

Применение диагностической транскраниальной магнитной стимуляции в качестве предиктора функционального исхода ишемического инсульта

И.В. Погонченкова¹, С.С. Петриков², Е.В. Костенко^{1,3} ✉, А.Г. Кашежев¹, Л.В. Петрова¹, М.В. Синкин²

Отделение медицинской реабилитации филиала № 3

¹ ГАУЗ «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ»

127206, Российская Федерация, Москва, ул. Вучетича, д. 21

² ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»

129090, Российская Федерация, Москва, Большая Сухареvская площадь, д. 3

³ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» МЗ РФ
119571, Российская Федерация, Москва, Ленинский проспект, д. 117

✉ Контактная информация: Костенко Елена Владимировна, профессор, доктор медицинских наук, профессор кафедры неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» МЗ РФ. Email: ekostenko58@mail.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Определение реабилитационного потенциала (РП) необходимо для подбора оптимальной реабилитационной стратегии и комплекса реабилитационных мероприятий. В качестве одного из методов определения РП может рассматриваться навигационная транскраниальная магнитная стимуляция (нТМС).

ЦЕЛЬ

Изучить значимость навигационной диагностической транскраниальной магнитной стимуляции как нейрофункционального предиктора восстановления двигательных функций после перенесенного ишемического инсульта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование включены 28 пациентов, перенесших ИИ, проходивших стационарную медицинскую реабилитацию (МР) в ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ. Из них было 19 мужчин и 9 женщин, средний возраст — 60,07±5,67 года. При поступлении и по завершении курса МР проводился клинический осмотр и оценка с помощью шкалы комитета медицинских исследований (MRC), теста «Кубики в коробке» (BBT), модифицированной шкалы Рэнкина (mRS); шкалы реабилитационной маршрутизации (ШРМ). На базе НИИ СП им. Н.В. Склифосовского проводилась нТМС с определением параметров вызванного моторного ответа (ВМО) с мышц верхних и нижних конечностей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У пациентов с определяемым вызванным моторным ответом отмечался статистически значимый прирост силы паретичной конечности по шкале MRC — с 4,00 (2,94–4,06) до 4,22 (3,83–4,89) балла ($p<0,001$) для верхней конечности и с 4,00 (3,67–4,00) до 4,44 (3,83–4,61) ($p<0,001$) для нижней конечности. В случаях сохранности ВМО отмечено увеличение числа пациентов с оценкой по mRS в 2 балла на 26,1%, достигли значений в 1 балл 13,0% пациентов и на 8,7% уменьшилось число пациентов с оценкой степени инвалидизации и способности к самообслуживанию в 4 балла.

ВЫВОДЫ

Навигационная транскраниальная магнитная стимуляция может служить одним из методов оценки реабилитационного потенциала у пациентов, перенесших ишемический инсульт. Использование ее как единственного источника информации для определения тактики медицинской реабилитации не имеет убедительных доказательств. Оценка реабилитационного потенциала должна носить комплексный характер и опираться на всю совокупность полученных данных.

Ключевые слова:

нейрореабилитация, транскраниальная магнитная стимуляция, реабилитационный потенциал, ишемический инсульт

Ссылка для цитирования

Погонченкова И.В., Петриков С.С., Костенко Е.В., Кашежев А.Г., Петрова Л.В., Синкин М.В. Применение диагностической транскраниальной магнитной стимуляции в качестве предиктора функционального исхода ишемического инсульта. *Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь*. 2024;13(3):375–384. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2024-13-3-375-384>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Благодарность, финансирование

Грант Правительства г. Москвы № 1503-7/23

Этическое утверждение

Авторы заявляют, что все процедуры, использованные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, и соответствуют Хельсинкской декларации в редакции 2013 года. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ГАУЗ МНПЦ МРВСМ ДЗМ (протокол №2 от 19.04.2023)

ВМО — вызванный моторный ответ
 ИИ — ишемический инсульт
 МР — медицинская реабилитация
 МРТ — магнитно-резонансная томография
 нТМС — навигационная транскраниальная магнитная стимуляция
 РП — реабилитационный потенциал
 ТМС — транскраниальная магнитная стимуляция
 ЦНС — центральная нервная система
 ШРМ — шкала реабилитационной маршрутизации
 АРВ — *abductor pollicis brevis*
 АРАТ — *Action Research Arm Test*
 ВБС — *The Berg Balance Scale* — шкала баланса Берга
 ВБТ — *Box and Block Test* — тест «Кубики в коробке»

FAT — *The Frenchay Arm Test* — тест для руки Френчай
 FMA — *Fugl-Meyer Assessment* — шкала Фугл-Мейера
 МРС — *Medical Research Council Scale* — шкала комитета медицинских исследований
 mRS — модифицированная шкала Рэнкина
 NHPT — *Nine-Hole Peg Test* — тест с колышками и девятью отверстиями
 RMI — *Rivermead Mobility Index* — индекс Ривермид
 ТА — *tibialis anterior*
 ТУГ — *Timed Up and Go test* — «Встань и иди» — тест на время
 PREP2 — *The Predict Recovery Potential*
 SAFE — *Shoulder Abduction, Finger Extension*

ВВЕДЕНИЕ

Ишемический инсульт (ИИ) относится к заболеваниям с высокими показателями первичной инвалидизации среди выживших лиц трудоспособного возраста. Ежегодно в мире происходит более 7,6 миллиона случаев ИИ, среди которых более 58% приходится на лиц моложе 70 лет [1]. В большинстве экономически развитых стран мира в течение последних 10 лет наблюдался рост показателей заболеваемости и смертности от ИИ [2]. В России ежегодно регистрируется более 400 случаев инсульта на 100 000 населения. Среди лиц, перенесших инсульт, каждый третий имеет стойкие признаки ограничения базовой повседневной активности [3], что определяет высокую медико-социальную значимость целевых реабилитационных стратегий.

Основной целью медицинской реабилитации (МР) при ИИ является восстановление утраченных функций, возвращение трудоспособности и улучшение качества жизни пациентов. Возможная степень восстановления, то есть реабилитационный потенциал (РП), вариабельна и зависит от комплекса внутренних и внешних факторов, среди которых важное значение имеют локализация и степень повреждения головного мозга, объем, интенсивность и сроки начала проведения МР, а также индивидуальные особенности пациента. Функциональные исходы заболевания и выбор реабилитационных стратегий взаимосвязаны с РП, что определяет потребность в чувствительных инструментах для его оценки.

В течение последних десятилетий было предложено несколько методов для оценки РП. Предлагается использование лабораторных биомаркеров, по аналогии с кардиоспецифическими ферментами, наиболее перспективным из которых считается мозговой нейротрофический фактор (*Brain-derived neurotrophic factor, BDNF*). Кроме того, рассматриваются такие показатели, как С-реактивный белок, фибриноген, интерлейкин-6 [4–5]. Однако поиски биомаркеров ограничены, что обусловлено гетерогенностью самого ИИ и различиями дизайнов исследований, которые посвящены этой проблеме.

Другим распространенным подходом к оценке РП является отдельное и совместное применение шкал, опросников или тестов. Например, шкала Фугл-Мейера (*Fugl-Meyer Assessment, FMA*) показала достаточно высокую прогностическую способность при ранней оценке постинсультного неврологического дефицита [6].

Для объективизации оценки РП предложено применение нейровизуализационных методов, в первую очередь магнитно-резонансной томографии (МРТ)

головного мозга в различных режимах. Объем ИИ и степень повреждения кортикоспинального тракта коррелируют со степенью восстановления функций верхней конечности [7]. Данные о применении трактографии для прогнозирования восстановления ходьбы противоречивы. Так, *Soulard et al.* (2020) определили ряд трактов белого вещества, являющихся частью подкорковых двигательных коннектов, состояние которых может служить в качестве предикторов восстановления ходьбы [8], в то время как в исследовании *Okamoto Y. et al.* (2021) было показано, что оценка состояния пирамидного тракта с помощью фракционной анизотропии правой и левой внутренней капсулы, вызванного моторного ответа в пораженном и непораженном полушариях по результатам транскраниальной магнитной стимуляции может быть полезна для прогнозирования восстановления функции верхних конечностей, но не для нижних конечностей [9].

Еще одним нейровизуализационным и нейрофункциональным методом диагностики является диагностическая навигационная транскраниальная магнитная стимуляция (нТМС), позволяющая точно определить локализацию коркового представительства различных мышц с помощью вызванного моторного ответа (ВМО), а также его амплитуду, порог ответа и скорость проведения импульса в центральную нервную систему (ЦНС). С начала XXI века предпринимались попытки применения ТМС в качестве предиктора восстановления при инсульте [10]. К настоящему времени имеется большое количество исследований, описывающих применение ТМС для прогнозирования функциональных исходов в отношении гемипареза, нарушений ходьбы и глотания [11–15]. В 13 из 14 исследований, включенных в систематический обзор (463 пациента с ИИ, 17 – с геморрагическим инсультом и 97 пациентов группы сравнения с размерами выборки от 6 до 84 участников), несмотря на методологические различия при выборе целевых мышц верхней конечности, показано, что наличие в остром периоде инсульта ВМО при ТМС можно рассматривать как позитивный признак для прогноза восстановления постинсультной дисфункции верхней конечности [11].

Применяемые в настоящее время методы и программы для определения РП в основном сфокусированы на остром периоде инсульта или недостаточно чувствительны и специфичны [16]. Кроме того, проблемой остаются гетерогенность выборки для исследований, а также определение термина «инсульт», включающего широкий спектр нозологий с различными механизмами возникновения и репарации [17]. Также

не существует консенсуса в выборе метода нейровизуализации для определения РП [18]. Использование нейровизуализационных и нейрофункциональных маркеров, особенно нТМС, представляется достаточно чувствительным методом оценки РП. Однако проведенные на данный момент исследования не позволяют однозначно оценить их точность, особенно у пациентов в поздние сроки от начала инсульта.

Цель исследования: изучить значимость навигационной диагностической транскраниальной магнитной стимуляции как нейрофункционального предиктора восстановления двигательных функций после перенесенного ИИ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие пациенты, проходившие МР в стационарных условиях (II этап) на базе филиала № 3 ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ (далее — Центра). Все участники исследования подписали информированное согласие.

В исследование были включены пациенты в возрасте от 40 до 70 лет с установленным диагнозом первичного ИИ в остром, раннем и позднем восстановительном периодах с наличием постинсультного гемипареза различной степени выраженности. Программа МР включала в себя физиотерапевтические процедуры и занятия лечебной физкультурой (ЛФК), в том числе применение высокотехнологичных методов реабилитации, длительность курса 12–14 дней.

Критериями не включения в исследование являлись: очаговое поражение головного мозга иной этиологии; выраженные когнитивные нарушения (менее 20 баллов по шкале MoCA — Монреальская шкала когнитивной оценки); клинически выраженные аффективные расстройства (11 баллов и более по шкале HADS — Госпитальная шкала тревоги и депрессии); сенсорная и грубая моторная афазия; эпилепсия и другие пароксизмальные расстройства сознания; наличие электронных стимуляторов, металлических имплантов в области головы.

Всем пациентам проводилась оценка по унифицированным шкалам, тестам и опросникам: выраженность пареза — по шкале комитета медицинских исследований (*Medical Research Council Scale, MRC*); выраженность спастичности — по модифицированной шкале Эшворта (*The Modified Ashworth scale, mAs*); нарушение скорости ходьбы — по тесту 10-метровой ходьбы (м/сек); равновесие, мобильность и риск падения — по шкале Тинетти (*Performance-Oriented Mobility Assessment, POMA*), шкале баланса Берг (*The Berg Balance Scale, BBS*), по тесту «Встань и иди» — тест на время (*Timed Up and Go test, TUG*); по индексу Ривермид (*Rivermead Mobility Index, RMI*); функция верхней конечности оценивалась по шкалам *Fugl-Meyer* для верхней конечности (*FMA-UE*) и *Action Research Arm Test (ARAT)*; по тесту с кольцами и девятью отверстиями (*nine-hole peg test, NHPT*); тесту для руки Френчай (*the Frenchay Arm Test, FAT*); тесту «Кубики в коробке» (*Box and Block Test, BBT*); базовую функциональную активность оценивали с помощью индекса Бартел (*Barthel ADL Index, BI*) и шкалы реабилитационной маршрутизации (ШРМ).

Клинико-неврологическое исследование и оценка по шкалам и опросникам выполнялись исходно (T0) и по завершении курса МР (T1).

Всем пациентам проводилась диагностическая нТМС с помощью комплекса *NBS eXimia Nexstim (Nexstim Ltd., Финляндия)* в условиях НИИ СП им. Н.В. Склифосовского. Оценивались амплитуда, порог и латентность ВМО с мышц: *abductor pollicis brevis (APB)* и *tibialis anterior (TA)* обеих конечностей.

Математико-статистический анализ проводился с использованием программы *StatTech v. 4.1.2* (ООО «Статтех», Россия). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро–Уилка. Сравнение 3 и более групп по количественному показателю, имеющему нормальное распределение, выполнялось с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Сравнение трех и более групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью критерия Краскела–Уоллиса. При сравнении количественных показателей, распределение которых отличалось от нормального, в двух связанных группах использовался *U*-критерий Уилкоксона. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследование были включены 28 пациентов, 19 мужчин и 9 женщин в возрасте $60,07 \pm 5,67$ года. Медиана времени от начала заболевания составила 18 (13,75–110,25) суток, 16 пациентов поступили в острый период ИИ, 7 и 5 — в раннем и позднем восстановительных периодах соответственно. Медиана интегрального показателя силы верхней конечности соответствовала 3,83 (2,75–4,03) балла, нижней конечности — 4,00 (3,47–4,00) балла. По результатам проведенной нТМС отдельно для верхней и нижней конечности было выделено 3 группы пациентов: 1-я — пациенты без явной асимметрии ВМО, 2-я — пациенты с выраженной асимметрией ВМО, 3-я — пациенты, у которых ВМО определить не удалось (табл. 1). Группы пациентов были сопоставимы по половозрастным показателям и выраженности основных нарушений.

Проведен анализ динамики выраженности постинсультного гемипареза в зависимости от наличия ВМО с *m. Abductor pollicis brevis (APB)* и с *m. Tibialis anterior (TA)*. После курса МР при наличии ВМО отмечался статистически значимый прирост силы паретичной конечности по шкале *MRC* — с 4,00 (2,94–4,06) до 4,22 (3,83–4,89) балла ($p < 0,001$) для верхней конечности и с 4,00 (3,67–4,00) до 4,44 (3,83–4,61) ($p < 0,001$) для

Таблица 1

Распределение пациентов в зависимости от вызванного моторного ответа (ВМО)

Table 1

Distribution of patients depending on motor evoked potential (MEP)

Показатели	Категории	Абс.	%
ВМО с <i>m. APB</i>	Симметричный	12	42,9
	Асимметричный	11	39,3
	Отсутствует	5	17,9
ВМО с <i>m. TA</i>	Симметричный	16	57,1
	Асимметричный	7	25,0
	Отсутствует	5	17,9

Примечания: ВМО — вызванный моторный ответ; *m. APB* — *m. Abductor pollicis brevis*; *m. TA* — *m. Tibialis anterior*

Notes: ВМО — motor-evoked potential; *m. APB* — *m. Abductor pollicis brevis*; *m. TA* — *m. Tibialis anterior*

нижней конечности. У пациентов с отсутствием ВМО статистически значимого прироста мышечной силы не выявлено. При межгрупповом сравнении динамики изменений у пациентов с симметричными ВМО и выраженной асимметрией была сопоставима. При этом разницы в приросте силы между верхней и нижней конечностью не установлено. Межгрупповой анализ после проведения курса МР также не показал статистически значимых различий, несмотря на отсутствие статистически значимого прироста силы у пациентов без ВМО, что может быть обусловлено малым размером выборки.

Также было выявлено статистически значимое улучшение при оценке с помощью ВВТ. Пациенты без ВМО с *m. APB* изначально хуже справлялись с тестом. При контрольном тестировании улучшение не достигало статистически значимых различий с исходными значениями ($p>0,05$), а у пациентов с определяемыми ВМО динамика была положительной ($p<0,05$) (рис. 1). Динамика медианного балла в группе с симметричными ВМО составила 5,5 балла (с 26,00 (23,50–31,25) до 31,50 (27,75–39,50), $p=0,003$), в группе с асимметричными ответами прирост составил 10,0 баллов (с 28,00 (18,50–36,50) до 38,00 (26,00–44,50), $p=0,005$). У пациентов без ВМО с пораженного полушария статистически значимой динамики не прослеживалось. При межгрупповом сравнении после курса МР были выявлены статистически значимые различия между группами с определяемыми ВМО и группой без ВМО ($p=0,032$). Анализ результатов, полученных при тестировании другими инструментами (*FMA*, *ARAT*, *FAT*, *NHPT*) статистически значимых различий между группами не показал.

Был проведен анализ показателей ходьбы и передвижения, в процессе которого в группе пациентов с определяемым ВМО с *m. TA* изменения были статистически значимы — скорость ходьбы увеличилась с 0,59 (0,39–1,07) до 0,67 (0,49–1,21) метров в секунду ($p=0,007$). В группе без ВМО прирост скорости ходьбы не выявил статистически значимых различий (рис. 2).

При межгрупповом сравнении было отмечено, что этот прирост обусловлен увеличением скорости ходьбы у пациентов с выраженной межполушарной асимметрией, что связано с более высокими исходными показателями скорости у пациентов без асимметрии ВМО с *m. TA* несмотря на то, что пациенты групп исследования по этому показателю были сопоставимы ($p=0,537$) (*F*-критерий Фишера). Различий при анализе результатов, полученных по данным иных тестов и опросников (*BBS*, шкалы Тинетти, *TUG* теста и *RML*), выявлено не было.

Также был проведен анализ степени инвалидизации и способности к самообслуживанию. В ходе анализа результатов оценки по *mRS* были получены статистически значимые изменения ($p=0,001$) у пациентов с определяемым ВМО с *m. APB*, в группе без ВМО статистически значимых изменений не установлено ($p=0,317$) (критерий Уилкоксона). Число пациентов с оценкой по *mRS* в 2 балла в группе пациентов с определяемым ВМО увеличилось на 26,1%, достигнув значений в 1 балл — 13,0% пациентов, при этом на 8,7% уменьшилось число пациентов с оценкой степени инвалидизации и способности к самообслуживанию в 4 балла.

Аналогичные результаты были получены и при анализе распределения пациентов по ШРМ. В группе с

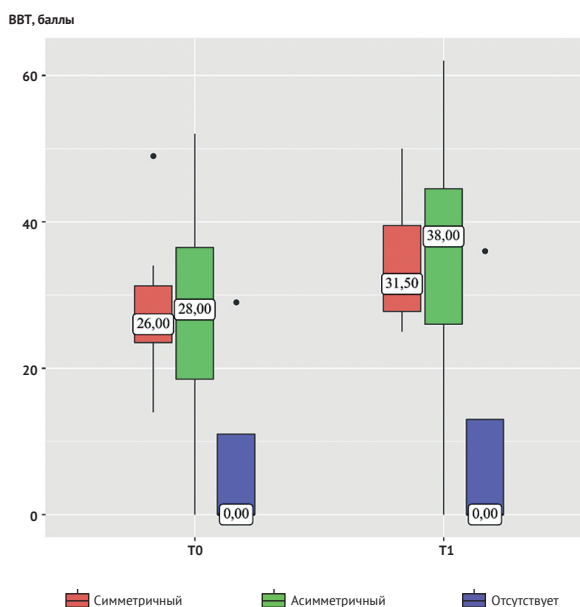


Рис. 1. Анализ динамики ВВТ в зависимости от ВМО с *m. Abductor pollicis brevis* (баллы)

Примечания: ВМО — вызванный моторный ответ; *m. APB* — *m. Abductor pollicis brevis*; ВВТ — Box and Block Test; T0 — исходные данные; T1 — данные по завершении курса реабилитации

Fig. 1. Analysis of BBT dynamics depending on MEP with *m. Abductor pollicis brevis* (points)

Notes: MEP — motor evoked potential; *m. APB* — *m. Abductor pollicis brevis*; ВВТ — Box and Block Test; T0 — initial data; T1 — data after the rehabilitation course

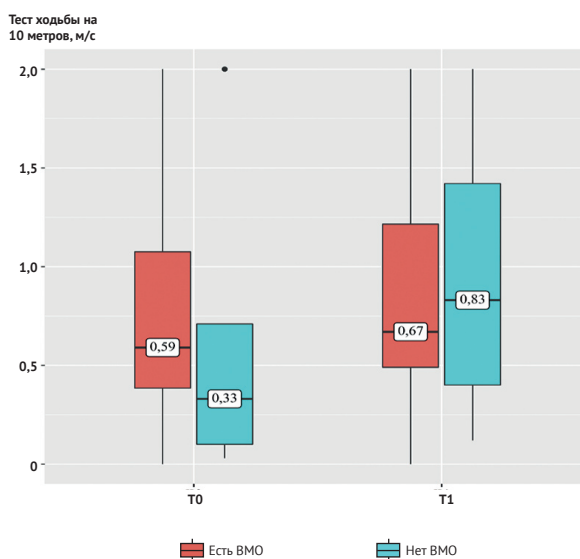


Рис. 2. Анализ динамики скорости ходьбы на 10 метров (м/с)

Примечания: ВМО — вызванный моторный ответ; T0 — исходные данные; T1 — данные по завершении курса реабилитации

Fig. 2. The dynamics of 10-meter walking test (m/s) analysis

Notes: ВМО — motor evoked potential; T0 — initial data; T1 — data after the rehabilitation course

определяемым ВМО, как с *m. APB*, так и с *m. TA*, статистически значимо большее число пациентов перешло в группу с более легкими нарушениями функционирования после курса МР ($p<0,001$). При сохраненных ВМО с *m. TA* число пациентов с оценкой ШРМ в 4 балла уменьшилось на 43,5%, а число пациентов, достигших значений в 1 балл, составило 8,7%.

Статистически значимых различий между группами по результатам, полученным с помощью других использованных шкал и опросников, выявлено не

было. Нежелательных побочных явлений зафиксировано не было.

ОБСУЖДЕНИЕ

Статистический анализ полученных нами данных показал высокую прогностическую ценность нТМС мышц как верхней, так и нижней конечности в отношении силы в паретичной конечности. Основным прогностическим параметром ТМС является наличие ВМО и его межполушарная асимметрия. Отсутствие ВМО можно расценивать как предиктор плохого восстановления силы паретичной конечности, что соответствует данным, полученным другими исследователями [19].

Пациенты с определяемым с паретичной мышцы ВМО показали лучшее восстановление после курса МР. Существенной разницы между приростом силы мышц у пациентов с симметричными и асимметричными ВМО не было. Похожие результаты были получены и в исследовании 2020 года, где наличие ВМО и их амплитуда статистически значимо коррелировали с уменьшением выраженности пареза верхней конечности через 3 месяца, в то время как величина моторного порога прогностического значения не показала. При этом концентрация *BDNF* в течение всего периода наблюдения не коррелировала со степенью восстановления [20]. Аналогичные результаты получены и для нижней конечности, что соотносится с данными, описанными в литературе [21].

Вследствие функциональной реорганизации головного мозга параметры ТМС непораженного полушария могут значительно отличаться от таковых у здоровых добровольцев [22–23]. В исследовании 2014 года измерение ВМО при ТМС и ВМО у здоровых добровольцев и в неинфарктном полушарии у пациентов с инсультом и паретичной верхней конечностью варьировала от хорошей до превосходной. Напротив, измерения ВМО в пораженном инфарктом полушарии были менее последовательными. Учитывая более низкую воспроизводимость результатов ВМО-измерений в пораженном инфарктом полушарии, авторы рекомендуют повторное нанесение импульсов для повышения надежности теста [24]. Однако более поздние данные *McDonnell et al.* свидетельствуют о менее значительной асимметрии и большей важности показателей ТМС непосредственно пораженного полушария [25]. В связи с особенностями организации коры головного мозга для оценки ВМО представительства нижних конечностей требуется большее количество импульсов [26], к тому же имеются объективные затруднения в определении ВМО, и они не всегда определяются даже у здоровых лиц.

Одним из способов увеличения прогностических возможностей ТМС является изучение не отдельных ВМО, а построение и картирование нейронных сетей с учетом их межполушарного взаимодействия, в том числе и с применением электроэнцефалографии и МРТ. Такой подход позволяет оценить общую способность ЦНС к восстановлению поврежденных функциональных систем [27–29].

Многие специалисты рекомендуют сочетать клиническую оценку состояния пациентов с использованием дополнительных маркеров, главным образом нейровизуализационных и нейрофункциональных [30]. Согласно обзору, посвященному биомаркерам восстановления после инсульта, включавшему 71 исследование, более высокую эффективность продемон-

стрировала комплексная оценка пациента, нежели изолированное использование инструментальных маркеров [31–32]. На основе такого подхода был разработан алгоритм *ASTRAL* (*Accurate Species Tree Algorithm*), включающий 6 показателей, который продемонстрировал 50% прогностическую точность [33].

Наиболее практикуемым для прогнозирования функционального исхода нарушений движений верхней конечности через 3 месяца после инсульта является алгоритм *PREP2* (*The Predict REcovery Potential*). На первом этапе производится оценка с помощью теста *SAFE* (*Shoulder Abduction, Finger Extension* — отведение плеча, разгибание пальцев). При оценке по тесту *SAFE* менее 8 баллов на следующем этапе проводится ТМС мышц верхней конечности, и в случае отсутствия ВМО на третьем этапе оцениваются изменения при МРТ головного мозга и (или) тяжесть инсульта по шкале *NIHSS* [34]. Рядом исследований показано, что ТМС АВМ не имеет прогностической ценности в отношении острого периода инсульта — по сравнению с оценкой двигательных нарушений по тесту *SAFE* [35].

Алгоритм *TWIST* (*Time to Walking Independent after Stroke*), разработанный для оценки ходьбы в течение 3 месяцев после инсульта, включает два основных теста: тест контроля торса и оценку силы разгибателей бедра с использованием *MRC* [36]. Предложенный в 2019 года алгоритм *PRESS* (*Predictive Swallowing Score*) — прогностическая шкала глотания — является простым в применении прогностическим инструментом, который надежно предсказывает восстановление глотания и является шагом на пути к персонализированной медицине [37]. *S. Salvalaggio et al.* в своей статье обобщила данные об актуальных алгоритмах оценки РП для различных нарушений. Наибольшую точность и специфичность показал алгоритм *PREP2* [38].

При анализе динамики скорости ходьбы определено, что при наличии ВМО с *m. TA* отмечается статистически значимый прирост показателя согласно тесту ходьбы на 10 метров. По данным литературы, статистически значимых различий в предыдущих исследованиях выявлено не было [39–40]. Полученные различия могут быть связаны с малым числом наблюдений и недостаточной чувствительностью самого теста. В то же время межгрупповых различий по результатам других тестов не зафиксировано.

При анализе функциональной независимости пациентов установлено статистически значимое улучшение общего состояния по данным модифицированной шкалы Рэнкина, что согласуется с результатами предыдущих исследований [41]. Схожая динамика прослеживалась при стратификации пациентов различных групп по ШРМ: при наличии ВМО пациенты статистически значимо чаще переходили в группу с более легкими функциональными нарушениями.

Полученные нами данные согласуются с предыдущими исследованиями, подтверждая наличие прямой связи между ВМО и степенью восстановления двигательных функций, а также снижением нарушений базовой функциональной активности. Исследования показывают, что нТМС может рассматриваться как один из методов оценки РП у пациентов, перенесших ИИ. Однако необходимо отметить, что ее использование в качестве единственного источника информации для принятия решений о МР не имеет убедительных доказательств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одними из наиболее частых последствий инсульта, ограничивающими повседневную активность пациентов, являются двигательные нарушения в форме одно-сторонних спастических гемипарезов различной степени выраженности. Поиск прогностических маркеров восстановления двигательных нарушений является актуальной проблемой персонализации реабилитационных программ.

Работы последних лет демонстрируют возможность использования навигационной транскраниальной магнитной стимуляции в качестве предиктора функционального исхода после инсульта, а также прогнозирования эффективности реабилитационных мероприятий. Результаты проведенного нами исследования подтверждают наличие прямой связи между вызванным моторным ответом и степенью восстановления двигательных функций. Однако необходимо дальнейшее изучение корреляции между результатами транскраниальной магнитной стимуляции и функциональным исходом после инсульта. Стоит учитывать, что эффекты транскраниальной магнитной стимуляции могут быть временными, а для достижения долгосрочных результатов потребуется повторное воздействие.

В целом применение диагностической транскраниальной магнитной стимуляции в качестве предиктора функционального исхода после ишемического инсульта представляет большой потенциал для развития новых методов диагностики и терапии. Это может помочь улучшить прогнозирование и определение индивидуального подхода к реабилитации пациентов, что в конечном итоге может значительно повысить эффективность медицинской реабилитации.

ВЫВОДЫ

1. У пациентов с определяемым вызванным моторным ответом проведение медицинской реабилитации продемонстрировало лучшее функциональное восстановление: прирост мышечной силы паретичной конечности по шкале MRC составил 0,22 балла — (с 4,00 (2,94–4,06) до 4,22 (3,83–4,89) балла, $p < 0,001$) для

верхней конечности и 0,44 балла — (с 4,00 (3,67–4,00) до 4,44 (3,83–4,61) баллов, $p < 0,001$) для нижней конечности; динамика координации движений при оценке по тесту «Кубики в коробке» в группе пациентов с симметричным вызванным моторным ответом составила 5,5 балла (с 26,00 (23,50–31,25) до 31,50 (27,75–39,50), $p = 0,003$), в группе с асимметричными ответами — 10,0 баллов (с 28,00 (18,50–36,50) до 38,00 (26,00–44,50), $p = 0,005$); увеличение скорости ходьбы, оцененное по тесту ходьбы на 10 метров с 0,59 (0,39–1,07) до 0,67 (0,49–1,21) метров в секунду ($p = 0,007$).

2. Продемонстрировано значительное улучшение способности к самообслуживанию и уменьшение степени инвалидизации у пациентов с определяемым вызванным моторным ответом после курса реабилитации. Изменения по шкале mRS показали увеличение числа пациентов с легкими нарушениями функционирования, так количество пациентов с оценкой по mRS в 2 балла увеличилось на 26,1% ($p < 0,001$), достигли значений в 1 балл 13,0% пациентов ($p < 0,05$); уменьшилось число пациентов с оценкой степени инвалидизации и способности к самообслуживанию в 4 балла на 43,5% ($p < 0,001$).

3. В группах пациентов без вызванного моторного ответа с пораженного полушария статистически значимой динамики показателей функциональных шкал, а также степени инвалидизации не прослеживалось ($p > 0,05$).

4. Выявленные статистически значимые различия ($p < 0,05$) результатов медицинской реабилитации между группой пациентов с определяемыми вызванным моторным ответом и группой без вызванного моторного ответа по оценке показателей функции верхней конечности, скорости ходьбы, зависимости в повседневной деятельности пациентов позволяют сделать вывод, что определение вызванного моторного ответа методом «навигационная диагностическая транскраниальная магнитная стимуляция» может рассматриваться как нейрофункциональный предиктор функционального исхода ишемического инсульта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Feigin VL, Brainin M, Norrving B, Martins S, Sacco RL, Hacke W, et al. World Stroke Organization (WSO): Global Stroke Fact Sheet 2022. *Int J Stroke*. 2022;17(1):18–29. PMID: 34986727 <https://doi.org/10.1177/17474930211065917>
- Martin SS, Aday AW, Almarzoq ZI, Anderson CAM, Arora P, Avery CL, et al. 2024 heart disease and stroke statistics: A report of US and Global Data from the American Heart Association. *Circulation*. 2024;149(8):e347–e913. PMID: 38264914 <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000001209>
- Пирадов М.А., Максимова М.Ю., Танащян М.М. *Инсульт: пошаговая инструкция. Руководство для врачей*. 2-е изд. перераб. и доп. Москва: ГЕОТАР-Медиа; 2020.
- Liu W, Wang X, O'Connor M, Wang G, Han F. Brain-Derived Neurotrophic Factor and Its Potential Therapeutic Role in Stroke Comorbidities. *Neural Plast*. 2020;2020:1969482. PMID: 32399020 <https://doi.org/10.1155/2020/1969482>
- Zhang JJ, Sánchez Vidaña DI, Chan JN, Hui ESK, Lau KK, Wang X, et al. Biomarkers for prognostic functional recovery poststroke: A narrative review. *Front Cell Dev Biol*. 2023;9(10):1062807. PMID: 36699006 <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.1062807>
- Lim JY, Oh MK, Park J, Paik NJ. Does Measurement of Corticospinal Tract Involvement Add Value to Clinical Behavioral Biomarkers in Predicting Motor Recovery after Stroke? *Neural Plast*. 2020;27:2020:8883839. PMID: 33354207 <https://doi.org/10.1155/2020/8883839>
- Buettelisch CM, Haut MW, Revill KP, Shaeffer S, Edwards L, Barany DA, et al. Stroke Lesion Volume and Injury to Motor Cortex Output Determines Extent of Contralateral Motor Cortex Reorganization. *Neurorehabil Neural Repair*. 2023;37(2-3):119–130. PMID: 36786394 <https://doi.org/10.1177/15459683231152816>
- Soulard J, Huber C, Baillieu S, Thuriot A, Renard F, Aubert Broche B, et al. Motor tract integrity predicts walking recovery: A diffusion MRI study in subacute stroke. *Neurology*. 2020;11;94(6):e583–e593. PMID: 31896618 <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000008755>
- Okamoto Y, Ishii D, Yamamoto S, Ishibashi K, Wakatabi M, Kohno Y, et al. Relationship Between Motor Function, DTI, and Neurophysiological Parameters in Patients with Stroke in the Recovery Rehabilitation unit. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2021;30(8):105889. PMID: 34062310 <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.105889>
- Bastings EP, Greenberg JP, Good DC. Hand motor recovery after stroke: a transcranial magnetic stimulation mapping study of motor output areas and their relation to functional status. *Neurorehabil Neural Repair*. 2002;16(3):275–282. PMID: 12234089 <https://doi.org/10.1177/154596802401105207>
- Bembek JP, Kurczyk K, Karli Nski M, Czlonkowska A. The prognostic value of motor-evoked potentials in motor recovery and functional outcome after stroke – a systematic review of the literature. *Funct Neurol*. 2012;27(2):79–84. PMID: 23158578
- Van Kuijk AA, Pasman JW, Hendricks HT, Zwartz MJ, Geurts ACH. Predicting hand motor recovery in severe stroke: the role of motor evoked potentials in relation to early clinical assessment. *Neurorehabil Neural Repair*. 2019;23(1):45–51. PMID: 18794218 <https://doi.org/10.1177/1545968308317578>
- Karatzetzou S, Tsiptsios D, Terzoudi A, Aggeloussis N, Vadiolias K. Transcranial magnetic stimulation implementation on stroke prognosis. *Neurol Sci*. 2022;43(2):873–888. PMID: 34846585 <https://doi.org/10.1007/s10072-021-05791-1>
- Glize B, Bigourdan A, Villain M, Munsch F, Tourdias T, de Gabory I, et al. Motor evoked potential of upper-limbs is predictive of aphasia recovery. *Aphasiology*. 2019;33(1):105–120. <https://doi.org/10.1080/02687038.2018.1444137>

15. Smith MC, Stinear CM. Transcranial magnetic stimulation (TMS) in stroke: ready for clinical practice? *J Clin Neurosci.* 2016;31:10–14. PMID: 27394378 <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2016.01.034>
16. Костенко Е.В., Кашежев А.Г., Нахрапов Д.И., Погонченкова И.В. Возможности нейровизуализационных и нейрофизиологических методов исследования для объективизации реабилитационного потенциала у пациентов, перенесших ишемический инсульт (аналитический обзор литературы). *Медицинский совет.* 2023;17(10):32–40. <https://doi.org/10.21518/ms2023-190>
17. Boyd LA, Hayward KS, Ward NS, Stinear CM, Rosso C, Fisher RJ, et al. Biomarkers of stroke recovery: Consensus-based core recommendations from the Stroke Recovery and Rehabilitation Roundtable. *Int J Stroke.* 2017;12(5):480–493. PMID: 28697711 <https://doi.org/10.1177/1747493017714176>
18. Rosso C, Lamy C-J. Prediction of motor recovery after stroke: being pragmatic or innovative? *Curr Opin Neurol.* 2020;33(4):482–487. PMID: 32657889 <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000843>
19. Jo JY, Lee A, Kim MS, Park E, Chang WH, Shin Y, et al. Prediction of motor recovery using quantitative parameters of motor evoked potential in patients with stroke. *Ann Rehabil Med.* 2016;40(5):806–815. PMID: 27847710 <https://doi.org/10.5535/arm.2016.40.5.806>
20. Bembenek JP, Kurczyk K, Klysz B, Cudna A, Antczak J, Członkowska A. Prediction of Recovery and Outcome Using Motor Evoked Potentials and Brain Derived Neurotrophic Factor in Subacute Stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2020;29(11):105202. PMID: 33066924 <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105202>
21. Hwang P, Sohn MK, Jee S, Lee H. Transcranial motor evoked potentials of lower limbs can prognosticate ambulation in hemiplegic stroke patients. *Ann Rehabil Med.* 2016;40(3):383–391. PMID: 27446774 <https://doi.org/10.5535/arm.2016.40.3.383>
22. Vucic S, Chen KH S, Kiernan MC, Hallett M, Benninger DH, Di Lazzaro V, et al. Clinical diagnostic utility of transcranial magnetic stimulation in neurological disorders. Updated report of an IFCN committee. *Clin Neurophysiol.* 2023;150:131–175. PMID: 37068329 <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2023.03.010>
23. Foltys H, Krings T, Meister IG, Sparing R, Boroojerdi B, Thron A, et al. Motor representation in patients rapidly recovering after stroke: a functional magnetic resonance imaging and transcranial magnetic stimulation study. *Clin Neurophysiol.* 2003;114(12):2404–2415. PMID: 14652101 [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(03\)00263-3](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(03)00263-3)
24. Hoonhorst MHJ, Kollen BJ, van den Berg PSP, Emmelot CH, Kollen BJ, Kwakkel G. How reproducible are transcranial magnetic stimulation-induced MEPs in subacute stroke? *J Clin Neurophysiol.* 2014;31(6):556–562. PMID: 25232425 <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000114>
25. McDonnell MN, Stinear CM. TMS measures of motor cortex function after stroke: a meta-analysis. *Brain Stimul.* 2017;10(4):721–734. PMID: 28385535 <https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.03.008>
26. Cavaleri R, Schabrun SM, Chipchase LS. The number of stimuli required to reliably assess corticomotor excitability and primary motor cortical representations using transcranial magnetic stimulation (TMS): a systematic review and meta-analysis. *Syst Rev.* 2017;6(1):48. PMID: 28264713 <https://doi.org/10.1186/s13643-017-0440-8>
27. Grefkes C, Fink GR. Recovery from stroke: current concepts and future perspectives. *Neurol Res Pract.* 2020;2:17. PMID: 33324923 <https://doi.org/10.1186/s42466-020-00060-6>
28. Ward NS, Brown MN, Thompson AJ, Frackowiak RS. Neural correlates of outcome after stroke: a cross-sectional fMRI study. *Brain.* 2003;126(6):1430–1448. PMID: 12764063 <https://doi.org/10.1093/brain/awg145>
29. Keser Z, Buchl SC, Seven NA, Markota M, Clark HM, Jones DT, et al. Electroencephalogram (EEG) With or Without Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) as Biomarkers for Post-stroke Recovery: A Narrative Review. *Front Neurol.* 2022;13:827866. PMID: 35273559 <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.827866>
30. Włodarczyk L, Cichon N, Saluk-Bijak J, Bijak M, Majos A, Miller E. Neuroimaging Techniques as Potential Tools for Assessment of Angiogenesis and Neuroplasticity Processes after Stroke and Their Clinical Implications for Rehabilitation and Stroke Recovery Prognosis. *J Clin Med.* 2022;11(9):2473. PMID: 35566599 <https://doi.org/10.3390/jcm11092473>
31. Kim B, Winstein C. Can neurological biomarkers of brain impairment be used to predict poststroke motor recovery? A systematic review. *Neurorehabil Neural Repair.* 2017;31:3–24. PMID: 27503908 <https://doi.org/10.1177/1545968316662708>
32. Feys H, van Hees J, Bruyninckx F, Mercelis R, De Weerd W. Value of somatosensory and motor evoked potentials in predicting arm recovery after a stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2000;68(3):323–331. PMID: 10675214 <https://doi.org/10.1136/jnnp.68.3.323>
33. Ntaios G, Faouzi M, Ferrari J, Lang W, Vemmos K, Michel P. An integer-based score to predict functional outcome in acute ischemic stroke: the ASTRAL score. *Neurology.* 2012;78(24):1916–1922. PMID: 22649218 <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e318259e221>
34. Stinear CM, Byblow WD, Ackerley SJ, Smith MC, Borges VM, Barber PA. PREP2: A biomarker-based algorithm for predicting upper limb function after stroke. *Ann Clin Transl Neurol.* 2017;4(11):811–820. PMID: 29159193 <https://doi.org/10.1002/acn3.488>
35. Hoonhorst MHJ, Nijland RHM, van den Berg PJS, Emmelot CH, Kollen BJ, Kwakkel G. Does Transcranial Magnetic Stimulation Have an Added Value to Clinical Assessment in Predicting Upper-Limb Function Very Early After Severe Stroke? *Neurorehabil Neural Repair.* 2018;32(8):682–690. PMID: 29972088 <https://doi.org/10.1177/1545968318785044>
36. Smith MC, Barber PA, Stinear CM. The TWIST Algorithm Predicts Time to Walking Independently After Stroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2017;31(10-11):955–964. PMID: 29090654 <https://doi.org/10.1177/1545968317736820>
37. Galovic M, Stauber AJ, Leisi N, Krammer W, Brugger F, Vehoff J, et al. Development and Validation of a Prognostic Model of Swallowing Recovery and Enteral Tube Feeding After Ischemic Stroke. *JAMA Neurol.* 2019;76(5):561–570. PMID: 30742198 <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2018.4858>
38. Salvalaggio S, Boccuni L, Turolla A. Patient's assessment and prediction of recovery after stroke: a roadmap for clinicians. *Arch Physiother.* 2023;13(1):13. PMID: 37337288 <https://doi.org/10.1186/s40945-023-00167-4>
39. Piron L, Piccione F, Tonin P, Dam M. Clinical correlation between motor evoked potentials and gait recovery in poststroke patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(9):1874–1878. PMID: 16181957 <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.03.007>
40. Sivaramakrishnan A, Madhavan S. Absence of a Transcranial Magnetic Stimulation-Induced Lower Limb Corticomotor Response Does Not Affect Walking Speed in Chronic Stroke Survivors. *Stroke.* 2018;49(8):2004–2007. PMID: 29986928 <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.118.021718>
41. Feng W, Plow EB, Paik N-J. Transcranial magnetic stimulation for poststroke motor recovery: What we have learned. *Stroke.* 2023;54(8):1972–1973. PMID: 37345547 <https://doi.org/10.1161/strokeaha.123.043536>

REFERENCES

1. Feigin VL, Brainin M, Norrving B, Martins S, Sacco RL, Hacke W, et al. World Stroke Organization (WSO): Global Stroke Fact Sheet 2022. *Int J Stroke.* 2022;17(1):18–29. PMID: 34986727 <https://doi.org/10.1177/17474930211065917>
2. Martin SS, Aday AW, Almarzooq ZI, Anderson CAM, Arora P, Avery CL, et al. 2024 heart disease and stroke statistics: A report of US and Global Data from the American Heart Association. *Circulation.* 2024;149(8):e347–e913. PMID: 38264914 <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000001209>
3. Piradov MA, Maksimova MYu, Tanashyan MM. *Insul't.* 2nd ed., rev. and exp. Moscow: GEOTAR-Media Publ.; 2020. (In Russ.)
4. Liu W, Wang X, O'Connor M, Wang G, Han F. Brain-Derived Neurotrophic Factor and Its Potential Therapeutic Role in Stroke Comorbidities. *Neural Plast.* 2020;2020:1969482. PMID: 32399020 <https://doi.org/10.1155/2020/1969482>
5. Zhang JJ, Sánchez Vidaña DI, Chan JN, Hui ESK, Lau KK, Wang X, et al. Biomarkers for prognostic functional recovery poststroke: A narrative review. *Front Cell Dev Biol.* 2023;9(10):1062807. PMID: 36699006 <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.1062807>
6. Lim JY, Oh MK, Park J, Paik NJ. Does Measurement of Corticospinal Tract Involvement Add Value to Clinical Behavioral Biomarkers in Predicting Motor Recovery after Stroke? *Neural Plast.* 2020;27:2020:8883839. PMID: 33354207 <https://doi.org/10.1155/2020/8883839>
7. Bueteftisch CM, Haut MW, Revill KP, Shaeffer S, Edwards L, Barany DA, et al. Stroke Lesion Volume and Injury to Motor Cortex Output Determines Extent of Contralesional Motor Cortex Reorganization. *Neurorehabil Neural Repair.* 2023;37(2-3):119–130. PMID: 36786394 <https://doi.org/10.1177/15459683231152816>
8. Soulard J, Huber C, Baillieu S, Thuriot A, Renard F, Aubert Broche B, et al. Motor tract integrity predicts walking recovery: A diffusion MRI study in subacute stroke. *Neurology.* 2020;119(4):e583–e593. PMID: 31896618 <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000000875>
9. Okamoto Y, Ishii D, Yamamoto S, Ishibashi K, Wakatabi M, Kohno Y, et al. Relationship Between Motor Function, DTI, and Neurophysiological Parameters in Patients with Stroke in the Recovery Rehabilitation unit. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2021;30(8):105889. PMID: 34062310 <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.105889>
10. Bastings EP, Greenberg JP, Good DC. Hand motor recovery after stroke: a transcranial magnetic stimulation mapping study of motor output areas and their relation to functional status. *Neurorehabil Neural Repair.* 2002;16(3):275–282. PMID: 12234089 <https://doi.org/10.1177/154596802401105207>
11. Bembenek JP, Kurczyk K, Karli Nski M, Członkowska A. The prognostic value of motor-evoked potentials in motor recovery and functional outcome after stroke – a systematic review of the literature. *Funct Neurol.* 2012;27(2):79–84. PMID: 23158578

12. Van Kuijk AA, Pasman JW, Hendricks HT, Zwarts MJ, Geurts ACH. Predicting hand motor recovery in severe stroke: the role of motor evoked potentials in relation to early clinical assessment. *Neurorehabil Neural Repair*. 2019;23(1):45–51. PMID: 18794218 <https://doi.org/10.1177/1545968308317578>
13. Karatzetou S, Tsitsios D, Terzoudi A, Aggeloussis N, Vadiolias K. Transcranial magnetic stimulation implementation on stroke prognosis. *Neural Sci*. 2022;43(2):873–888. PMID: 34846585 <https://doi.org/10.1007/s10072-021-05791-1>
14. Glize B, Bigourdan A, Villain M, Munsch F, Tourdias T, de Gabory I, et al. Motor evoked potential of upper-limbs is predictive of aphasia recovery. *Aphasiology*. 2019;33(1):105–120. <https://doi.org/10.1080/02687038.2018.1444137>
15. Smith MC, Stinear CM. Transcranial magnetic stimulation (TMS) in stroke: ready for clinical practice? *J Clin Neurosci*. 2016;31:10–14. PMID: 27394378 <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2016.01.034>
16. Kostenko EV, Kashezhev AG, Nakhrapov DI, Pogonchenkova IV. Possibilities neuroimaging and neurophysiological research methods to objectify rehabilitation potential in patients with ischemic stroke (analytical review of the literature). *Medical Council*. 2023;(10):32–40. (In Russ.). <https://doi.org/10.21518/ms2023-190>
17. Boyd LA, Hayward KS, Ward NS, Stinear CM, Rosso C, Fisher RJ, et al. Biomarkers of stroke recovery: Consensus-based core recommendations from the Stroke Recovery and Rehabilitation Roundtable. *Int J Stroke*. 2017;12(5):480–493. PMID: 28697711 <https://doi.org/10.1177/1747493017714176>
18. Rosso C, Lamy C-J. Prediction of motor recovery after stroke: being pragmatic or innovative? *Curr Opin Neurol*. 2020;33(4):482–487. PMID: 32657889 <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000843>
19. Jo JY, Lee A, Kim MS, Park E, Chang WH, Shin Y, et al. Prediction of motor recovery using quantitative parameters of motor evoked potential in patients with stroke. *Ann Rehabil Med*. 2016;40(5):806–815. PMID: 27847710 <https://doi.org/10.5535/arm.2016.40.5.806>
20. Bembenek JP, Kurczyk K, Klysz B, Cudna A, Antczak J, Członkowska A. Prediction of Recovery and Outcome Using Motor Evoked Potentials and Brain Derived Neurotrophic Factor in Subacute Stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2020;29(11):105202. PMID: 33066924 <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105202>
21. Hwang P, Sohn MK, Lee S, Lee H. Transcranial motor evoked potentials of lower limbs can prognosticate ambulation in hemiplegic stroke patients. *Ann Rehabil Med*. 2016;40(3):383–391. PMID: 27446774 <https://doi.org/10.5535/arm.2016.40.3.383>
22. Vucic S, Chen KH S, Kiernan MC, Hallett M, Benninger DH, Di Lazzaro V, et al. Clinical diagnostic utility of transcranial magnetic stimulation in neurological disorders. Updated report of an IFCN committee. *Clin Neurophysiol*. 2023;150:131–175. PMID: 37068329 <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2023.03.010>
23. Foltys H, Krings T, Meister IG, Sparing R, Borojerdi B, Thron A, et al. Motor representation in patients rapidly recovering after stroke: a functional magnetic resonance imaging and transcranial magnetic stimulation study. *Clin Neurophysiol*. 2003;114(12):2404–2415. PMID: 14652101 [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(03\)00263-3](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(03)00263-3)
24. Hoonhorst MHWJ, Kollen BJ, van den Berg PSP, Emmelot CH, Kollen BJ, Kwakkel G. How reproducible are transcranial magnetic stimulation-induced MEPs in subacute stroke? *J Clin Neurophysiol*. 2014;31(6):556–562. PMID: 25233245 <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000114>
25. McDonnell MN, Stinear CM. TMS measures of motor cortex function after stroke: a meta-analysis. *Brain Stimul*. 2017;10(4):721–734. PMID: 28385535 <https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.03.008>
26. Cavaleri R, Schabrun SM, Chipchase LS. The number of stimuli required to reliably assess corticomotor excitability and primary motor cortical representations using transcranial magnetic stimulation (TMS): a systematic review and meta-analysis. *Syst Rev*. 2017;6(1):48. PMID: 28264713 <https://doi.org/10.1186/s13643-017-0440-8>
27. Grefkes C, Fink GR. Recovery from stroke: current concepts and future perspectives. *Neural Res Pract*. 2020;2:17. PMID: 33324923 <https://doi.org/10.1186/s42466-020-00060-6>
28. Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, Frackowiak RS. Neural correlates of outcome after stroke: a cross-sectional fMRI study. *Brain*. 2003;126(6):1430–1448. PMID: 12764063 <https://doi.org/10.1093/brain/awg145>
29. Kaser Z, Buchl SC, Seven NA, Markota M, Clark HM, Jones DT, et al. Electroencephalogram (EEG) With or Without Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) as Biomarkers for Post-stroke Recovery: A Narrative Review. *Front Neurol*. 2022;13:827866. PMID: 35273559 <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.827866>
30. Włodarczyk L, Cichon N, Saluk-Bijak J, Bijak M, Majos A, Miller E. Neuroimaging Techniques as Potential Tools for Assessment of Angiogenesis and Neuroplasticity Processes after Stroke and Their Clinical Implications for Rehabilitation and Stroke Recovery Prognosis. *J Clin Med*. 2022;11(9):2473. PMID: 35566599 <https://doi.org/10.3390/jcm11092473>
31. Kim B, Winstein C. Can neurological biomarkers of brain impairment be used to predict poststroke motor recovery? A systematic review. *Neurorehabil Neural Repair*. 2017;31:3–24. PMID: 27503908 <https://doi.org/10.1177/1545968316662708>
32. Feys H, van Hees J, Bruyninckx F, Mercelis R, De Weerd W. Value of somatosensory and motor evoked potentials in predicting arm recovery after a stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2000;68(3):323–331. PMID: 10675214 <https://doi.org/10.1136/jnnp.68.3.323>
33. Ntaios G, Faouzi M, Ferrari J, Lang W, Vemmos K, Michel P. An integer-based score to predict functional outcome in acute ischemic stroke: the ASTRAL score. *Neurology*. 2012;78(24):1916–1922. PMID: 22649218 <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e318259e221>
34. Stinear CM, Byblow WD, Ackerley SJ, Smith MC, Borges VM, Barber PA. PREP2: A biomarker-based algorithm for predicting upper limb function after stroke. *Ann Clin Transl Neurol*. 2017;4(11):811–820. PMID: 29159193 <https://doi.org/10.1002/acn3.488>
35. Hoonhorst MHJ, Nijland RHM, van den Berg PJS, Emmelot CH, Kollen BJ, Kwakkel G. Does Transcranial Magnetic Stimulation Have an Added Value to Clinical Assessment in Predicting Upper-Limb Function Very Early After Severe Stroke? *Neurorehabil Neural Repair*. 2018;32(8):682–690. PMID: 29972088 <https://doi.org/10.1177/1545968318785044>
36. Smith MC, Barber PA, Stinear CM. The TWIST Algorithm Predicts Time to Walking Independently After Stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2017;31(10-11):955–964. PMID: 29090654 <https://doi.org/10.1177/1545968317736820>
37. Galovic M, Stauber AJ, Leisi N, Krammer W, Brugger F, Vehoff J, et al. Development and Validation of a Prognostic Model of Swallowing Recovery and Enteral Tube Feeding After Ischemic Stroke. *JAMA Neurol*. 2019;76(5):561–570. PMID: 30742198 <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2018.4858>
38. Salvalaggio S, Bocconi L, Turolla A. Patient's assessment and prediction of recovery after stroke: a roadmap for clinicians. *Arch Physiother*. 2023;13(1):13. PMID: 37337288 <https://doi.org/10.1186/s40945-023-00167-4>
39. Piron L, Piccione F, Tonin P, Dam M. Clinical correlation between motor evoked potentials and gait recovery in poststroke patients. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86(9):1874–1878. PMID: 16181957 <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.03.007>
40. Sivaramakrishnan A, Madhavan S. Absence of a Transcranial Magnetic Stimulation-Induced Lower Limb Corticomotor Response Does Not Affect Walking Speed in Chronic Stroke Survivors. *Stroke*. 2018;49(8):2004–2007. PMID: 29986928 <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.118.021718>
41. Feng W, Plow EB, Paik N-J. Transcranial magnetic stimulation for poststroke motor recovery: What we have learned. *Stroke*. 2023;54(8):1972–1973. PMID: 37345547 <https://doi.org/10.1161/strokeaha.123.043536>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Погонченкова Ирэна Владимировна	доктор медицинских наук, директор ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ»; https://orcid.org/0000-0001-5123-5991 , pogonchenkovaiv@zdrav.mos.ru ; 30%: разработка концепции исследования
Петриков Сергей Сергеевич	член-корреспондент РАН, профессор, доктор медицинских наук, директор ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; https://orcid.org/0000-0003-3292-8789 , petrikovss@sklif.mos.ru ; 25%: научная редакция текста рукописи

- Костенко Елена Владимировна** доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, заместитель директора по научной работе ГАУЗ «МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ»; врач-невролог, профессор кафедры неврологии, нейрохирургии и медицинской генетики ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России;
<https://orcid.org/0000-0003-0629-9659>, ekostenko58@mail.ru;
 20%: разработка концепции темы обзора и дизайна исследования, проверка критически важного содержания, редактирование рукописи
- Кашежев Алим Гумарович** кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник ГАУЗ «МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ»;
<https://orcid.org/0000-0001-7483-1796>, kashezhevalim@gmail.com;
 15%: обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи
- Петрова Людмила Владимировна** кандидат медицинских наук, врач-невролог, заведующий отделением, старший научный сотрудник ГАУЗ «МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ»;
<https://orcid.org/0000-0003-0353-553X>, ludmila.v.petrova@yandex.ru;
 10%: написание текста, перевод на английский язык
- Синкин Михаил Владимирович** доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения нейрохирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;
<https://orcid.org/0000-0001-5026-0060>, sinkinmv@sklif.mos.ru;
 5%: обзор публикаций по теме статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The Use of Diagnostic Transcranial Magnetic Stimulation as a Predictor of the Functional Outcome in Ischemic Stroke

I.V. Pogonchenkova¹, S.S. Petrikov², E.V. Kostenko^{1, 3✉}, A.G. Kashezhev¹, L.V. Petrova¹, M.V. Sinkin²

Department of Medical Rehabilitation of Branch No. 3

¹ Moscow Research and Practice Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky

Vucheticha Str. 21, Moscow, Russian Federation 127206

² N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine

Bolshaya Sukharevskaya Sq. 3, Moscow, Russian Federation 129090

³ N.I. Pirogov Russian National Research Medical University

Leninsky Prospekt 117, Moscow, Russian Federation 119571

✉ **Contacts:** Elena V. Kostenko, Doctor of Medical Sciences, Professor, Full Professor, Deputy Director for Research, Moscow Research and Practice Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky; Neurologist, Professor, Department of Neurology, Neurosurgery and Medical Genetics, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University. Email: ekostenko58@mail.ru

ABSTRACT Determination of rehabilitation potential (RP) is necessary for optimal rehabilitation strategy and the best rehabilitation measures. Navigational transcranial magnetic stimulation (nTMS) has been proposed as a method for PR determination in after-stroke patients.

THE AIM was to study the importance of navigational diagnostic transcranial magnetic stimulation as a neurofunctional predictor of motor function recovery after ischemic stroke.

MATERIAL AND METHODS The study included 28 after-stroke patients, 19 men and 9 women, the mean age was 60.07±5.67 years, who underwent a course of inpatient medical rehabilitation at the Moscow Research and Practice Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky in 2022–2023. Clinical examination and assessment were conducted before and after the rehabilitation course using validated scales and questionnaires – the Medical Research Committee (MRCs) scale, the Box and Block Test (BBT), the modified Rankin scale (mRS); the rehabilitation routing scale (RRS). The patients were also examined using nTMS at the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine with the determination of motor evoked potential (MEP) parameters from the muscles of the upper and lower extremities.

RESULTS In patients with preserved MEP, there was a significant increase in the strength of the paretic limb on the MRCs scale from 4.00 (2.94–4.06) to 4.22 (3.83–4.89) points ($p < 0.001$) for the upper limb and from 4.00 (3.67–4.00) to 4.44 (3.83–4.61) ($p < 0.001$) for the lower limb. Improvements were revealed according to the mRS scale – the number of patients with an mRS score of 2 points in the group of patients with defined MEP increased by 26.1%, reached values of 1 point – 13.0% of patients, and the number of patients with an assessment of disability and self-care ability of 4 points decreased by 8.7%.

CONCLUSION Navigational transcranial magnetic stimulation is one of the methods for assessing the rehabilitation potential in patients with ischemic stroke. But TMS should not be used as the only method of evaluating rehabilitation potential. The assessment of RP should be comprehensive and based on the complex data obtained.

Keywords: neuror rehabilitation, transcranial magnetic stimulation, rehabilitation potential, ischemic stroke

For citation Pogonchenkova IV, Petrikov SS, Kostenko EV, Kashezhev AG, Petrova LV, Sinkin MV. The Use of Diagnostic Transcranial Magnetic Stimulation as a Predictor of the Functional Outcome in Ischemic Stroke. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2024;13(3):375–384. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2024-13-3-375-384> (in Russ.)

Conflict of interest Authors declare lack of the conflicts of interests

Acknowledgments, sponsorship The study was supported by the Grant of the Government of Moscow No. 1503-7/23

Ethics Approval The authors declare that all procedures used in this article are in accordance with the ethical standards of the institutions that conducted the study and are consistent with the 2013 Declaration of Helsinki. The study was approved by the Local Ethics Committee of the Moscow Research and Practice Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky (Protocol No. 2, 19.04.2023)

Affiliations

Irena V. Pogonchenkova

Doctor of Medical Sciences, Director, Moscow Research and Practice Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky;
<https://orcid.org/0000-0001-5123-5991>, pogonchenkovaiv@zdrav.mos.ru;
 30%, development of the concept and design of the research

Sergey S. Petrikov	Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Full Professor, Doctor of Medical Sciences, Director, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; https://orcid.org/0000-0003-3292-8789 , petrikovss@sklif.mos.ru ; 25%, scientific editing of the manuscript
Elena V. Kostenko	Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Deputy Director for Research, Moscow Research and Practice Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky; Neurologist, Professor, Department of Neurology, Neurosurgery and Medical Genetics, Pirogov Russian National Research Medical University; https://orcid.org/0000-0003-0629-9659 , ekostenko58@mail.ru ; 20%, development of the concept of the review topic and study design, verification of critical content, editing of the manuscript
Alim G. Kashezhev	Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Moscow Research and Practice Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky; https://orcid.org/0000-0001-7483-1796 , kashezhevalim@gmail.com ; 15%, selection and clinical examination of patients, statistical processing, literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the article
Lyudmila V. Petrova	Candidate of Medical Sciences, Neurologist, Head of the Department, Senior Researcher, Moscow Research and Practice Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine named after S.I. Spasokukotsky; https://orcid.org/0000-0003-0353-553X , ludmila.v.petrova@yandex.ru ; 10%, material analysis, text writing
Mikhail V. Sinkin	Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher, Department of Neurosurgery, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; https://orcid.org/0000-0001-5026-0060 , sinkinmv@sklif.mos.ru ; 5%, review of publications on the topic of the article

Received on 01.06.2024**Review completed on 19.07.2024****Accepted on 14.08.2024****Поступила в редакцию 01.06.2024****Рецензирование завершено 19.07.2024****Принята к печати 14.08.2024**