

ТРАНСКРАНИАЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ: ЕСТЬ ЛИ МЕСТО В УРОЛОГИИ?

Е.С. Коршунова^{1,2}, Ю.А. Аносова^{3*}, И.С. Бакулин¹, М.Н. Коршунов², Ю.Ю. Мадькин⁴,
Н.А. Супонева¹, С.П. Даренков²

¹ ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва

² ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента
Российской Федерации, Москва

³ Медицинский центр «Олимп Здоровья», Воронеж

⁴ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России, Воронеж

TRANSCRANIAL MAGNETIC STIMULATION: CAN IT BE APPLIED IN UROLOGY?

E.S. Korshunova^{1,2}, Yu.A. Anosova^{3*}, I.S. Bakulin¹, M.N. Korshunov², Yu.Yu. Madykin⁴,
N.A. Suponeva¹, S.P. Darenkov²

¹ Research Center of Neurology, Moscow, Russia

² Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia

³ Medical Center «Olimp Zdoroviya», Voronezh, Russia

⁴ Burdenko State Medical University, Voronezh, Russia

*E-mail: anosova-2009@yandex.ru

Аннотация

Цель исследования – определить терапевтическую ценность транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) при нарушениях функции нижних мочевых путей, сексуальной дисфункции и хронической тазовой боли. **Материалы и методы.** Проведен сбор данных литературы (базы данных PubMed, Medline, Google Scholar, РИНЦ, «Российская медицина») без ограничения по дате публикации с использованием ключевых слов: «транскраниальная магнитная стимуляция», «симптомы нижних мочевых путей», «недержание мочи», «нейрогенный мочевой пузырь», «болезнь Паркинсона», «рассеянный склероз», «инсульт», «хроническая тазовая боль», «сексуальная дисфункция». **Результаты.** Отобраны статьи, в которых приведены результаты эффективности ритмической ТМС (рТМС) при урологической патологии и хронической тазовой боли. Проведен анализ эффективности метода при нарушениях как нейрогенной природы (болезнь Паркинсона, рассеянный склероз), так и идиопатической. **Заключение.** рТМС как неинвазивный немедикаментозный метод представляется перспективным для применения в урологии. Электромагнитное воздействие на головной мозг позволяет модулировать работу центральной нервной системы, что открывает новые возможности терапии функциональных урологических нарушений как нейрогенной (болезнь Паркинсона, рассеянный склероз), так и идиопатической природы. Для дальнейшего уточнения эффективности и расширения показаний к применению рТМС в урологии необходимо проведение более крупных качественных контролируемых исследований.

Ключевые слова: транскраниальная магнитная стимуляция, нарушения мочеиспускания, гиперактивный мочевой пузырь, болезнь Паркинсона, рассеянный склероз, синдром хронической тазовой боли, сексуальная дисфункция.

Abstract

Purpose. To find out a therapeutic value of transcranial magnetic stimulation (TMS) in patients with disorders in the lower urinary tract, sexual dysfunction and chronic pelvic pain. **Materials and methods.** Literature search was done in databases of PubMed, Medline, Google Scholar, RSCI, Russian Medicine without date limitations using the following keywords: "transcranial magnetic stimulation", "lower urinary tract symptoms", "urinary incontinence", "neurogenic bladder", "Parkinson's disease", "multiple sclerosis", "stroke", "chronic pelvic pain", "sexual dysfunction". **Results.** Articles on rhythmic TMS (rTMS) effectiveness in urological pathology and chronic pelvic pain were selected by the researchers. They have analyzed rTMS effectiveness in both neurogenic (Parkinson's disease, multiple sclerosis) and idiopathic disorders. **Conclusion.** rTMS, as a non-invasive non-medicamentous technique, seems promising for application in urology. Electromagnetic exposure to the brain allows to modulate CNS work which opens new possibilities for treatment of functional urological disorders of both neurogenic (Parkinson's disease, multiple sclerosis) and idiopathic origin. Future more expanded and controlled studies on rTMS application in urology should better define the effectiveness of the discussed technique and extend indications for its application.

Key words: transcranial magnetic stimulation, urinary disorders, hyperactive bladder, Parkinson's disease, multiple sclerosis, chronic pelvic pain syndrome, sexual dysfunction.

Ссылка для цитирования: Коршунова Е.С., Аносова Ю.А., Бакулин И.С., Коршунов М.Н., Мадькин Ю.Ю., Супонева Н.А., Даренков С.П. Транскраниальная магнитная стимуляция: есть ли место в урологии? *Кремлевская медицина. Клинический вестник.* 2023; 2: 62–68.

Транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) – интенсивно развивающийся метод неинвазивной стимуляции мозга. ТМС была впервые предложена А.Т. Barker и соавт. в 1985 г. [1]. Однако необходимо отметить, что истоки появления этого метода уходят в далекое прошлое. Во-первых, с глубокой древности получили развитие различные методы электромагнитного воздействия на нервную систему. Особую популярность электротерапия получила в XVIII–XIX вв. Уже к концу XIX в. были описаны различные физиологические эффекты транскраниальной электрической стимуляции мозга. Так, например, в 1896 г. известный французский врач Жак Арсен д'Арсонваль описал фосфены – зрительные ощущения, возникающие у человека без воздействия света на глаза [2]. Второй важнейшей предпосылкой появления ТМС можно считать открытие феномена электромагнитной индукции. В 1831 г. английский физик-экспериментатор Майкл Фарадей показал, что при перемещении магнита в проводнике в нем возникает электрический ток [3]. Спустя 30 лет Джеймс Максвелл описал полную математическую модель открытия М. Фарадея, используя ее в качестве основы количественной электромагнитной теории [4]. До наших дней это открытие дошло как «уравнение Максвелла – Фарадея». Переменное магнитное поле приводит к возникновению индуцированного электрического тока в расположенном рядом проводнике [5].

С физической точки зрения, ТМС основана на явлении электромагнитной индукции. В катушке для стимуляции генерируется переменное магнитное поле, которое безболезненно проникает через кожу, кости черепа, мозговые оболочки и другие структуры и приводит к возникновению индуцированного электрического тока в головном мозге. Следствием этого является деполяризация мембран нейронов в месте стимуляции, генерация потенциала действия и все последующие физиологические эффекты стимуляции. Наиболее простой демонстрацией эффекта ТМС первичной моторной коры является сокращение мышц на противоположной половине тела при стимуляции с достаточной интенсивностью. Это обусловлено распространением возбуждения по аксонам гигантских пирамидных клеток моторной коры до спинного мозга и далее – по периферическим нервам – до мышцы [6].

Изначально ТМС рассматривалась в качестве нейрофизиологического метода изучения функционального состояния кортикоспинального тракта. Однако уже на заре применения этого метода было замечено, что ТМС может оказывать модулирующий эффект на активность головного мозга, например улучшать настроение или облегчать движения у пациентов с болезнью Паркинсона. Это послужило основой для первых попыток применения протоколов ТМС с лечебной целью, прежде всего у пациентов с депрессией [2].

С терапевтической целью применяются в основном протоколы ритмической ТМС (рТМС), которые включают в себя закономерное повторение стимулов с определенной частотой. Выделяют два основных протокола рТМС: низкочастотная (стимулы повторяются с частотой 1 Гц, то есть один стимул в секунду) и высокочастотная (стимулы повторяются с частотой более

1 Гц (чаще всего 10 или 20 Гц) сериями по несколько секунд, разделенными интервалами). Показано, что низкочастотная рТМС оказывает преимущественно ингибирующий эффект на стимулируемую область, а высокочастотная рТМС – активирующий эффект. Например, после одной сессии низкочастотной рТМС первичной моторной коры можно зафиксировать уменьшение амплитуды моторных ответов, а после сессий высокочастотной – увеличение. Хотя подобное дихотомическое разделение эффектов рТМС является явным упрощением, именно оно используется для определения подходящих протоколов стимуляции при разных заболеваниях. В большинстве случаев сеансы терапевтической ТМС продолжаются 20–40 минут, проводятся ежедневно, курс включает 5–20 процедур, что позволяет закрепить эффект стимуляции. В последние годы активно также применяются более сложные протоколы, в частности стимуляция тета-вспышками [7].

Точные механизмы терапевтического эффекта рТМС остаются окончательно не изученными. Предполагается, что эффект связан прежде всего с влиянием на синаптическую пластичность и индукцией феноменов, сходных с долговременной потенциацией и депрессией. За прошедшие десятилетия проведены сотни клинических исследований по оценке эффективности рТМС при различных заболеваниях нервной системы. На основании представлений о патогенезе заболевания выбираются область и режим стимуляции. Например, при депрессии наиболее эффективный протокол рТМС – высокочастотная стимуляция левой префронтальной коры, а при двигательных нарушениях после инсульта – низкочастотная рТМС моторной коры «здорового» полушария [8].

Накопленный опыт систематизирован в рекомендациях группы европейских экспертов, в рамках которых протоколам рТМС при различных заболеваниях присвоен определенный уровень доказательности эффективности. Наиболее убедительные доказательства получены в пользу эффективности ТМС при депрессии, нейропатической боли и постинсультных двигательных нарушениях [9].

В настоящее время применяются магнитные катушки, которые позволяют стимулировать небольшие ограниченные участки коры. Активно применяются нейронавигационные системы, которые позволяют определять мишень для стимуляции на основании данных нейровизуализации. Терапевтическая ТМС как направление неинвазивной нейромодуляции становится все более высокотехнологичной и прецизионной [10].

Следует отметить, что сферы применения терапевтической ТМС постоянно расширяются. Основой для применения рТМС в урологии являются знания о механизмах центральной регуляции акта мочеиспускания и патогенезе различных функциональных нарушений (в частности, тазовой боли и других расстройств). ТМС действует на нижние мочевые пути через механизмы нейромодуляции. Нейромодуляция – терапевтическое изменение активности центральной, периферической или вегетативной нервной системы вследствие электрического или фармакологического воздействия. Большое внимание в настоящее время уделяется так называ-

емым нейросетевым эффектам ТМС: воздействуя на определенную ограниченную область коры, можно модулировать активность связанных с ней регионов нервной системы. Например, при болезни Паркинсона показан эффект высокочастотной рТМС моторной коры, которая приводит к увеличению высвобождения дофамина в подкорковых структурах. При боли эффект стимуляции первичной моторной коры может быть связан с увеличением активности антиноцицептивных структур ствола мозга, а при спастичности – ингибирующим эффектом на спинальные рефлексy на растяжение [9]. Аналогично ТМС может оказывать модулирующий эффект на активность как понтинного, так и сакрального центров мочеиспускания, что определяет перспективность применения этого метода в урологии.

P. Vacher и соавт. в 2019 г. выделили три методики воздействия на нижние мочевые пути посредством ТМС:

- 1) низкочастотное торможение коры снижает детрузорную гиперактивность, таким образом способствуя удержанию мочи (при ургентности);
- 2) высокочастотная стимуляция кортикоспинального тракта может влиять на фазу опорожнения мочевого пузыря, способствуя синергии – расслаблению сфинктера уретры и последующему сокращению детрузора;
- 3) увеличение возбудимости моторной коры может оказывать противоболевой эффект при тазовой боли [11].

Применение ТМС при нарушениях мочеиспускания

Одним из первых исследований, изучающих влияние ТМС на симптомы нижних мочевых путей, стала работа А.И. Неймарка и соавт. (2007). Авторы оценивали уродинамические и электроэнцефалографические параметры у 30 женщин (24–66 лет) с идиопатическим гиперактивным мочевым пузырем до и после ТМС. Были выявлены нарушения биоэлектрической активности головного мозга по двум типам паттернов (по классификации И.А. Святогор [12]) – таламическому и стволовому. Более высокая эффективность ТМС, подтвержденная как регрессом клинической симптоматики, так и уродинамическими улучшениями, отмечена у пациенток с таламическим типом электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [13].

Важным опытом для определения зон головного мозга, которые потенциально могут быть использованы в качестве мишени для восстановления функции мочеиспускания, можно считать работу J. Krhut и соавт. (2014). В исследование были включены 23 здоровые женщины-добровольца (возраст 20–68 лет). Предварительно участниц просили сократить мышцы тазового дна, затем последовало уродинамическое исследование – несколько повторных цистометрий. Активность мозга измеряли с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии (3 Тл). В статистическую обработку вошли 120 сканирований во время сокращений тазового дна и 210 сканирований во время наполнения мочевого пузыря. Авторы выявили, что основными кластерами активации во время сокращений мышц тазового дна были медиальная поверхность лобной

доли (первичная моторная зона) и дополнительная моторная зона билатерально и левая прецентральная извилина. Во время наполнения мочевого пузыря активация была обнаружена в нижней лобной доле, граничащей с лобным поясом, левой верхней теменной извилине, левой центральной области, правом островке, стволе мозга и таламусе с подкорковыми ядрами серого вещества [14].

Надо отметить, что большинство источников данных мировой литературы посвящено применению ТМС при нейрогенных нарушениях мочеиспускания.

Так, D. Centonze и соавт. (2007) проводили рТМС восьми женщинам и двум мужчинам с рассеянным склерозом. Уродинамическими находками были детрузорная гипоактивность (ДГипо) (60% больных), детрузорная гиперактивность при детрузорно-сфинктерной диссинергии (ДГ + ДСД) (30%) и детрузорная гиперактивность в сочетании со снижением сократительной способности мочевого пузыря (ДГ + ДГипо) (10%). После лечения девять пациентов из десяти отметили субъективное улучшение оттока мочи (за исключением пациента с ДГипо). Объективно у пациентов с ДГ + ДСД не было выявлено существенных изменений при цистометрии, наблюдалось некоторое улучшение фазы опорожнения мочевого пузыря – снижение $Pdet@Q_{max}$ (с 47 до 32 см H_2O , $p = 0.11$) и объема остаточной мочи (с 190 до 20 мл, $p = 0.11$), однако цифры не достигли статистической достоверности. У пациентов с ДГипо наблюдались значительное повышение $Pdet@Q_{max}$ (с 14 до 24.5 см H_2O , $p = 0.03$), снижение объема остаточной мочи (с 175 до 22.5 мл, $p = 0.04$), небольшое увеличение Q_{max} (с 11 до 14.5 мл/с, $p = 0.06$). У пациента с ДГ + ДГипо отмечено снижение объема остаточной мочи (с 250 до 100 мл) при отсутствии изменений в фазу наполнения. Авторы считают, что при рассеянном склерозе повышение возбудимости кортикоспинального тракта с помощью возбуждающих рТМС преимущественно способствует сокращению детрузора и/или расслаблению сфинктера уретры, а не увеличению мышечной активности сфинктера. С другой стороны, у пациентов с ДСД рТМС оказывала незначительный эффект, хотя некоторое снижение $Pdet@Q_{max}$, по-видимому, предполагает лучшее расслабление сфинктера уретры. Исследователи подчеркивали, что различные протоколы рТМС (низкая частота, мишень для стимуляции) могут давать разные результаты [15].

Чуть позже, в 2016 г., субъективное улучшение мочеиспускания у больных рассеянным склерозом после проведения рТМС отметили и российские неврологи [16].

В 2022 г. вышла интересная американская работа R. Khavari и соавт., посвященная использованию транскраниального вращающегося стимулятора, создающего постоянное магнитное поле (Transcranial Rotating Permanent Magnet Stimulator), для лечения нарушений мочеиспускания у женщин с рассеянным склерозом. На начальном этапе исследователи для индивидуального подбора зон стимуляции головного мозга всем пациенткам проводили функциональную МРТ одновременно с видеоуродинамическим исследованием в трех циклах акта мочеиспускания. В протокол были включены больные с объемом остаточной мочи более 40% от исходного наполнения мочевого

пузыря (часть из них проводили самокатетеризацию). В дальнейшем для контроля за параметрами микций проводился урофлоумониторинг. Спустя 10 сеансов (на протяжении двух недель) авторы приводят данные об увеличении максимальной скорости потока мочи и статистически значимом снижении объема остаточной мочи. С неврологической точки зрения, в данном труде описаны зоны мозга, на которые может быть направлена ТМС для улучшения мочеиспускания. Однако с точки зрения урологов, недостатками работы является то, что не были описаны уродинамические находки, а урофлоуметрия не позволяет различить гипоактивность детрузора и инфравезикальную обструкцию. Остается неясным, за счет чего улучшалось опорожнение мочевого пузыря, и было ли это безопасным. Мы считаем, что данные работы заложили фундамент для дальнейших исследований [17, 18].

L. Brusa и соавт. (2009) применили рТМС у восьми пациентов с болезнью Паркинсона с флюктуациями. Всем пациентам проводили комплексное уродинамическое исследование до начала и через неделю после окончания курса стимуляции в одно и то же время (утром), после приема стандартных противопаркинсонических медикаментов. Субъективно все пациенты отметили улучшение симптомов гиперактивного мочевого пузыря (снижение баллов ирритативного домена шкалы IPSS). Объективно уродинамические параметры показали статистически значимое увеличение объема мочевого пузыря при первом позыве и максимальной цистометрической емкости. Также было отмечено снижение уровня фазовой детрузорной гиперактивности, однако показатели не достигли статистической достоверности. Кроме этого, давление детрузора при максимальном потоке ($P_{det@Q_{max}}$) не изменилось. Авторы подчеркивают, что применение низкочастотной рТМС на зону «горячей точки» тазового дна является эффективным, неинвазивным альтернативным методом лечения гиперактивного мочевого пузыря у пациентов с болезнью Паркинсона с флюктуациями [19].

Применение ТМС при сексуальных дисфункциях

В 2016 г. R. McMullen и S. Agarwal описали клинический случай лечения стойкого расстройства генитального возбуждения (СРГВ) посредством ТМС. СРГВ – редкий синдром чрезмерного и непрекращающегося сексуального возбуждения при отсутствии сознательного чувства сексуального желания. Как правило, возбуждение не проходит при обычном оргазмическом ощущении. В тяжелой степени это может привести к суицидальным мыслям. Пациентка 29 лет жаловалась на наличие постоянных нежелательных генитальных ощущений и предчувствие неминуемого оргазма без сексуального желания, мыслей или фантазий. Со слов пациентки, она испытывала примерно 50 спонтанных оргазмов в день, которые были чрезвычайно неприятными, вызывающими чувство вины. Сопутствующими заболеваниями были хроническая тазовая боль/интерстициальный цистит и тревожно-депрессивное расстройство с суицидальными мыслями. Больная получала лекарственную терапию, включая габапентин, сертралин, дулоксетин и гидроксизин, однако эффекта не отмечала. Блокада пудендального нерва

оказалась безрезультативной. Было проведено 50 сеансов ТМС (в разных режимах) на протяжении трех месяцев. Балл по шкале оценки депрессии Монтгомери – Осберга (MADRS) уменьшился с 32 до 16. Тазовая боль и СРГВ были практически в стадии ремиссии. Спонтанные оргазмы полностью прекратились. Через два месяца отмечен рецидив тревожно-депрессивного расстройства и хронической тазовой боли. Тем не менее СРГВ оставалось в стадии ремиссии. Авторы делают вывод, что ТМС может быть многообещающим методом лечения при физических и психологических симптомах, связанных с СРГВ, однако подчеркивают, что преждевременно рекомендовать ТМС в качестве первой линии терапии [20].

Применение ТМС при тазовой боли

На фоне большого количества публикаций, посвященных роли рТМС в лечении различных болевых синдромов, число работ, связанных с хронической тазовой болью, достаточно ограничено. Наиболее значимыми являются исследования M. Cervigni (2018) по изучению синдрома болезненного мочевого пузыря/интерстициального цистита, Ю.А. Аносовой (2022) – миофасциального синдрома и J. Nikkola – хронической тазовой боли/хронического простатита.

В 2018 г. M. Cervigni и соавт. опубликовали результаты рандомизированного двойного слепого перекрестного исследования, контролируемого фиктивной стимуляцией. Под наблюдением находились 15 женщин с синдромом болезненного мочевого пузыря/интерстициальным циститом, нейропатической болью, не поддающейся фармакологическому лечению. Сеансы реальной стимуляции рТМС или плацебо- (sham-) стимуляции в зависимости от группы исследования проводили в течение двух недель (пять дней подряд с двухдневным перерывом). После шестинедельного перерыва с мониторингом данных пациентки из группы реальной рТМС перешли в плацебо-группу и наоборот. Эффективность оценивали с помощью опросников боли, депрессии, качества жизни и нарушения мочеиспускания. Статистический анализ выявил значимый положительный эффект реальной рТМС по сравнению с плацебо-рТМС. У пациенток, которые проходили фазу реальной стимуляции, после первой недели лечения было отмечено значимое снижение боли в баллах по ВАШ ($p = 0.001$). При этом эффект сохранялся до шести недель.

При анализе шкалы микционной гиперактивности после третьей недели стимуляции было отмечено улучшение в виде достоверного снижения баллов ($p = 0.014$). Общая оценка урологических симптомов показала значимую разницу в группах реальной и плацебо-ТМС ($p = 0.049$). Было зафиксировано выраженное улучшение функции опорожнения мочевого пузыря (по данным УЗИ) после второй недели лечения рТМС ($p = 0.031$) и после третьей недели ($p = 0.049$) по сравнению с исходными данными.

В фазу плацебо-стимуляции изменений боли и симптомов гиперактивности мочевого пузыря отмечено не было, как и серьезных нежелательных явлений.

В итоге авторы сделали выводы, что рТМС моторной коры с частотой 20 Гц способна изменить субъектив-

ное восприятие болевого синдрома мочевого пузыря в течение как минимум трех недель [21].

Позитивный эффект рТМС при синдроме болезненного мочевого пузыря также отмечен и другими исследователями [22, 23].

В пилотном исследовании Ю.А. Аносовой (2022) у 28 пациентов с миофасциальным болевым синдромом тазового дна и симптомами нижних мочевых путей сравнивали эффективность лечения только миорелаксантами центрального действия и в сочетании с рТМС. Оценку эффективности проводили по шкале IPSS (International Prostate Symptom Score), урофлоуметрии с УЗИ мочевого пузыря (объема остаточной мочи), ЭМГ тазового дна во время мочеиспускания. Исследователи показали большую эффективность в группе комбинированного лечения (миорелаксанты в сочетании с рТМС), сделав вывод о том, что рТМС, снижая гипертонус тазового дна, способствует восстановлению параметров уродинамики [24].

В 2020 г. J. Nikkola и соавт. [25] в проспективном пилотном исследовании проанализировали эффективность и безопасность рТМС у 11 пациентов с хроническим простатитом (ХП)/синдромом хронической тазовой боли (СХТБ), медикаментозная терапия у которых не имела успеха. Процедуру выполняли ежедневно в течение пяти дней по 20 минут. Оценочными показателями стали опросники: выраженности боли (числовая оценочная шкала – Numerical Rating Scale, NRS), индекс симптомов хронического простатита Национального института здоровья – National Institute of Health Chronic Prostatitis Symptom Index, NIH-CPSI, симптомов мочеиспускания NIH-CPSI, Датская шкала симптомов предстательной железы – Danish Prostatic Symptom (DAN-PSS-1), качества жизни (Short Form Medical Outcomes Study, NIH-CPSI, SF-36) и шкала депрессии Бека. Полученные результаты анализировали исходно, после лечения и через одну, четыре, восемь и 12 недель по завершении последнего сеанса.

Субъективный положительный ответ на лечение был зарегистрирован у 9 (82%) мужчин, 6 (55%) наблюдаемых снизили дозы и кратность приема обезболивающих препаратов. Средний балл болевой симптоматики по сравнению с исходным уровнем сразу после лечения снизился на 1.2 пункта ($p = 0.019$), через одну неделю – на 1.4 ($p = 0.006$) и через восемь недель – на 0.8 пункта ($p = 0.042$). Домен боли в опроснике хронического простатита снизился со среднего значения с 15.0 баллов исходно до 13.2 после лечения ($p = 0.066$) и через одну неделю после сеансов составил 12.9 ($p = 0.037$). Общий балл по опроснику хронического простатита уменьшился с 30.3 до 26.2 после лечения ($p = 0.021$) и до 27.2 через неделю после проведения рТМС ($p = 0.056$). Однако спустя 12 недель отмечалось медленное увеличение данного показателя до 28.7 балла.

Средний балл симптомов мочеиспускания в шкале хронического простатита составил 6.3 на начальном этапе и 4.9 после терапии (снижение на 1.4 балла, $p = 0.02$). Далее статистически значимых изменений отмечено не было. При оценке данных по шкале депрессии Бека существенной динамики не наблюдалось. Ни у одного из пациентов не наблюдалось значимых побочных эффектов.

J. Nikkola и соавт. сделали выводы, что рТМС имеет умеренно выраженный эффект в облегчении болевого синдрома при хроническом простатите/СХТБ. Важно отметить, что исследование ограничено отсутствием контрольной группы и небольшой выборкой пациентов [25].

В таблице 1 представлены данные по методикам применения рТМС.

Заключение

рТМС как неинвазивный немедикаментозный метод представляется перспективным для применения в урологии. Электромагнитное воздействие на головной мозг позволяет модулировать работу центральной нервной системы, что открывает новые возможности терапии функциональных урологических нарушений как нейрогенной (болезнь Паркинсона, рассеянный склероз), так и идиопатической природы. Для дальнейшего уточнения эффективности и расширения показаний к применению рТМС в урологии необходимо проведение более крупных качественных контролируемых исследований.

Литература

1. Barker A.T. et al. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex // *Lancet*. – 1985. – V. 325. – № 8437. – P. 1106–1107.
2. Wassermann E.M. Risk and safety of repetitive transcranial magnetic stimulation: report and suggested guidelines from the International Workshop on the Safety of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, June 5–7, 1996 // *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. – 1998. – V. 108. – № 1. – P. 1–16.
3. Williams L.P. Michael Faraday: a biography. – New York: Basic Books. – 1965. – 531 p.
4. Valentinuzzi M.E. et al. James Clerk Maxwell, Kirchhoff's Laws, and their implications on modeling physiology // *IEEE pulse*. – 2013. – V. 4. – № 2. – P. 40–46.
5. Максвелл Д.К. Трактат об электричестве и магнетизме. – М.: Наука. – 1989. [Maxwell D.K. A tractate of electricity and magnetism. – Moscow: Nauka. – 1989. In Russian].
6. Rossini P.M. et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an IFCN Committee // *Clin Neurophysiol*. – 2015. – V. 126. – № 6. – P. 1071–1107.
7. Valero-Cabré A. et al. Transcranial magnetic stimulation in basic and clinical neuroscience: a comprehensive review of fundamental principles and novel insights // *Neurosci Biobehav Rev*. – 2017. – V. 83. – P. 381–404.
8. Burke M.J. et al. Transcranial magnetic stimulation: neurophysiological and clinical applications // *Handb Clin Neurol*. – 2019. – V. 163. – P. 73–92.
9. Lefaucheur J.P. et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): an update (2014–2018) // *Clin Neurophysiol*. – 2020. – V. 131. – № 2. – P. 474–528.

Таблица 1

Методики применения рТМС

№ п/п	Авторы, год	Патология	Количество пациентов	Частота	Область головного мозга	Продолжительность	Сроки стимуляции	Наличие плацебо- (sham-) стимуляции	Методы оценки эффективности
Влияние на нижние мочевые пути									
1	Centonze D. и соавт., 2007	Рассеянный склероз	10	5 Гц	Первичная моторная кора	20 серий из 50 стимулов, серии по 10 секунд, разделенные 40-секундной паузой. Всего 1000 импульсов. 16 минут	Пять дней подряд две недели	Нет	Опросники УЗИ мочевого пузыря КУДИ
2	Неймарк А.И. и соавт., 2007	ГМП	30	1–12 Гц	От височной доли головы к затылочной одновременно и синхронно с обеих сторон (битемпоральная методика)	10 минут (частоту ежедневно увеличивали на 1 Гц, начиная с минимального значения)	10 дней подряд	Нет	Опросники УЗИ мочевого пузыря КУДИ ЭЭГ
3	Brusa L. и соавт., 2009	Болезнь Паркинсона	8	1 Гц	Первичная моторная кора	900 стимулов	Пять дней подряд две недели	Нет	Опросники УЗИ мочевого пузыря КУДИ
4	Коржова Ю.Е., 2016	Рассеянный склероз	22 (10 пациентов – ТМС, 12 пациентов – iTBS)	ТМС – 10 Гц iTBS – 5 Гц	Точку стимуляции определяли по максимальной амплитуде вызванного моторного ответа во время произвольного мышечного сокращения	1) ТМС: 4 секунды стимуляция, 26 секунд покой, суммарное количество стимулов в сессии – 1600 2) стимуляция интермиттирующими тета-вспышками (iTBS): каждая вспышка состоит из трех стимулов с частотой 35 Гц, общее количество стимулов в сессии – 1200	Пять дней подряд две недели (10 сеансов)	Нет	Опросники
5	Khavari R. и соавт., 2022; Jang Y. и соавт., 2022	Рассеянный склероз	10	0.2 Гц	Стимуляция зон мочеиспускания, ингибирование зон, участвующих в сокращении тазового дна	40 минут (480 стимулов) для возбуждения и десять минут (120 импульсов) для торможения. Каждый импульс длился 100 мс	10 сеансов в течение двух недель	Нет	Опросники УЗИ мочевого пузыря фМРТ КУДИ
Влияние на сексуальную функцию									
6	McMullen R. и соавт., 2016	Нейропатическая боль с симптомами стойких нежелательных генитальных ощущений и навязчивым оргазмом	1	1 Гц	Первый курс – на 1 см латеральнее макушки. Второй курс – на правую ДЛПФК	Девять процедур – 2000 импульсов с каждой стороны, всего 4000 импульсов. Затем – 50 процедур в двух местах по 1200 импульсов, всего 2400 импульсов	Пять дней подряд в течение трех месяцев	Нет	Опросники
Влияние на хроническую тазовую боль									
7	Nizard J. и соавт., 2018	Синдром болезненного мочевого пузыря	1	1 Гц	ДЛПФК: первый курс на правом полушарии, второй курс на левом полушарии	Первый курс: один ежедневный сеанс в течение пяти дней, затем один еженедельный сеанс в течение пяти недель. Второй курс на левом полушарии (один сеанс в месяц в течение шести месяцев)	Пять дней подряд семь месяцев	Нет	Опросники
8	Cervign M. и соавт., 2018	Синдром болезненного мочевого пузыря/интерстициальный цистит и нейропатическая боль	15	20 Гц	Первичная моторная кора: на 3 см ниже области моторной коры, на зону, соответствующую области таза, расположенную глубоко в медиальной щели	20 минут; 30 последовательных серий из 50 импульсов, 30-секундные интервалы	Пять дней подряд две недели	Да	Опросники УЗИ мочевого пузыря
9	Nikkola J. и соавт., 2020	СХТБ/ХП	11	10 Гц	Левая и правая моторная кора в местах, соответствующих области таза. Рукоятка катушки была направлена назад и параллельно средней линии	20 минут. Всего 1500 импульсов (на каждую сторону по 750 импульсов): пять секунд стимуляция, 26-секундные интервалы	Пять дней подряд две недели	Нет	Опросники
10	Yani M.S. и соавт., 2019	СХТБ: три женщины с СХТБ/СБМП трое мужчин с СХТБ/ХП	6	Первый протокол – 10 Гц Второй протокол – 1 Гц, промежуток в одну неделю	Дополнительная моторная область коры	Первый протокол (высокоинтенсивная ТМС): двадцать 10 Гц секундных импульсов со скоростью 10 импульсов в секунду с 50-секундной паузой (всего 2000 импульсов). Второй протокол (низкоинтенсивная ТМС): непрерывная подача одного импульса в секунду (всего 2000 импульсов)	Пять дней стимуляция, одна неделя промежуток, пять дней стимуляция	Нет	ЭМГ фМРТ

Примечание. КУДИ – комплексное уродинамическое исследование; ГМП – гиперактивный мочевой пузырь; фМРТ – функциональная магнитно-резонансная томография; ДЛПФК – дорсолатеральная префронтальная кора; СБМП – синдром болезненного мочевого пузыря.

10. Бакулин И.С. и др. Перспективы развития терапевтической транскраниальной магнитной стимуляции // Нервные болезни. – 2021. – № 4. – С. 3–10. [Bakulin I.S. et al. Prospects for the development of therapeutic transcranial magnetic stimulation // Nervous diseases. – 2021. – № 4. – P. 3–10. In Russian].
11. Vacher P. et al. Intérêt de la stimulation transcrânienne dans les troubles pelvi-périnéaux // Progrès en Urologie. – 2019. – V. 29. – № 7. – P. 349–359.
12. Святогор И.А. Классификация ЭЭГ-паттернов и их нейрофизиологическая интерпретация при дезадаптационных расстройствах // Биологическая обратная связь. – 2000. – № 2 (3). – С. 10–19. [Svyatogor I.A. Classification of EEG patterns and their neurophysiological interpretation in maladaptation disorders // Biologicheskaya obratnaya svyaz. – 2000. – № 2 (3). – P. 10–19. In Russian].
13. Неймарк А.И. и др. Влияние транскраниальной магнитотерапии на электроэнцефалографические показатели у женщин с гиперактивным мочевым пузырем // Урология. – 2007. – № 5. – С. 40–44. [Neimark A.I. et al. Effects of transcranial magnetotherapy on electroencephalographic parameters in females with overactive urinary bladder // Urologiia. – 2007. – № 5. – P. 40–44. In Russian].
14. Krhut J. et al. Brain activity during bladder filling and pelvic floor muscle contractions: a study using functional magnetic resonance imaging and synchronous urodynamics // Int J Urol. – 2014. – V. 21. – № 2. – P. 169–174.
15. Centonze D. et al. Effects of motor cortex rTMS on lower urinary tract dysfunction in multiple sclerosis // Multiple Scler J. – 2007. – V. 13. – № 2. – P. 269–271.
16. Коржова Ю.Е. и др. Применение транскраниальной магнитной стимуляции в лечении синдрома спастичности при вторично-прогрессирующем рассеянном склерозе // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2016. – Т. 93. – № 5. – С. 8–13. [Korzhova J.E. et al. The application of high-frequency and iTBS transcranial magnetic stimulation for the treatment of spasticity in the patients presenting with secondary progressive multiple sclerosis // Questions of balneology, physiotherapy and therapeutic physical culture. – 2016. – V. 93. – № 5. – P. 8–13. In Russian].
17. Khavari R. et al. Noninvasive, individualized cortical modulation using transcranial rotating permanent magnet stimulator for voiding dysfunction in women with multiple sclerosis: a pilot trial // J Urol. – 2022. – V. 207. – № 3. – P. 657–668.
18. Jang Y. et al. Predictors for outcomes of noninvasive, individualized transcranial magnetic neuromodulation in multiple sclerosis women with neurogenic voiding dysfunction // Continence. – 2022. – V. 4. – P. 100517.
19. Brusa L. et al. Effects of inhibitory rTMS on bladder function in Parkinson's disease patients // Mov Disord. – 2009. – V. 24. – № 3. – P. 445–447.
20. McMullen R., Agarwal S. Persistent genital arousal disorder – case report of symptomatic relief of symptoms with transcranial magnetic stimulation // J ECT. – 2016. – V. 9. – № 5. – P. e8.
21. Cervigni M. et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation for chronic neuropathic pain in patients with bladder pain syndrome/interstitial cystitis // Neurourol Urodyn. – 2018. – V. 37. – № 8. – P. 2678–2687.
22. Nizard J. et al. Long-term relief of painful bladder syndrome by high-intensity, low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation of the right and left dorsolateral prefrontal cortices // Front Neurosci. – 2018. – V. 12. – P. 925.
23. Yani M.S. et al. Motor cortical neuromodulation of pelvic floor muscle tone: potential implications for the treatment of urologic conditions // Neurourol Urodyn. – 2019. – V. 38. – № 6. – P. 1517–1523.
24. Аносова Ю.А. и др. Транскраниальная магнитная стимуляция в лечении миофасциального болевого синдрома тазового дна в сочетании с симптомами нижних мочевых путей. – М. – 2022. – С. 253. [Anosova Yu.A. et al. Transcranial magnetic stimulation in the treatment of myofascial pelvic floor pain syndrome in combination with lower urinary tract symptoms. – Moscow. – 2022. – P. 253. In Russian].
25. Nikkola J. et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation for chronic prostatitis/chronic pelvic pain syndrome: a prospective pilot study // Int Neurourol J. – 2020. – V. 24. – № 2. – P. 144.

*Конфликт интересов отсутствует.
Исследование не имело спонсорской поддержки.*