ).]
34. Шульга С.Ю., Лыткина О.Ю. Применение метода биоакустической коррекции в реабилитации детей с инвалидностью // *Формы и методы социальной работы в различных сферах жизнедеятельности: материалы VIII Международной научно-практической конференции*. — Улан-Удэ: ВСГУТУ; 2019. — С. 281–283. [Shulga SY, Lytkina OY. Application of the bioacoustic correction method in rehabilitation of disabled children. In: *Forms and methods of social work in different spheres of activity: Materials of VIII International Scientific Conference*. Ulan-Ude: East Siberian State University of Technology and Management; 2019. pp. 281–283. (In Russ).]
35. Кожушко Н.Ю. Использование локальных воздействий на мозг у детей с нарушениями психического развития // *Вопросы психического здоровья детей и подростков*. — 2017. — Т. 17. — № 3. — С. 42–49. [Kozhushko NYu. The use of local brain stimulation by the children with mental disorders. *Mental Health of Children and Adolescent*. 2017;17(3):42–49. (In Russ).]
36. Богомолец К.Ю., Алымбаев Е.Ш., Бабаджанов Т.Д. и др. Транскраниальная и трансвертебральная микрополяризация в лечении детей с церебральным параличом // *Авиценна*. — 2017. — № 8. — С. 4–11. [Bogomolets KU, Alymbaev ESh, Babadjanov ND, et al. Transcranial and trans-spinal micropolarization in treatment of children with cerebral paralysis. *Avitsenna*. 2017;(8):4–11. (In Russ).]
37. Князева О.В., Белоусова М.В., Прусаков В.Ф., Зайкова Ф.М. Применение транскраниальной микрополяризации в комплексной реабилитации детей с расстройством экспрессивной речи // *Вестник современной клинической медицины*. — 2019. — Т. 12. — Вып. 1. — С. 64–69. [Knyazeva OV, Belousova MV, Prusakov VF, Zaikova FM. Transcranial micropolarization application in complex rehabilitation in children with expressive speech disorder. *The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine*. 2019;12(1):64–69. (In Russ).] doi: 10.20969/VSKM.2019.12(1).64-69
38. Бугрий С.В., Савченко А.К., Константинов К.В. Применение метода биоакустической коррекции в сочетании с транскраниальной микрополяризацией у пациентов дошкольного и младшего школьного возраста // *Международный конгресс «Нейронаука для медицины и психологии»*. — Судак; 2018. — С. 121–122. [Bugriy SV, Savchenko AK, Konstantinov KV. Application of the bioacoustic correction method in combination with transcranial micropolarization for patients of preschool and primary school age. In: *International Congress “Neuroscience for Medicine and Psychology”*. Sudak; 2018. pp. 121–122. (In Russ).]
39. Метод TOMATIS®. [*The TOMATIS® Method*. (In Russ).] Доступно по: <https://www.tomatis.com/ru>. Ссылка активна на 24.12.2021.
40. Витенко Н. П. К вопросу об использовании метода аудио-коррекции в работе с детьми с РАС // *Актуальные проблемы научно-методического обеспечения процесса безопасной жизнедеятельности школьников и студентов в сфере образования: материалы II Всероссийской научно-практической конференции*. — Ростов н/Д: АкадемЛит; 2019. — С. 162–167. [Vitenko NP. The question how to use the audio-correction in working with children with ASD. In: *Aktual'nye problemy nauchno-metodicheskogo obespecheniya protsesssa bezopasnoi zhiznedejatel'nosti shkol'nikov i studentov v sfere obrazovaniya: Materials of the II All-Russian scientific-practical conference*. Rostov-on-Don: AkademLit; 2019. pp. 162–167. (In Russ).]
41. Ицкович М.М., Кнюдде Д.Г. О формировании ценностей социального поведения у детей с расстройствами аутистического спектра путем трансляции сказки в методе Томатиса // *Специальное образование*. — 2018. — № 4. — С. 41–55. [Itskovich MM, Knyudde DG. On the formation of values of social behavior in children with autism spectrum disorder through translation of a fairy tale in the Tomatis method. *Special Education*. 2018;(4):41–55. (In Russ).] doi: 10.26170/sp18-04-03
42. Coppola G, Toro A, Operto FF, et al. Mozart's music in children with drug-refractory epileptic encephalopathies. *Epilepsy Behav*. 2015;50:18–22. doi: 10.1016/j.yebeh.2015.05.038
43. Corbett BA, Shickman K, Ferrer E. Brief report: the effects of Tomatis sound therapy on language in children with autism. *J Autism Dev Disord*. 2008;38(3):562–566. doi: 10.1007/s10803-007-0413-1
44. Maguire M. Epilepsy and music: practical notes. *Pract Neurol*. 2017;17(2):86–95. doi: 10.1136/practneurol-2016-001487
45. Talero-Gutiérrez C, Zarruk-Serrano JG, Espinosa-Bode A. Musical perception and cognitive functions. Is there such a thing as the Mozart effect? *Rev Neurol*. 2004;39(12):1167–1173.
46. Thompson BM, Andrews SR. An historical commentary on the physiological effects of music: Tomatis, Mozart and neuropsychology. *Integr Physiol Behav Sci*. 2000;35(3):174–188. doi: 10.1007/BF02688778
47. Horvath JC, Forte JD, Carter O. Quantitative Review Finds No Evidence of Cognitive Effects in Healthy Populations From Single-session Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS). *Brain Stimul*. 2015;8(3):535–550. doi: 10.1016/j.brs.2015.01.400
48. Bourzac K. Neurostimulation: Bright sparks. *Nature*. 2016;531(7592):6–8. doi: 10.1038/531S6a
49. Kobayashi M., Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation in neurology. *Lancet Neurol*. 2003;2(3):145–156. doi: 10.1016/s1474-4422(03)00321-1
50. Narayana S, Papanicolaou AC, McGregor A, et al. Clinical applications of transcranial magnetic stimulation in pediatric neurology. *J Child Neurol*. 2015;30(9):1111–1124. doi: 10.1177/0883073814553274
51. Barker AT, Jalinous R, Freeston IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *Lancet Lond Engl*. 1985;1(8437):1106–1107. doi: 10.1016/s0140-6736(85)92413-4
52. Белова А.Н., Балдова С.Н. Транскраниальная магнитная стимуляция: клиническое применение и научные перспективы // *Успехи современного естествознания*. — 2015. — № 9. — С. 34–42. [Belova AN, Baldova SN. Transcranial magnetic stimulation: clinical applications and research potential. *Advances In Current Natural Sciences*. 2015;(9):34–42. (In Russ).]
53. Ефимова В.Л., Таможенников И.А., Рябчикова Н.А., Савельев А.В. Применение метода и аппаратуры ритмической транскраниальной магнитной стимуляции у младших школьников с синдромом дефицита внимания с гиперактивностью // *Биомедицинская радиоэлектроника*. — 2017. — № 10. — С. 7–11. [Efimova VL, Tamozhennikov IA, Ryabchikova NA, Savelyev AV. Application of rhythmic transcranial magnetic stimulation for primary school children with attention deficit hyperactivity disorder. *Biomedicine Radioelectronics*. 2017;(10):7–11. (In Russ).]
54. Gupta M, Bhatia D. Evaluating the effect of repetitive transcranial magnetic stimulation in cerebral palsy children by employing electroencephalogram signals. *Ann Indian Acad Neurol*. 2018;21(4):280–284. doi: 10.4103/aijan.AIAN_413_17
55. Супонева Н.А., Бакулин И.С., Пойдашева А.Г., Пирадов М.А. Безопасность транскраниальной магнитной стимуляции: обзор международных рекомендаций и новые данные // *Нервно-мышечные болезни*. — 2017. — Т. 7. — № 2. — С. 21–36. [Suponeva NA, Bakulin IS, Poydasheva AG, Piradov MA. Safety of transcranial magnetic stimulation: review of international guidelines and new findings. *Neuromuscular Diseases*. 2017;7(2):21–36. (In Russ).] doi: 10.17650/2222-8721-2017-7-2-21-36
56. Ficarella SC, Battelli L. Motor preparation for action inhibition: a review of single pulse TMS studies using the Go/NoGo paradigm. *Front Psychol*. 2019;10:340. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00340
57. Savoie F-A, Lauranne D-J, François T, et al. Single-pulse TMS over the parietal cortex does not impair sensorimotor perturbation-induced changes in motor commands. *eNeuro*. 2020;7(2):ENEURO.0209-19.2020. doi: 10.1523/ENEURO.0209-19.2020
58. de Goede AA, Cumplido-Mayoral I, van Putten MJAM. Spatiotemporal dynamics of single and paired pulse TMS-EEG responses. *Brain Topogr*. 2020;33(4):425–437. doi: 10.1007/s10548-020-00773-6
59. Opie GM, Sidhu SK, Rogasch NC, et al. Cortical inhibition assessed using paired-pulse TMS-EEG is increased in older adults. *Brain Stimulat*. 2018;11(3):545–557. doi: 10.1016/j.brs.2017.12.013
60. Войтенков В.Б., Скрипченко Н.В. Транскраниальная магнитная стимуляция в педиатрии // *Медицинский алфавит*. — 2017. — Т. 3. — № 39. — С. 46–51. [Voitenkov VB, Skripchenko NV. Transcranial magnetic stimulation in pediatrics. *Medical alphabet*. 2017;3(39):46–51. (In Russ).]
61. Червяков А.В., Пойдашева А.Г., Коржова Ю.Е. 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. [Chervyakov AV, Poydasheva AG, Korzhova JE, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation in neurology and psychiatry.

- S.S. Korsakov *Journal of Neurology and Psychiatry*. 2015;115(12):7–18. (In Russ.) doi: 10.17116/jnevro20151151127-18
62. Bentley JN, Irwin ZT, Black SD, et al. Subcortical intermittent theta-burst stimulation (iTBS) increases theta-power in dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC). *Front Neurosci*. 2020;14:41. doi: 10.3389/fnins.2020.00041
63. Cristancho P, Akkineni K, Constantino JN, et al. Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) in a 15 year old patient with autism and co-morbid depression. *J ECT*. 2014;30(4):e46–e47. doi: 10.1097/YCT.0000000000000156
64. Iseger TA, Arns M, Downar J, et al. Cardiovascular differences between sham and active iTBS related to treatment response in MDD. *Brain Stimulat*. 2020;13(1):167–174. doi: 10.1016/j.brs.2019.09.016
65. Пойдашева А.Г., Сеницын Д.О., Бакулин И.С. и др. Определение мишени для транскраниальной магнитной стимуляции у пациентов с резистентным к фармакотерапии депрессивным эпизодом на основе индивидуальных параметров функциональной магнитно-резонансной томографии покоя (пилотное слепое контролируемое исследование) // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. — 2019. — Т. 11. — № 4. — С. 44–50. [Poydasheva AG, Sinitsyn DO, Bakulin IS, et al. Target determination for transcranial magnetic stimulation in patients with a pharmacotherapy-resistant depressive episode based on the individual parameters of resting-state functional magnetic resonance imaging (a pilot blind controlled trial). *Nevrologiya, neiropsikhiatriya, psikhosomatika = Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2019;11(4):44–50. (In Russ.)] doi: 10.14412/2074-2711-2019-4-44-50
66. Cocchi L, Zalesky A, Nott Z, et al. Transcranial magnetic stimulation in obsessive-compulsive disorder: a focus on network mechanisms and state dependence. *Neuroimage Clin*. 2018;19:661–674. doi: 10.1016/j.nicl.2018.05.029
67. Perera T, George MS, Grammer G, et al. The clinical TMS society consensus review and treatment recommendations for TMS therapy for major depressive disorder. *Brain Stimulat*. 2016;9(3):336–346. doi: 10.1016/j.brs.2016.03.010
68. Vidrine R. Integrating deep transcranial magnetic stimulation into the OCD treatment algorithm. *Psychiatric Times*. 2020;37(4):17–19.
69. Madoe G. The role of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) in the treatment of behavioral addictions: Two case reports and review of the literature. *J Behav Addict*. 2021;10(2):361–370. doi: 10.1556/2006.2021.00032
70. Carmi L, Tendler A, Bystritsky A. Efficacy and safety of deep transcranial magnetic stimulation for obsessive-compulsive disorder: a prospective multicenter randomized double-blind placebo-controlled trial. *Am J Psychiatry*. 2019;176(11):931–938. doi: 10.1176/appi.ajp.2019.18101180
71. Krishnan C, Santos L, Peterson MD, et al. Safety of noninvasive brain stimulation in children and adolescents. *Brain Stimul*. 2015;8(1):76–87. doi: 10.1016/j.brs.2014.10.012
72. Allen CH, Kluger BM, Buard I. Safety of transcranial magnetic stimulation in children: a systematic review of literature. *Pediatr Neurol*. 2017;68:3–17. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2016.12.009
73. Rossi S, Hallett M, Rossini PM, et al. Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. *Clin Neurophysiol*. 2009;120(12):2008–2039. doi: 10.1016/j.clinph.2009.08.016
74. Najib U, Horvath J.C. Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) Safety Considerations and Recommendations. In: *Transcranial magnetic stimulation*. Rotenberg A, Horvath JC, Pascual-Leone A, eds. New York: Humana Press; 2014. pp. 15–31.
75. Malone LA, Sun LR. Transcranial magnetic stimulation for the treatment of pediatric neurological disorders. *Curr Treat Options Neurol*. 2019;21(11):58. doi: 10.1007/s11940-019-0600-3
76. Croarkin PE, Elmaadawi AZ, Aaronson ST, et al. Left prefrontal transcranial magnetic stimulation for treatment-resistant depression in adolescents: a double-blind, randomized, sham-controlled trial. *Neuropsychopharmacology*. 2021;46(2):462–469. doi: 10.1038/s41386-020-00829-y
77. Le K, Liu L, Sun M, et al. Transcranial magnetic stimulation at 1 Hertz improves clinical symptoms in children with Tourette syndrome for at least 6 months. *J Clin Neurosci*. 2013;20(2):257–262. doi: 10.1016/j.jocn.2012.01.049
78. Мельников М.Е., Безматерных Д.Д., Шубина О.С., Штарк М.Б. Исследования депрессивных расстройств средствами фМРТ, зафиксированной в состоянии покоя // *Успехи физиологических наук*. — 2017. — Т. 48. — № 2. — С. 30–42. [Melnikov MYe, Bezmaternikh DD, Shubina OS, Shtark MB. Resting State fMRI Studies in Depressive Disorders. *Progress in Physiological Science*. 2017;48(2):30–42. (In Russ.)]
79. Fonseka T, Macqueen G, Kennedy S. Neuroimaging biomarkers as predictors of treatment outcome in major depressive disorder. *J Affect Disord*. 2018;233:2135. doi: 10.1016/j.jad.2017.10.049
80. Mutz J, Edgcombe DR, Brunoni AR, Fu CHY. Efficacy and acceptability of non-invasive brain stimulation for the treatment of adult unipolar and bipolar depression: A systematic review and meta-analysis of randomised sham-controlled trials. *Neurosci Biobehav Rev*. 2018;92:291–303. doi: 10.1016/j.neubiorev.2018.05.015
81. Suppa A, Huang Y-Z, Funke K., et al. Ten years of theta burst stimulation in humans: established knowledge, unknowns and prospects. *Brain Stimulat*. 2016;9(3):323–335. doi: 10.1016/j.brs.2016.01.006
82. MacMaster FP, Croarkin PE, Wilke TC, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation in youth with treatment resistant major depression. *Front Psychiatry*. 2019;10:170. doi: 10.3389/fpsy.2019.00170
83. Zhang T, Zhu JJ, Xu LH, et al. Add-on rTMS for the acute treatment of depressive symptoms is probably more effective in adolescents than in adults: Evidence from real-world clinical practice. *Brain Stimulat*. 2019;12(1):103–109. doi: 10.1016/j.brs.2018.09.007
84. Hett D, Rogers J, Humpston C, Marwaha S. Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) for the Treatment of Depression in Adolescence: A Systematic Review. *J Affect Disord*. 2021;278:460–469. doi: 10.1016/j.jad.2020.09.058
85. Wu SW, Gilbert DL, Shahana N, et al. Transcranial magnetic stimulation measures in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Pediatr Neurol*. 2012;47(3):177–185. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2012.06.003
86. Bloch Y, Harel EV, Aviram S, et al. Positive effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on attention in ADHD Subjects: a randomized controlled pilot study. *World J Biol Psychiatry*. 2010;11(5):755–758. doi: 10.3109/15622975.2010.484466
87. Strafella AP, Paus T, Barrett J, Dagher A. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the human prefrontal cortex induces dopamine release in the caudate nucleus. *J Neurosci*. 2001;21(15):RC157. doi: 10.1523/JNEUROSCI.21-15-j0003.2001
88. Weaver L, Rostain AL, Mace W, et al. Transcranial magnetic stimulation (TMS) in the treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder in adolescents and young adults: a pilot study. *J ECT*. 2012;28(2):98–103. doi: 10.1097/YCT.0b013e31824532c8
89. Grados M, Huselid R, Duque-Serrano L. Transcranial Magnetic Stimulation in Tourette Syndrome: A Historical Perspective, Its Current Use and the Influence of Comorbidities in Treatment Response. *Brain Sci*. 2018;8(7):129. doi: 10.3390/brainsci8070129.
90. Münchau A, Bloem BR, Thilo KV, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation for Tourette syndrome. *Neurology*. 2002;59(11):1789–1791. doi: 10.1212/01.wnl.0000036615.25044.50
91. Orth M, Kirby R, Richardson MP, et al. Subthreshold rTMS over pre-motor cortex has no effect on tics in patients with Gilles de la Tourette syndrome. *Clin Neurophysiol*. 2005;116(4):764–768. doi: 10.1016/j.clinph.2004.10.003
92. Hsu C-W, Wang L-J, Lin P-Y. Efficacy of repetitive transcranial magnetic stimulation for Tourette syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Brain Stimulat*. 2018;11(5):1110–1118. doi: 10.1016/j.brs.2018.06.002
93. Becker JE, Shultz EKB, Maley CT. Transcranial Magnetic Stimulation in Conditions Other than Major Depressive Disorder. *Child Adolesc Psychiatr Clin N Am*. 2019;28(1):45–52. doi: 10.1016/j.chc.2018.08.001
94. Докукина Т.В., Митюкова Т.А., Осипчик С.И. и др. Транскраниальная магнитная стимуляция в лечении ребенка с аутизмом // *Неврология и нейрохирургия. Восточная Европа*. — 2020. — Т. 10. — № 4. — С. 586–596. [Dokukina TV, Mityukova TA, Osipchik SI. Transcranial magnetic stimulation for the treatment of a child with autism. *Neurology and Neurosurgery. Eastern Europe*. 2020;10(4):586–596. (In Russ.)] doi: 10.34883/Pl.2020.10.4.041
95. Finisguerra A, Borgatti R, Urgesi C. Non-invasive Brain Stimulation for the Rehabilitation of children and adolescents with neurodevelopmental disorders: A Systematic Review. *Front Psychol*. 2019;10:135. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00135
96. Sokhadze EM, El-Baz AS, Tasman A, et al. Neuromodulation integrating rTMS and neurofeedback for the treatment of autism spectrum disorder: an exploratory study. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2014;39(3–4):237–257. doi: 10.1007/s10484-014-9264-7
97. Casanova MF, Shaban M, Ghazal M, et al. Effects of transcranial magnetic stimulation therapy on evoked and induced Gamma

- oscillations in children with Autism Spectrum Disorder. *Brain Sci.* 2020;10(7):423. doi: 10.3390/brainsci10070423
98. Barahona-Corrêa JB, Velosa A, Chainho A, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation for treatment of Autism Spectrum Disorder: a systematic review and meta-analysis. *Front Integr Neurosci.* 2018;12:27. doi: 10.3389/fnint.2018.00027
99. Abujadi C, Croarkin PE, Bellini BB, et al. Intermittent theta-burst transcranial magnetic stimulation for autism spectrum disorder: an open-label pilot study. *Braz J Psychiatry.* 2018;40(3):309–311. doi: 10.1590/1516-4446-2017-2279
100. Ahmari SE, Dougherty DD. Dissecting OCD circuits: from animal models to targeted treatments. *Depress Anxiety.* 2015;32(8):550–562. doi: 10.1002/da.22367
101. Bais M, Figeo M, Denys D. Neuromodulation in obsessive-compulsive disorder. *Psychiatr Clin North Am.* 2014;37(3):393–413. doi: 10.1016/j.psc.2014.06.003
102. Berlim MT, Neufeld NH, Van den Eynde F. Repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) for obsessive-compulsive disorder (OCD): an exploratory meta-analysis of randomized and sham-controlled trials. *J Psychiatr Res.* 2013;47(8):999–1006. doi: 10.1016/j.jpsychires.2013.03.022
103. Trevizol AP, Shiozawa P, Cook IA, et al. Transcranial magnetic stimulation for Obsessive-Compulsive Disorder: an updated systematic review and meta-analysis. *J ECT.* 2016;32(4):262–266. doi: 10.1097/YCT.0000000000000335
104. Pedapati E, DiFrancesco M, Wu S, et al. Neural correlates associated with symptom provocation in pediatric obsessive compulsive disorder after a single session of sham-controlled repetitive transcranial magnetic stimulation. *Psychiatry Res.* 2015;233(3):466–473. doi: 10.1016/j.psychres.2015.07.020
105. Hsu WY, Cheng C-H, Lin M-W, et al. Antiepileptic effects of low frequency repetitive transcranial magnetic stimulation: A meta-analysis. *Epilepsy Res.* 2011;96(3):231–240. doi: 10.1016/j.eplepsyres.2011.06.002
106. Graff-Guerrero A, González-Olvera J, Ruiz-García M, et al. rTMS reduces focal brain hyperperfusion in two patients with EPC. *Acta Neurol Scand.* 2004;109(4):290–296. doi: 10.1046/j.1600-0404.2003.00222.x
107. Rotenberg A, Bae EH, Takeoka M, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation in the treatment of epilepsy partialis continua. *Epilepsy Behav.* 2009;14(1):253–257. doi: 10.1016/j.yebeh.2008.09.007
108. Ji Y-H, Ji Y-H, Sun B-D. Effect of acupuncture combined with repetitive transcranial magnetic stimulation on motor function and cerebral hemodynamics in children with spastic cerebral palsy with spleen-kidney deficiency. *Zhen Ci Yan Jiu Acupunct.* 2019;44(10):757–761. doi: 10.13702/j.1000-0607.190154
109. Алимова Е.Б., Тимофеева О.П., Сабирова Р.Р., Аганина Н.Г. Роль транскраниальной магнитной стимуляции в комплексном лечении детей с задержкой психоречевого развития. ОБГУСО «Реабилитационный центр для детей и подростков с ограниченными возможностями»; 2015. [Alimova EB, Timofeeva OP, Sabirova RR, Aganina NG. Rol' transkranial'noi magnitnoi stimulyatsii v kompleksnom lechenii detei s zaderzhkoi psikhorechevogo razvitiya. OBGUSO "Reabilitatsionnyi tsestr dlya detei i podrostkov s ogranichennymi vozmozhnostyami"; 2015. (In Russ).]
110. Патент № 2 675 737 С1 Российская Федерация, МПК А61N 2/04 (2006.01). Способ лечения задержки речевого развития у детей с использованием транскраниальной магнитной стимуляции: 2018117377, заявл. 10.05.2018; опубл. 24.12.2018 № 36 / Фетисова Т. В. — 7 с. [Patent № 2 675 737 С1 Russian Federation, IPC А61N 2/04 (2006.01). Method of treatment of speech development delay in children using transcranial magnetic stimulation: № 2018117377: declare 10.05.2018: publ. 24.12.2018 № 36. Fetisova TV. 7 p. (In Russ)]

Статья поступила: 15.11.2021, принята к печати: 17.12.2021
The article was submitted 15.11.2021, accepted for publication 17.12.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS

Нестерова Юлия Викторовна, к.м.н. [Julia V. Nesterova, MD, PhD]; **адрес:** Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10 [address: 10 Fotieyov street, 119333, Moscow, Russia]; **телефон:** 8 (499) 400-47-33; **e-mail:** julnester@mail.ru; **eLibrary SPIN:** 5547-6239

Каркашадзе Георгий Арчилович, к.м.н. [George A. Karkashadze, MD, PhD]; **адрес:** Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10 [address: 10 Fotieyov street, 119333, Moscow, Russia]; **телефон:** +7 (499) 400-47-33; **e-mail:** karkaga@mail.ru; **eLibrary SPIN:** 6248-0970

Намазова-Баранова Лейла Сеймуровна, д.м.н., профессор, академик Российской академии наук [Leyla S. Namazova-Baranova, MD, PhD, Professor, Academician of the RAS]; **адрес:** Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10 [address: 10 Fotieyov Str., 119333 Moscow, Russian Federation]; **телефон:** +7 (499) 400-47-33; **e-mail:** info@pediatr-russia.ru; **eLibrary SPIN:** 1312-2147

Вишнева Елена Александровна, д.м.н. [Elena A. Vishneva, MD, PhD]; **адрес:** Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10 [address: 10 Fotieyov street, 119333, Moscow, Russia]; **телефон:** +7 (499) 400-47-33; **eLibrary SPIN:** 1109-2810

Кайтукова Елена Владимировна [Elena V. Kaytukova, MD, PhD]; **адрес:** Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10 [address: 10 Fotieyov street, 119333, Moscow, Russia]; **телефон:** +7 (499) 400-47-33; **eLibrary SPIN:** 1272-7036

Яцык Леонид Михайлович [Leonid M. Yatsik, MD]; **адрес:** Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10 [address: 10 Fotieyov street, 119333, Moscow, Russia]; **телефон:** +7 (499) 400-47-33

Бушуева Дарья Александровна [Daria A. Bushueva, MD]; **адрес:** Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10 [address: 10 Fotieyov street, 119333, Moscow, Russia]; **телефон:** +7 (499) 400-47-33

Сергиенко Наталья Сергеевна, к.м.н. [Natalia S. Sergienko, MD, PhD]; **адрес:** Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10 [address: 10 Fotieyov street, 119333, Moscow, Russia]; **телефон:** +7 (499) 400-47-33

Гогберашвили Тинатин Юзовна [Tinatin Yu. Gogberashvili, MD]; **адрес:** Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10 [address: 10 Fotieyov street, 119333, Moscow, Russia]; **телефон:** +7 (499) 400-47-33

Константиности Татьяна Анатольевна [Tatiana A. Konstantinidi, MD]; **адрес:** Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10 [address: 10 Fotieyov street, 119333, Moscow, Russia]; **телефон:** +7 (499) 400-47-33

Кратко Дмитрий Сергеевич [Dmitry S. Kratko, MD]; **адрес:** Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10 [address: 10 Fotieyov street, 119333, Moscow, Russia]; **телефон:** +7 (499) 400-47-33