

Транскраниальная магнитная стимуляция в неврологии

С.М. Кузнецова, Н.А. Скачкова

ГУ «Институт геронтологии им. Д.Ф. Чеботарева НАМН Украины», г. Киев

Резюме. У загальному оглядовому дослідженні розглядаються основні принципи транскраніальної магнітної стимуляції, можливості модуляції нейропластичності, обговорюються методологічні аспекти та аналізується ефективність її використання в клінічній практиці. Транскраніальна магнітна стимуляція дозволяє неінвазивно й безболісно стимулювати кору головного мозку. При транскраніальній магнітній стимуляції можуть використовуватися поодинокі магнітні стимули та серії повторних магнітних стимулів з різною частотою. Одноразове виконання магнітного стимулу забезпечує появу викликаної моторної відповіді, що використовується з діагностичною та прогностичною метою. За допомогою ритмічної транскраніальної магнітної стимуляції можливе модулювання збудливості кори головного мозку. Ритмічна транскраніальна магнітна стимуляція започаткувала нову галузь дослідження нервової системи та розвивається як терапевтичний інструмент.

Ключові слова: транскраніальна магнітна стимуляція, ритмічна транскраніальна магнітна стимуляція, нейропластичність.

Заболевания нервной системы представляют актуальную социальную и экономическую проблему, что обусловлено возрастающей распространенностью и большими экономическими затратами, связанными с высокой инвалидизацией вследствие этой патологии. В Европе 35% от общего бремени болезней приходится на заболевания нервной системы. В Украине также отмечается рост заболеваний нервной системы. За последние 10 лет распространенность неврологических заболеваний возросла почти в 2 раза [8].

Все более увеличивается внимание неврологов и психиатров к проблеме депрессивных расстройств. Оценка распространенности депрессии в течение жизни в США и в Европе показывает, что примерно 16-17% от общей численности населения страдают депрессией [36]. Кроме того, депрессивные расстройства сопровождают многие распространенные неврологические заболевания. Так, более 50% пациентов, перенесших инсульт, страдают тревожно-депрессивными расстройствами [6]. Это обуславливает увеличивающийся интерес к новым методам лечения. Одним из наиболее перспективных методов немедикаментозной терапии является транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС).

Разработка метода ТМС стала вехой в развитии неинвазивных методов исследова-

ния головного мозга. В 1985 году группа ученых Шеффилдского университета во главе с Anthony Barker создали первый серийный аппарат, обладающий достаточной мощностью для возбуждения моторной коры головного мозга человека через кости черепа и, в результате этого, способный вызывать движения в верхних и нижних конечностях [1, 5, 9, 31]. В основе действия метода ТМС лежит стимуляция нервной ткани с использованием переменного магнитного поля, базирующаяся на открытии Майкла Фарадея (1831 г.) влияния переменного магнитного поля, индуцирующего электрический ток в находящемся рядом проводнике, причем сила тока прямо пропорциональна частоте изменения магнитного поля [5]. При ТМС в катушке стимулятора происходит генерация электромагнитного импульса, в результате чего в находящихся рядом нервных тканях генерируется переменное электрическое поле, которое приводит к появлению импульсного тока [1]. С помощью ТМС достигается стимуляция нервной ткани при отсутствии прохождения электрического тока через кожу, кости черепа и оболочки головного мозга, что обуславливает безболезненность процедуры. Магнитная стимуляция относится к безэлектродным методам, не требует предварительной обработки кожных покровов и снятия одежды [1, 31].

© С.М. Кузнецова, Н.А. Скачкова

В настоящее время ТМС используется для исследования функционального состояния кортико-спинального тракта, уточнения локализации очага поражения, прогнозирования восстановления утраченных функций, оценки эффективности проводимых реабилитационных мероприятий, научных исследований, а также все более увеличивается интерес к терапевтическому использованию данного метода [1, 5, 31].

Лечебное действие ТМС связано с предъявлением повторяющихся магнитных стимулов. Данный способ применения переменного магнитного поля получил название ритмической ТМС (рТМС) [1]. рТМС является неинвазивным и безболезненным методом, который позволяет модифицировать кортикальную активность на определенный период времени и в определенной области головного мозга [31]. Электрическое поле, индуцируемое рТМС в мозге, возбуждает или тормозит нейрональные структуры, расположенные под индукционной катушкой или на расстоянии, но функционально связанные со стимулируемой областью [5]. рТМС оказывает активирующее влияние на ретикулярную формацию и дофаминергические структуры мозга, что способствует активации компенсаторно-восстановительных процессов в головном мозге. Установлено, что некоторые нейротрофические факторы, синтез которых стимулирует ТМС, способны предотвращать программированную клеточную смерть (апоптоз) в отдельных нейрональных популяциях [2, 4, 31]. Таким образом, с помощью рТМС осуществляется внешнее неинвазивное усиление пластичности мозга [3]. Получены предварительные положительные результаты применения ТМС для лечения целого ряда неврологических и психических заболеваний [15, 31-33, 35].

рТМС в лечении постинсультных синдромов. В основе терапевтического использования рТМС в системе реабилитации пациентов, перенесших инсульт, лежит представление о конкурентном взаимодействии полушарий. При инсульте в пораженном полушарии возбудимость и площадь иннервации пораженных мышц снижается, тогда как в непораженном полушарии — повышается. При этом аномальная гиперактивация интактного полушария оказывает дополнительное тормозное влияние на пораженное полушарие. Восстановление баланса возбудимости между полушариями может быть достигнуто посредством снижения возбудимости интактного полушария с помощью низкочастотной рТМС или повышения возбудимости пораженного полушария при использовании высокочастотной рТМС [31].

Результаты проведенных исследований показали эффективность и безопасность применения низкочастотной, высокочастотной и билатеральной рТМС у пациентов, перенесших инсульт, с различной выраженностью двигательного дефицита в различные периоды заболевания [18, 22, 30]. Так, Khedr и соавт. [22] исследовали терапевтическую эффективность 10-дневного курсового применения высокочастотной (3 Гц) рТМС моторной коры пораженного полушария у пациентов в остром периоде инсульта (2 недели после дебюта заболевания). Эффект проводимого лечения оценивался по динамике неврологического дефицита и функционального статуса пациентов (скандинавская шкала инсульта и индекс Бартел). В результате курсового применения рТМС у пациентов основной группы наблюдалась более выраженная положительная динамика клинических симптомов в сравнении с пациентами группы плацебо. Отсутствие эффекта от проводимого лечения отмечалось у пациентов с обширными инфарктами в бассейне средней мозговой артерии. Исследование продемонстрировало эффективность и безопасность применения рТМС у пациентов, перенесших инсульт, в остром периоде заболевания.

В дальнейшем Khedr и соавт. [38] была проведена сравнительная оценка эффективности двух различных частотных параметров стимуляции (3 Гц и 10 Гц). Исследователи оценивали влияние курсового применения рТМС на восстановление нарушенных двигательных функций, кортикальную возбудимость, а также отдаленный результат лечения. В результате проведенного исследования значимого различия клинических и нейрофизиологических параметров пациентов, получавших курс рТМС с частотой стимуляции 3 Гц и 10 Гц, не было установлено. Однако наблюдалось значимое клиническое улучшение у пациентов основной группы в сравнении с группой плацебо, что подтверждалось положительной динамикой данных по скандинавской шкале инсульта и индексу Бартел. Важно, что достигнутое улучшение сохранялось в течение года после проведенного лечения. Кроме того, у пациентов группы плацебо не было обнаружено изменений кортикальной возбудимости пораженного полушария при незначительном повышении кортикальной возбудимости непораженного полушария, возможно, в связи со снижением транскаллозального торможения. Тогда как у пациентов основной группы не отмечалось изменений кортикальной возбудимости непораженного полушария при повышении кортикальной возбудимости пораженного полушария.

Получены данные и об отдаленных результатах применения рТМС у пациентов, перенесших инсульт в восстановительный период заболевания. Chang и соавт. [30] продемонстрировали, что применение высокочастотной подпороговой рТМС (10 Гц) пораженного полушария в течение 10 последовательных сеансов 1 раз в день у пациентов в подострой стадии инсульта, способствует восстановлению двигательных нарушений, которые оценивались до лечения, непосредственно после лечения и спустя 3 месяца.

Показана эффективность применения рТМС у больных в резидуальном периоде инсульта. Низкочастотная рТМС (1 Гц) непораженного полушария способствовала улучшению двигательных функций и снижению мышечного тонуса паретичных конечностей. В исследовании Fregni и соавт. [18] изучалась эффективность пяти последовательных сеансов низкочастотной рТМС (1 Гц, интенсивность – 100% от моторного порога) у пациентов в резидуальном периоде после нарушения мозгового кровообращения. Установлено, что использование рТМС у пациентов, перенесших инсульт, способствует значительному улучшению двигательных функций с сохранением эффекта от проводимого лечения на протяжении двух недель. При этом отмечалась прямая корреляция между улучшением двигательных функций и повышением кортикальной возбудимости пораженного полушария. При анализе результатов тестирования когнитивных функций и данных электроэнцефалографии до и после лечения, значимых изменений обнаружено не было, что продемонстрировало безопасность низкочастотной рТМС.

В исследовании Takeuchi et al. [44] показано, что билатеральная рТМС (стимуляция непораженного полушария с частотой 1 Гц; пораженного — с частотой 10 Гц) оказывает более выраженный положительный эффект, чем изолированная стимуляция только пораженного или непораженного полушария с использованием вышеописанных частотных характеристик.

Установлено положительное влияние на восстановление двигательного дефицита при комбинированном использовании рТМС и других вмешательств. Показано, что кинезитерапия, рТМС и введение церебролизина более эффективно в отношении восстановления двигательных функций по сравнению как с изолированной кинезитерапией, так и с сочетанием кинезитерапии только с рТМС или введением церебролизина [7].

Проведен мета-анализ 18 рандомизированных плацебо-контролируемых исследований

по изучения влияния рТМС на восстановление двигательных функций у пациентов, перенесших инсульт. В выбранных исследованиях приняли участие 392 пациента с инсультом. Результаты мета-анализа показали, что рТМС положительно влияет на восстановление нарушенных двигательных функций у пациентов с инсультом, особенно при субкортикальном расположении очага поражения. Необходимо отметить, что при использовании низкочастотной рТМС интактного полушария терапевтический эффект более выражен, чем при применении высокочастотной стимуляции пораженного полушария. В мета-анализе также были проанализированы побочные эффекты рТМС. Только у 4 из 392 пациентов были зарегистрированы побочные эффекты рТМС, такие как кратковременная головная боль, тревожность и утомляемость. Таким образом, проведенный мета-анализ продемонстрировал не только терапевтическую эффективность, но и безопасность применения рТМС у пациентов, перенесших инсульт [15].

Получены данные об успешном использовании рТМС в лечении афазии и когнитивных нарушений при инсульте [13, 37]. Мета-анализ 7 рандомизированных плацебо-контролируемых исследований, в которых приняли участие 160 пациентов с инсультом показал, что низкочастотная рТМС (частота — 1 Гц, интенсивность — 90% от неактивного порога) триангулярной части правой нижней лобной извилины положительно влияет на восстановление функции речи у пациентов, перенесших инсульт [37]. В результате мета-анализа 6 клинических исследований, в которых приняли участие 132 пациента, перенесших инсульт, с когнитивными нарушениями, установлено, что рТМС может существенно улучшить когнитивные функции у данной группы больных [13].

рТМС при депрессии. Первые положительные клинические результаты применения рТМС были получены при использовании данного метода в лечении депрессии в 1993 году Hoflich и сотрудниками [1]. В 2008 году в США организацией по контролю за качеством пищевых продуктов и лекарственных средств (Food and drug administration, FDA), был одобрен протокол для лечения униполярной депрессии, резистентной к терапии антидепрессантами у взрослых [45]. Результаты мета-анализа по изучению эффективности рТМС в лечении депрессии, резистентной к терапии антидепрессантами, подтвердили безопасность и эффективность рТМС при депрессии [35].

Результаты последующих исследований

продемонстрировали эффективность высоко-частотной стимуляции левой дорзолатеральной префронтальной коры (ДЛПК) [35], что согласуется с мнением о большей роли дисфункции левой префронтальной области головного мозга в развитии депрессии. Имеются данные о том, что дефекты эмбрионального развития префронтальной коры или ее повреждение приводят к нарушениям социального поведения [5]. У пациентов с депрессией отмечено снижение метаболических процессов и гипоперфузия левой ДЛПК (по данным ПЭТ). Проведение ЭЭГ пациентам с депрессией продемонстрировало увеличение мощности α -ритма (полагают, что мощность α -ритма обратно пропорционально связана с нейрональной активностью) в левой лобной области [3]. Наряду с данными количественной ЭЭГ, анализ когнитивных ВП показывает асимметричную активность лобных долей при проведении GO/NOGO теста. У пациентов с депрессией отмечается снижение амплитуды ВП в ответ на NOGO стимулы по сравнению со здоровыми испытуемыми в левой лобной области (F7) и отсутствие этого феномена в правой лобной области (F8). Этот факт свидетельствует о гиподисфункции медиального и вентромедиального отделов префронтальной коры левого полушария и согласуется с α -асимметрией [3].

Проводятся исследования по оценке целесообразности использования рТМС в качестве метода, усиливающего фармакологическое действие антидепрессантов [5].

И хотя рТМС эффективна не у всех больных с резистентной к медикаментозному лечению депрессией, этот метод, бесспорно, нашел свою нишу в арсенале терапевтических подходов при данном заболевании.

рТМС при болезни Паркинсона. На протяжении последних лет выполнено много исследований с целью изучения эффективности рТМС при болезни Паркинсона (БП). У больных с БП изучалось влияние одноимпульсной и ритмической ТМС на динамику клинических симптомов (двигательные нарушения, речь, депрессию), кортикальную возбудимость, содержание дофамина и других нейротрансмиттеров. Использовалась нефокусная стимуляция (с помощью круглой индукционной катушки) и фокусная (с помощью 8-образной индукционной катушки) низко- или высокочастотная ритмическая стимуляция (0,2-50 Гц) различных областей головного мозга: первичной моторной коры (M1), премоторной коры, дорзолатеральной префронтальной коры, дополнительной моторной коры (SMA) [10-12].

Несмотря на то, что в большинстве исследований по изучению эффективности рТМС у пациентов с БП целевой областью стимуляции была M1, клиническая эффективность ее стимуляции была менее выражена, чем при стимуляции SMA, значение которой было подчеркнута в недавно опубликованных больших многоцентровых исследованиях [29].

В исследовании Mally и соавт. исследовали влияние рТМС M1 (частота стимуляции 1 Гц, интенсивность – на 20% выше порога появления вызванного моторного потенциала) у 10 пациентов с БП на фоне медикаментозной терапии в течение 10 дней. Наблюдалась значительная положительная динамика состояния по шкалам UPDRS и GRST, которая сохранялась на протяжении 6 месяцев последующего наблюдения [32]. Mally и соавт. была использована и другая парадигма рТМС – пачками по 30 импульсов с частотой 1 Гц, различной силы у 49 больных, составивших 3 сопоставимые группы. Через месяц после лечения положительная клиническая динамика по шкалам UPDRS и GRST была отмечена в группах, где применялась сила стимула 0,57 и 0,80 Тл и сеансы проводились дважды в день. В группе, где стимуляция осуществлялась импульсами 0,34 Тл, положительных изменений не было. Максимальное достоверное уменьшение гипокинезии по шкале UPDRS отмечено через месяц после стимуляции импульсами силой 0,57 Тл. Положительный клинический эффект сохранялся на протяжении 3 месяцев последующего наблюдения, выраженность же зависела от интенсивности использованного стимула [33]. Получены отрицательные результаты применения низкочастотной рТМС области M1 (подпороговая интенсивность, 1800 стимулов) на протяжении 4 дней [17].

В большинстве проведенных исследований по изучению эффективности рТМС при БП использовалась высокочастотная рТМС. Установлено, что высокочастотная рТМС моторного представительства верхней конечности в области M1 и билатеральная стимуляция большей площади M1 способствует улучшению двигательных функций по данным шкалы UPDRS (часть 3 — исследование двигательных функций), особенно, скорости движений и ходьбы [19, 23-24, 28, 40]. Результаты исследования показали, что высокочастотная рТМС моторного представительства нижних конечностей в области M1 с последующими занятиями на беговой дорожке (treadmill training) приводит к увеличению скорости ходьбы в течение 4 недель. В ряде исследований получены отрицатель-

ные результаты применения высокочастотной рТМС у пациентов с БП [10, 39]. Результаты исследований по изучению влияния повторных сессий прерывистой тета-стимуляции (iTBS) на клинические симптомы БП, также противоречивы [14]. В мета-анализе Elahi и соавт. показано, что высокочастотная рТМС более эффективна, чем низкочастотная [16].

Перспективным альтернативным подходом при БП является высокочастотная рТМС SMA [20-21]. В исследованиях с использованием ПЭТ, ОФЭКТ и фМРТ установлено, что у пациентов с БП при произвольных движениях наблюдается гипоактивность SMA. Известно, что SMA принимает участие в автоматических и сложных движениях, поэтому гипоактивность SMA может играть определенную роль в развитии акинезии у больных с БП [31]. Результаты нейрофизиологических исследований с использованием потенциала готовности (Bereitschaftspotential) и соматосенсорных вызванных потенциалов также подтвердили гипоактивность SMA у пациентов в БП [31]. В многоцентровом исследовании пациенты с БП получали высокочастотную (5 Гц) надпороговую рТМС области SMA один раз в неделю на протяжении 4 недель. Результаты проведенного исследования показали, что высокочастотная рТМС области SMA способствует значительному увеличению общего балла по шкале UPDRS [20]. Однако субанализ данных по шкале UPDRS показал, что клиническое улучшение было ограничено симптомами брадикинезии [21].

Результаты проведенного в дальнейшем мультицентрового исследования подтвердили клиническую эффективность рТМС области SMA. Авторы исследования установили улучшение двигательных симптомов по данным шкалы UPDRS после курса низкочастотной рТМС области SMA [42]. Кроме того, низкочастотная рТМС области SMA уменьшала леводопа-индуцированные дискинезии [11, 25]. Еще одной перспективной областью рТМС при БП является мозжечок, стимуляция которого может модулировать активность церебелло-таламо-кортикальных путей [27]. Билатеральная стимуляция латерального мозжечка уменьшает дискинезии на пике дозы (peak-dose dyskinesia) до 4 недель [26]. Установлена эффективность высокочастотной рТМС для лечения депрессии у пациентов с БП (уровень доказательности B) [29].

Симптоматический эффект рТМС при БП связывают с изменением интракортикальной возбудимости, увеличением высвобождения нейромедиаторов, нейротрофического факто-

ра роста и нейрогенезом [31, 41, 43].

Таким образом, неинвазивность, безболезненность метода, отсутствие побочных эффектов, полученные предварительные положительные клинические результаты применения рТМС в лечении психических и неврологических заболеваний – все это создает предпосылки для проведения дальнейших исследований с целью установления оптимальных стандартизированных параметров рТМС, а также изучения физиологических механизмов лечебного воздействия.

Список использованной литературы

1. Вальтер Х. Функциональная визуализация в психиатрии и психотерапии: метод. основы и клин. применение: пер. с нем. / Х. Вальтер. - М.: АСТ: Астрель: Полиграфиздат, 2010. - 430 с.
2. Живолупов С.А. Перспективные направления стимуляции нейропластичности в неврологической практике (терапевтические основы и терапевтическая эффективность) / С.А. Живолупов, Н.А. Рашидов, И.Н. Самарцев // Актуальные направления в неврологии: 13 международ. конф., 27-29 апреля 2011 г. - Судак, 2011. - С. 139-145.
3. Кропотов Ю.Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия / Перевод с англ. под ред. В.А. Пономарева. - Донецк: Издатель Заславский А.Ю., 2010. - 240 с.
4. Кулишова Т.В. Патогенетическое обоснование применения транскраниальной магнитной стимуляции в остром периоде ишемического инсульта / Т.В. Кулишова, О.В. Шинкоренко, А.В. Тимошников, Т.Н. Щеклеина // Нейрореабилитация-2011: 3 международ. конгресс, 2-3 июня 2011 г. - Москва, 2011. - С. 93-94.
5. Никитин С.С. Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы / С.С. Никитин, А.Л. Куренков. - М.: САШКО, 2003. - 378 с.
6. Скворцова В.И. Патогенетические особенности развития постинсультных аффективных расстройств / В.И. Скворцова, Е.А. Петрова, О.С. Брусов, М.А. Савина, Н.В. Шаклунова и др. // Журн. неврол. и психиатр. - 2010. - №7. - С. 35-40.
7. Хабиров Ф.А. Оценка эффективности реабилитационных мероприятий в остром периоде церебрального ишемического инсульта / Ф.А. Хабиров, Т.И. Хайбуллин, О.В. Григорьева // Журн. неврол. и психиатр. - 2011. - №4. - С. 32-36.
8. Хобзей Н.К. Особенности эпидемиологии инвалидности при заболеваниях нервной системы в Украине / Н.К. Хобзей, Т.С. Мищенко, В.А. Голик, Н.А. Гондуленко // Международный неврологический журнал. - 2011. - № 5. - С. 15-19.
9. Barker A.T. Noninvasive magnetic stimulation of the human motor cortex / A.T. Barker, R. Jalinous, I.L. Freeston // Lancet. - 1985. - Vol. 1. - P. 1106-1107.
10. Benninger D.H. Safety study of 50 Hz repetitive transcranial magnetic stimulation in patients with Parkinson's disease / D.H. Benninger, M. Lomarev, E.M. Wasserman et al. // Clin Neurophysiol. - 2009. - Vol. 120(4). - P. 809-1510.
11. Brusa L. Low frequency rTMS of the SMA transiently ameliorates peak-dose LID in Parkinson's disease / L. Brusa, V. Versace, G. Koch et al. // Clin. Neurophysiol. - 2006. - Vol. 117(9). - P. 1917-2110.
12. Brusa L. Metabolic changes induced by theta burst stimulation of the cerebellum in dyskinetic Parkinson's disease patients / L. Brusa, R. Ceravolo, L. Kiferle et al. // Parkinsonism Relat Disord. - 2012. - Vol. 18(1). - P. 59-6210.
13. Cao L. Effects of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Cognitive Impairment in Stroke Patients: A Meta-Analysis / L. Cao, R. Zhao, S. Huo et al. // Mol Neurobiol. - 2014 Sep. 18. [epub ahead of print].
14. Degardin A. Effect of intermittent theta-burst stimulation on akinesia and sensorimotor integration in patients with Parkinson's disease / A. Degardin, D. Devos, L. Defebvre // Eur J. Neurosci. -

2012. - Vol. 36(5). - P. 2669-7810.
15. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on motor functions in patients with stroke: a meta-analysis / W.Y. Hsu, C.H. Cheng, K.K. Liao [et al.] // *Stroke*. - 2012. - Vol. 43, №7. - P. 1849-1857.
 16. Elahi B. Effect of transcranial magnetic stimulation on Parkinson motor function- systematic review of controlled clinical trials / B. Elahi, B. Elahi, R. Chen // *Mov Disord*. - 2009. - Vol. 24(3). - P. 357-6310
 17. Filipovic S.R. Low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation and off-phase motor symptoms in Parkinson's disease / S.R. Filipovic, J.C. Rothwell, K. Bhatia // *J. Neurol. Sci*. - 2010. - Vol. 291(1-2). - P. 1-410.
 18. Fregni F. A sham-controlled trial of a 5-day course of repetitive transcranial magnetic stimulation of the unaffected hemisphere in stroke patients / F. Fregni, S. Paulo, M. Boggio, Angela C. Valle, R. Renata et al. // *Stroke*. - 2006. - Vol. 37. - P. 2115-2122.
 19. González-García N. Effects of rTMS on Parkinson's disease: a longitudinal fMRI study / N. González-García, J.L. Armony, J. Soto, D. Trejo, M.A. Alegría, R. Drucker-Colín // *J. Neurol*. - 2011. - Vol. 258. - P. 1268-1280.
 20. Hamada M. High-frequency rTMS over the supplementary motor area for treatment of Parkinson's disease / M. Hamada, Y. Ugawa, S. Tsuji // *Mov. Disord*. - 2008. - Vol. 23. - P. 1524-3110.
 21. Hamada M., Ugawa Y., Tsuji S. High-frequency rTMS over the supplementary motor area improves bradykinesia in Parkinson's disease: subanalysis of double-blind sham-controlled study / M. Hamada, Y. Ugawa, S. Tsuji // *J. Neurol. Sci*. - 2009. - Vol. 287. - P. 143-610.
 22. Khedr E.M. Long-term effect of repetitive transcranial magnetic stimulation on motor function recovery after acute ischemic stroke / E.M. Khedr, A.E. Etraby, M. Hemed, A.M. Nasef, A.A.E. Razeq // *Journal compilation*. - 2009. - Vol. 27. - P. 1-8.
 23. Khedr E.M. Effect of daily repetitive transcranial magnetic stimulation on motor performance in Parkinson's disease / E.M. Khedr, J.C. Rothwell, O.A. Shawky et al. // *Mov. Disord*. - 2006. - Vol. 21. - P. 2201-510.
 24. Khedr E.M., Rothwell J.C., Shawky O.A. D et al. opamine levels after repetitive transcranial magnetic stimulation of motor cortex inpatients with Parkinson's disease: preliminary results / E.M. Khedr, J.C. Rothwell, O.A.D. Shawky et al. // *Mov. Disord*. - 2007. - Vol. 22. - P. 1046-5010.
 25. Koch G. rTMS of supplementary motor area modulates therapy-induced dyskinesias in Parkinson disease / G. Koch, L. Brusa, C. Caltagirone et al. // *Neurology*. - 2005. - Vol. 65. - P. 623-510.
 26. Koch G. Cerebellar magnetic stimulation decreases levodopa-induced dyskinesias in Parkinson disease / G. Koch, L. Brusa, F. Carrillo et al. // *Neurology*. - 2009. - Vol. 73. - P. 113-117.
 27. Koch G., Mori F., Marconi B. et al. Changes in intracortical circuits of the human motor cortex following theta burst stimulation of the lateral cerebellum / G. Koch, F. Mori, B. Marconi et al. // *Clin. Neurophysiol*. - 2008. - Vol. 119. - P. 2559-6910.
 28. Lefaucheur J.P. Improvement of motor performance and modulation of cortical excitability by repetitive transcranial magnetic stimulation of the motor cortex in Parkinson's disease / J.P. Lefaucheur, X. Drouot, F. Von Raison et al. // *Clin. Neurophysiol*. - 2004. - Vol. 115. - P. 2530-4110.
 29. Lefaucheur J.P. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) / Lefaucheur J.P. André-Obadia N., Antal A. et al. // *Clin Neurophysiol*. - 2014. - Vol. 125(11). - P. 2150-2206.
 30. Long-term effects of rTMS on motor recovery in patients after subacute stroke / W.H. Chang, Y.H. Kim, O.Y. Bang [et al.] // *J. Rehabil. Med*. - 2010. - Vol. 42, №8. - P. 758-764.
 31. Mally J. The repetitive transcranial magnetic stimulation in the treatment and rehabilitation of central nervous disease / J. Mally - Budapest, 2009. - 310 p.
 32. Mally J. Improvement in Parkinsonian symptoms after repetitive transcranial magnetic stimulation / J. Mally, T.W. Stone // *Journal of the Neurological Sciences* - 1999. - Vol. 162. - P. 179-184.
 33. Mally J. Long-term follow-up study with repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) in Parkinson's disease / J. Mally, R. Farkas, L. Tóthfalusi // *Brain Research Bulletin*. - 2004. - Vol. 64. - P. 259-263.
 34. Mak M.K. Repetitive transcranial magnetic stimulation combined with treadmill training can modulate corticomotor inhibition and improve walking performance in people with Parkinson's disease / M.K. Mak // *J. Physiother*. - 2013. - Vol. 7. 59. - P. 128.
 35. Meta-review of metanalytic studies with repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) for the treatment of major depression / B. Dell'osso, G. Camuri, F. Castellano [et al.] // *Clin. Pract. Epidemiol. Ment. Health*. - 2011. - Vol. 7. - P. 167-177.
 36. Montgomery S.A. Severe depression and antidepressants: focus on a pooled analysis of placebo-controlled studies on agomelatine / S.A. Montgomery, S. Kasper // *Int. Clin. Psychopharmacol*. - 2007. - Vol. 22. - P. 283-291.
 37. Ren C. Effect of Low-Frequency rTMS on Aphasia in Stroke Patients: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials / C.-Li Ren, G. Zhang, N. Xia et al. // *PLoS One*. 2014; 9(7): e102557. Published online 2014 July 18
 38. Role of 1 and 3 Hz repetitive transcranial magnetic stimulation on motor function recovery after acute ischaemic stroke / E.M. Khedr, M.R. Abdel-Fadeil, A. Farghali, M. Qaid // *Eur. J. Neurol*. - 2009. - Vol. 16, №12. - P. 1323-1330.
 39. Rothkegel H. Training effects outweigh effects of single-session conventional rTMS and theta burst stimulation in PD patients / H. Rothkegel, M. Sommer, T. Rammsayer // *Neurorehabil. Neural Repair*. - 2009. - Vol. 23(4). - P. 373-810.
 40. Siebner H.R. Repetitive transcranial magnetic stimulation has a beneficial effect on bradykinesia in Parkinson's disease / H.R. Siebner, C. Mentschel, C. Auer et al. // *Neuroreport*. 1999. - Vol. 10. - P. 589-9410
 41. Shimamoto H. Therapeutic effect and mechanism of repetitive transcranial magnetic stimulation in Parkinson's disease / H. Shimamoto, K. Takasaki, M. Shigemori, T. Imaizumi, M. Ayabe, Shoji H. Shimamoto // *J. Neurol*. - 2001. - Vol. 3. - P. 48-52.
 42. Shirota Y. Research Committee on rTMS Treatment of Parkinson's Disease. Supplementary motor area stimulation for Parkinson's disease: a randomized controlled study / Y. Shirota, H. Ohtsu, M. Hamada et al. // *Neurology*. - 2013. - Vol. 80(15). - P. 1400-510.
 43. Strafella A.P. Corticostriatal functional interactions in Parkinson's disease: a rTMS/[11C]raclopride PET study / A.P. Strafella, J.H. Ko, J. Grant et al. // *Eur J Neurosci*. - 2005. - Vol. 22(11). - P. 2946-5210.
 44. Takeuchi N. Repetitive transcranial magnetic stimulation over bilateral hemispheres enhances motor function and training effect of paretic hand in patients after stroke / N. Takeuchi, T. Tada, M. Tushima, Y. Matsuo, K. Ikoma // *J. Rehabil. Med*. - 2009. - Vol. 41. - P. 1049-1054.
 45. The NeuroStar TMS device: conducting the FDA approved protocol for treatment of depression / J.C. Horvath, J. Mathews, M.A. Demitrack, A. Pascual-Leone // *J. Vis. Exp*. - 2010. - N 45. - Art. No 2345.

Надійшла до редакції 05.12.2014 р.

THE TRANSCRANIAL MAGNETIC STIMULATION IN NEUROLOGY

S.M. Kuznetsova, N.A. Skachkova

Summary

Transcranial magnetic stimulation allows a non-invasive and painless stimulation of the human brain. Transcranial magnetic stimulation can use single stimuli, or trains of repetitive stimuli at various frequencies. Single stimuli give rise to motor evoked potentials that have clinical use and serve diagnostic and prognostic purposes. Repetitive transcranial magnetic stimulation can modify excitability of cerebral cortex. Repetitive transcranial magnetic stimulation has opened a new field of investigation of the neural circuitry, and is developing into a therapeutic tool. This general review considers basic principles of transcranial magnetic stimulation, the possibility of modulation of neuroplasticity, discusses methodological aspects and analyses their utility in clinical practice.

Keywords: transcranial magnetic stimulation, repetitive transcranial magnetic stimulation, neuroplasticity.