

КАФЕДРА ПСИХИАТРИИ, НАРКОЛОГИИ И ПСИХОТЕРАПИИ

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИССЛЕДУЕМОМ МЕТОДЕ

ТЕМА НАУЧНОЙ РАБОТЫ:

«Применение транскраниальной магнитной стимуляции в комплексном лечении пациентов с труднокурабельными депрессивными расстройствами при болезни Паркинсона»

Транскраниальная магнитная стимуляция

История

Первые шаги в применении магнитного поля для лечения заболеваний ЦНС были сделаны в 1902г. двумя психиатрами *А. Полачеком* и *Б. Биром*. Ученые зарегистрировали патент на электромагнитный прибор, используемый для лечения депрессии и неврозов. Новый метод лечения Полачека и Бира предполагал, что магнитное поле способно благоприятно воздействовать на функции головного мозга путём его механического сдвига.

Следующий шаг к становлению современной ТМС был предпринят в 1985 году, когда *А.Т. Баркер, Р. Джалинус и И.Л. Фристон* опубликовали результаты своего исследования под названием «Неинвазивная магнитная стимуляция моторной коры головного мозга человека».³ В статье описано возникновение мышечного сокращения в результате магнитной стимуляции моторной коры головного мозга. Уже тогда возникла мысль о применении магнитной стимуляции головного мозга для определения состояния проводящих путей и связей между различными структурами головного мозга при различных заболеваниях (например, при демиелинизирующих патологиях ЦНС).

Дальнейшие исследования новой неинвазивной методики позволили сделать ряд открытий в области терапии психиатрических и неврологических заболеваний. *Р. Бикфорд и М.Гвиди* осуществили магнитную стимуляцию периферических нервов и головного мозга человека, обнаружив улучшение настроения у ряда исследуемых после воздействия на головной мозг одиночными магнитными стимулами.⁴ Вскоре, в 1995 г. *М. Джордж* с коллегами опубликовали результаты ежедневно повторяющейся ТМС у страдающих депрессией. Оказалось, если ритмически воздействовать на левый дорсолатеральный префронтальный кортекс, то эмоциональное состояние больных депрессией значительно улучшается и заболевание может выйти в стадию длительной ремиссии.⁵ В том же году была опубликована работа *А. Паскуаль-Леоне*, посвящённая возможностям применения ТМС

при болезни Паркинсона. Так было выяснено, что ТМС способствует уменьшению акинезии при паркинсонизме.⁶⁷

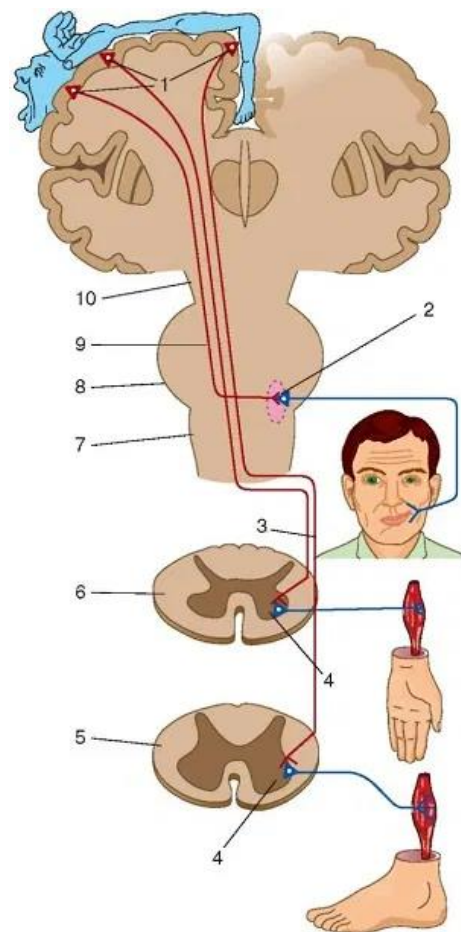
На сегодняшний день исследования возможностей метода ТМС продолжают. В последние годы исследуются результаты терапии с помощью ТМС при обсессивно-компульсивном расстройстве, невралгии тройничного нерва, аутизме и многих других патологиях.⁸⁹¹⁰¹¹

Принцип метода

Схема корково-мышечного пути

1 - центральные (верхние двигательные нейроны) двигательный нейроны (гигантопирамидальной коры прецентральной извилины головного мозга); 2 - ядро лицевого нерва (периферический мотонейрон к нижней мимической мускулатуре); 3 - корково-спинномозговой путь (пирамидная система); 4 - периферические нижние двигательные нейроны (α -мотонейроны передних рогов спинного мозга); 5 - сегмент поясничного утолщения; 6 - сегмент шейного утолщения; 7 - продолговатый мозг; 8 - мост мозга; 9 - корково-ядерный путь; 10 - ножка мозга

ТМС участков моторной коры головного мозга вызывает сокращение скелетных мышц. Исследование проведения возникшего импульса проводится как в участках стимулируемой коры, так и в мышцах, имеющих в них представительство. Генерация импульса в нервной ткани – результат деполяризации мембраны нейрона и формирования потенциала действия. Нейрон, располагающийся в моторной коре головного мозга считается первым.



Вызванное ТМС возбуждение первого нейрона пирамидной системы проводится по кортикоспинальному тракту и передается второму нейрону пирамидной системы, тело которого располагается в передних рогах серого вещества спинного мозга. Возбуждение от второго нейрона через передний корешок спинного мозга проводится в периферический нерв и вызывает сокращение иннервируемой им мышцы.

Далее результаты фиксируются электромиографом и выводятся на экран компьютера в виде кривых, отражающих значение **вызванного моторного**

ответа (ВМО). ВМО отражает возбудимость нервных клеток в точке стимуляции, скорость распространения возбуждения по проводящим моторным путям, возбудимость мотонейронов и миоцитов, соответствующих участку стимулируемой коры мышц, а также равномерность движения вызываемого импульса.¹²

Возможно распространение возбуждения от второго нейрона, в случае магнитной стимуляции участков спинного мозга (сегмент поясничного или шейного утолщения). ВМО при этом регистрируется так же.

Регистрация ВМО необходима для диагностики целостности, возбудимости, проводимости нейронов и проводящих путей и не является обязательным компонентом ТМС. В случае терапевтической ТМС, цель сеанса – достижение положительного биологического эффекта за счёт стимуляции нервных структур.

Методика проведения

Подготовка к процедуре

Перед проведением ТМС необходимо узнать у пациента, проводилась ли процедура ранее и имела ли негативные последствия, побочные эффекты, а также выяснить анамнез жизни и заболевания, включая семейный анамнез. Узнать, имеются ли на текущий момент судорожные синдромы, припадки, головные боли, аневризмы сосудов и опухоли головного мозга, острые инфекционные заболевания, присутствуют ли какие-либо металлические протезы и импланты, водители сердечного ритма. Стоит спросить у пациента о текущей фармакотерапии, в частности лечении антиконвульсантами и другими препаратами, снижающими возбудимость мембраны нейронов. У женщин определить наличие беременности, выяснить её сроки.

Необходимо убедить пациента отказаться от тяжелых физических нагрузок, распития алкогольных напитков, курения накануне проведения ТМС. Не рекомендуется приём препаратов без ведома лечащего врача. При необходимости перед проведением ТМС проводятся дополнительные исследования по направлению врача.¹³

Проведение процедуры

Перед началом процедуры ТМС пациента усаживают в удобное для него сидячее положение на кресло. У пациентов, соблюдающих строгий постельный режим, можно приподнять головной конец функциональной кровати, создав положение полусидя.¹⁴

Далее, в зависимости от целей процедуры, на определенные участки тела накладываются (или закрепляются на небольшом расстоянии) магнитные индукторы (койлы). Возможно проведение магнитной стимуляции как головного, так и спинного мозга, при этом регистрируемый показатель ВМО

с моторных зон коры головного мозга называется кортикальным, а с областей спинного мозга – сегментарным. Так, для оценки кортикального ВМО койлы накладывают по проекции моторных зон коры головного мозга, а для оценки сегментарного ВМО – над шейным и поясничным утолщениями спинного мозга. При этом, сам ВМО в обоих случаях регистрируется с мышц, имеющих представительство в участке, подвергнутому стимуляции.

При проведении ТМС стоит учитывать, что проведение импульса по удаленным от корковых зон участкам (ипси- и контралатеральная премоторная кора, дополнительная моторная кора, ипсилатеральная соматосенсорная кора, мозжечок, таламус, хвостатые ядра билатерально) несколько замедленно в связи с циркуляцией возбуждения по мультисинаптическим цепям при проведении ТМС. При этом, физиологически, скорость формирования импульса при произвольном движении в описанных структурах, не отличается от скорости формирования импульсов в моторной коре.¹⁵ Таким образом, при проведении ТМС описанных выше участков не следует воспринимать замедленное проведение импульса как патологическое явление.

Средняя длительность проведения ТМС составляет от 30 минут до 1 часа. При этом стоит следить за ощущениями пациента, они не должны быть болезненными. Возможно возникновение чувства “проскакивающего тока”.

Курс лечения ТМС и интенсивность магнитного поля подбирается индивидуально лечащим врачом в зависимости от имеющейся патологии, цели лечения и достижения клинического эффекта.¹⁶

Устройство и работа магнитного стимулятора

Транскраниальный магнитный стимулятор Нейро МС/Д

1 - основной блок; 2 - модуль охлаждения; 3 - модуль пополнения; 4 - кронштейн для индуктора; 5 - программное обеспечение

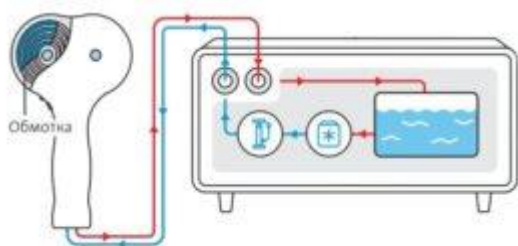
Аппарат для проведения ТМС состоит из трёх основных частей: системы конденсаторов высокого напряжения (более 3,5 кВ) и большой силы тока, катушки (койла) и блока управления.¹⁷¹⁸ Имеются дополнительные технические элементы обеспечивающие комфортное проведение процедуры и исправную работу магнитного стимулятора: модуль охлаждения аппарата, рукоятка (кронштейн) для фиксации катушки, программное обеспечение.



- **Основной блок** – основа системы. Его передняя панель содержит элементы управления и показатели, отражающие параметры

работы стимулятора. Возможно подключение к компьютеру через кабель USB. Основной блок может работать с частотой до 30 Гц; максимальная индукция осуществляется на частоте до 5–7 Гц;

- **Модуль охлаждения** – представляет собой жидкостную систему охлаждения. С помощью модуля охлаждения сеанс ведется гораздо быстрее, без необходимости перерывов для обмена или охлаждения катушки во время сессии или между пациентами. Охлаждающая жидкость не заполняет индуктор, а движется по обмотке, отводя тепловую энергию от места ее образования;



Работа модуля охлаждения

- **Модуль пополнения** – дополнительный блок питания увеличивает максимальную частоту стимуляции до 100 Гц, а частоту максимальной индукции — до 20–25

Гц. Использование модуля пополнения дает возможность проводить theta-burst-стимуляцию (TBS), при которой сеанс значительно короче обычной ТМС;

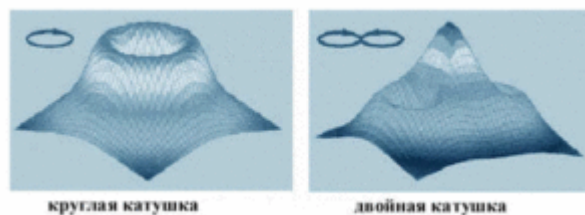
- **Кронштейн для индуктора** – позволяет удерживать индуктор в одном и том же положении относительно головы пациента в течение всего сеанса;
- **Программное обеспечение** – программа «нейро-МС.NET». Программное обеспечение с помощью компьютера обеспечивает контроль базы данных пациентов, управление курсами и сеансами, проведение стимуляции по существующим программам и создание собственных программ для проведения ТМС.

Виды индукторов:

Кольцевой индуктор – имеет диаметр катушки 150 мм. Применяют для периферической стимуляции мышц и кортикальной билатеральной стимуляции. Подходит для периферической стимуляции в урологии и колопроктологии;



Индуктор-восьмёрка



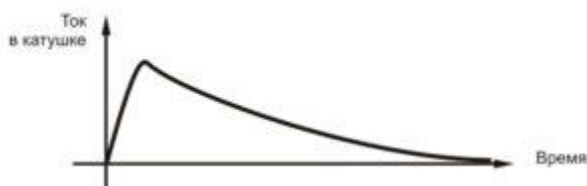
Распределение магнитного поля в кольцевом индукторе и индукторе-восьмёрке

Угловой индуктор-восьмёрка – имеет диаметр катушек по 100 мм. Имеет анатомическую форму, соответствующую форме головы. Используется для глубокой кортикальной стимуляции.

Принцип работы магнитного стимулятора заключается в генерации системой конденсаторов тока, передающейся на катушки, с последующим формированием в них магнитного поля (до 2,2 Тесла). В результате, в нервных тканях формируется собственный электрический импульс, проходящий через проводящие пути от стимулируемых корковых структур к тканям и мышцам, имеющим в них представительство.²¹

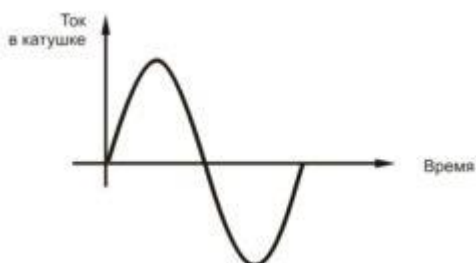
Стоит отметить, что магнитные стимуляторы в зависимости от цели проведения ТМС, способны генерировать разные типы стимулов:

- **Монофазный стимул** – ток в индукторе при этом стимуле течёт в одном направлении, нарастая по синусоидальному закону и спадая по экспоненте;



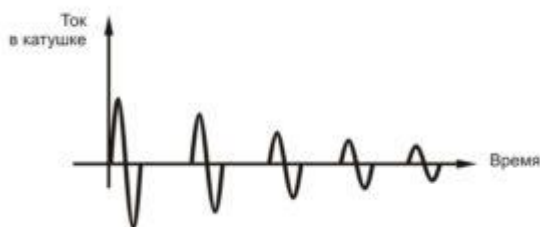
Монофазный стимул

- **Бифазный стимул** — ток в индукторе при этом стимуле характеризуется одним периодом затухающей синусоиды;



Бифазный стимул

- **Бифазный burst стимул** — стимуляция, при которой выдается серия бифазных стимулов с высокой частотой (до 100 Гц) и убывающей амплитудой;



Burst-стимул

- **Парный монофазный стимул** — два стимула с заданным межстимульным интервалом и амплитудой, задаваемой независимо для каждого стимула.



Парный монофазный стимул

Таким образом, на сегодняшний день создан ряд магнитных стимуляторов, отвечающих разным требованиям и

целям проведения ТМС.²⁵

Линейка магнитных стимуляторов от компании “Нейрософт”

Кроме магнитных стимуляторов от компании “Нейрософт” широко применяют стимуляторы от компании “MagVenture”: MagPro R100, MagPro R30, MagPro x100.²⁶²⁷²⁸ Магнитные стимуляторы данной линейки отличаются по показателям максимальной частоты стимуляции и формам импульса в зависимости от целей ТМС. Принцип действия и строение аппаратов тот же, что и в описании выше. Данные аппараты работают без специфического программного обеспечения на базе встроенного компьютера, имеющего всё необходимое для отслеживания показателей и хранения результатов при ТМС.

MagPro X100 MagPro R30



MagPro R100



Применение

ТМС применяют в трёх основных направлениях:

- нейрореабилитация после черепно-мозговой травмы, инсульта и оперативных вмешательств на головном мозге, в частности для коррекции остаточных неврологических нарушений (афазия, апраксия, дизартрия, аграфия, алексия)
- лечение неврологических и психических заболеваний
- диагностика нарушений нервно-мышечной проводимости

Нередко ТМС применяют для коррекции нарушений развития нервной системы у детей:

- детская афазия, алалия, дизартрия, логоневроз, задержка речевого развития
- задержка психического развития
- расстройства аутистического спектра
- детский церебральный паралич

Показания и противопоказания, побочные эффекты

Проведение ТМС с **лечебной и восстановительной** целью проводится при следующей патологии^{31 32}.

- последствия черепно-мозговой и спинальной травмы;
- нарушение мозгового и спинального кровообращения, сопровождающееся моторными нарушениями;
- демиелинизирующие заболевания (рассеянный склероз, полинейропатия Гийена-Барре);
- нейродегенеративные заболевания (боковой амиотрофический склероз, болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона);
- врожденная патология ЦНС (детский церебральный паралич, последствия перинатальной гипоксии);
- психические расстройства (депрессия, обсессивно-компульсивное расстройство, шизофрения);
- нарушения развития ЦНС у детей (расстройства аутистического спектра, афазия, дизартрия, алалия и др).

ТМС с **диагностической целью** показана для регистрации следующих показателей:

- проводимости центральных и периферических нейронных путей;
- кортикальной возбудимости и пластичности моторных зон головного мозга;
- вызванного моторного ответа;
- времени корешковой задержки.

Противопоказаниями к проведению ТМС является:³³

- Наличие магнитных имплантов (помпы для поставки лекарственных средств, металлоконструкции, допустимо наличие кардиостимулятора и электродов для глубокой мозговой стимуляции);
- Судорожные синдромы и припадки;
- Аневризмы сосудов и опухоли головного мозга;
- Острые инфекционные заболевания;
- Негативные последствия ранее проведенных процедур ТМС (головные боли, тошнота, рвота, головокружения и другие побочные реакции);
- Тяжелая патология сердца;
- Беременность;
- Возраст до 3-х лет.

Ссылки

- 1) Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы. Руководство для врачей. Под ред. Никитина С.С., Куренкова А.Л. Издательство М.: САШКО; 2003.
- 2) Wassermann E. M. et al. Safety and side-effects of transcranial magnetic stimulation and repetitive transcranial magnetic stimulation //Handbook of transcranial magnetic stimulation. London: Arnold. — 2002. — с. 39-49.
- 3) *Barker A. T., Jalinous R., Freeston I. L.* Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex // The Lancet : журнал. — 1985. — Vol. 325, no. 8437. — P. 1106—1107.
- 4) Bickford R. G. et al. Magnetic stimulation of human peripheral nerve and brain: response enhancement by combined magnetoelectrical technique. // Neurosurgery : журнал. — 1987. — Vol. 20, no. 1. — P. 110—116.
- 5) George M. S. et al. Daily repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) improves mood in depression. // Neuroreport : журнал. — 1995. — Vol. 6, no. 14. — P. 1853—1856.
- 6) Pascual-Leone A. et al. Akinesia in Parkinson's disease. I. Shortening of simple reaction time with focal, single pulse transcranial magnetic stimulation// Neurology : журнал. — 1994. — Vol. 44, no. 5. — P. 884—884.
- 7) Pascual-Leone A. et al. Akinesia in Parkinson's disease. II. Effects of subthreshold repetitive transcranial motor cortex stimulation// Neurology : журнал. — 1994. — Vol. 44, no. 5. — P. 892—892. DOI: <https://doi.org/10.1212/WNL.44.5.892>
- 8) Jose Luis Rodriguez-Martin, José Manuel Barbanoj, V Pérez M Sacristan. Transcranial magnetic stimulation for the treatment of obsessive-compulsive disorder // Cochrane library. — John Wiley & Sons, Inc., 2003. — 22 April. — doi:10.1002/14651858.CD003387
- 9) Brain Stimulation Approved for Obsessive-Compulsive Disorder by Rebecca Voelker, MSJ in JAMA. Published September 18, 2018 – DOI: [10.1001/jama.2018.13301](https://doi.org/10.1001/jama.2018.13301)

- 10) Степанченко А.В., Мамедов Т.Р., Шаров М.Н, Савушкин А.И., Крымшаухалова С.Я. // Магнитная стимуляция в лечении обострения невралгии тройничного нерва// Боль:журнал – №3(4) – стр. 40-45// Издательство Медицинская энциклопедия (Москва)/2004г.
- 11) L.M. Oberman, P.G. Enticott, M.F. Casanova, A. Rotenberg, A. Pascual-Leone, J.T. McCracken Transcranial Magnetic Stimulation in Autism Spectrum Disorder: Challenges, Promise, and Roadmap for Future Research // Autism research: official journal of the International Society for Autism Research – 2016 Feb;9(2):184-203. doi: 10.1002/aur.1567. Epub 2015 Nov 4.
- 12) Войтенков В.Б., Mally J., Скрипниченко Н.В., Климкин А.В. Транскраниальная магнитная стимуляция как диагностическая и терапевтическая методика // Неврологический журнал 2015, т.20, №5 – стр.4-13 // ОАО Издательство: Медицина (Москва), 2015 г.
- 13) Гимранов Р. Ф. Транскраниальная магнитная стимуляция. — М.: «Аллана», 2002. — 164 с. ISBN 5-86656-115-1
- 14) Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы. Руководство для врачей. Под ред. Никитина С.С., Куренкова А.Л. Издательство М.: САШКО; 2003.
- 15) Войтенков В.Б., Mally J., Скрипниченко Н.В., Климкин А.В. Транскраниальная магнитная стимуляция как диагностическая и терапевтическая методика // Неврологический журнал 2015, т.20, №5 – стр.4-13 // ОАО Издательство: Медицина (Москва), 2015г.
- 16) Гимранов Р. Ф. Транскраниальная магнитная стимуляция. — М.: «Аллана», 2002. — 164 с. ISBN 5-86656-115-1
- 17) А.А. Сорочинский Транскраниальная магнитная стимуляция// Журнал: Известия ЮФУ. Технические науки – 2010 – №9 – стр. 207-210.
- 18) <https://kandel.com.br/equipamentos/emt/neuro-msd/>
- 19) <https://kandel.com.br/equipamentos/emt/neuro-msd/>
- 20) <https://neurosoft.com/ru/catalog/tms/neuro-msd-therapeutic#delivery>
- 21) А.А. Сорочинский Транскраниальная магнитная стимуляция// Журнал: Известия ЮФУ. Технические науки – 2010 – №9 – стр. 207-210.
- 22) Sommer M, Alfaro A, Rummel M, Speck S, Lang N, Tings T, et al. Half sine, monophasic and biphasic transcranial magnetic stimulation of the human motor cortex. Clin Neurophysiol 2006, 117: 838-44.
- 23) Valls-Solé J, Pascual-Leone A, Wassermann EM, Hallett M. Human motor evoked responses to paired transcranial magnetic stimuli. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1992 85: 355-64.
- 24) Huang YZ, Edwards MJ, Rounis E, Bhatia KP, Rothwell JC. Theta burst stimulation of the human motor cortex. Neuron 2005, 45: 201-6.
- 25) <https://neurosoft.com/ru/catalog/tms/neuro-msd-therapeutic#delivery>
- 26) <https://www.magventure.com/tms-research/products-overview/research-stimulators/stimulators/magpro-r100-4>
- 27) <https://www.magventure.com/tms-research/products-overview/research-stimulators/stimulators/magpro-x100-w-magoption>

- 28) <https://www.magventure.com/us/tms-research/products-overview/research-stimulators/stimulators/magpro-30>
- 29) Войтенков В.Б., Mally J., Скрипниченко Н.В., Климкин А.В.
Транскраниальная магнитная стимуляция как диагностическая и терапевтическая методика // Неврологический журнал 2015, т.20, №5 – стр.4-13
// ОАО Издательство: Медицина (Москва), 2015г.
- 30) А.В. Червяков, А.Г. Пойдашева, Ю.Е. Коржова, Н.А. Супонева, Л.А. Черникова, М.А. Пирадов// Ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция в неврологии и психиатрии// Журнал неврологии и психиатрии (Москва), № 12, 2015 – стр. 7-18// doi: 10.17116/jnevro20151151127-18
- 31) А.В. Червяков, А.Г. Пойдашева, Ю.Е. Коржова, Н.А. Супонева, Л.А. Черникова, М.А. Пирадов// Ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция в неврологии и психиатрии// Журнал неврологии и психиатрии (Москва), № 12, 2015 – стр. 7-18// doi: 10.17116/jnevro20151151127-18
- 32) А.А. Сорочинский Транскраниальная магнитная стимуляция// Журнал: Известия ЮФУ. Технические науки – 2010 – №9 – стр. 207-210.
- 33) Н.А. Супонева, И.С. Бакулин, А.Г. Пойдашева, М.А. Пирадов // Безопасность транскраниальной магнитной стимуляции: обзор научных рекомендаций и новые данные// Журнал: Нервно-мышечные БОЛЕЗНИ, т.7, 2' 2017 – стр.21-36// DOI: 10.17650/2222-8721-2017-7-2-21-36
- 34) А.В. Червяков, А.Г. Пойдашева, Ю.Е. Коржова, Н.А. Супонева, Л.А. Черникова, М.А. Пирадов// Ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция в неврологии и психиатрии// Журнал неврологии и психиатрии (Москва), № 12, 2015 – стр. 7-18// doi: 10.17116/jnevro20151151127-18