

Посттравматическое стрессовое расстройство: морфологические субстраты, нейронные сети и перспективы применения транскраниальной магнитной стимуляции

Е.Н. Исполотова, Э.Э. Цукарзи

Московский научно-исследовательский институт психиатрии – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и наркологии имени В.П. Сербского» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Представлены данные о нейрофизиологических механизмах развития посттравматического стрессового расстройства (ПТСР). Рассмотрены специфические нейropsychологические феномены, которым отводится ключевая роль в формировании ПТСР. Проведен анализ показателей эффективности терапии и приверженности пациентов к лечению при различных вариантах ПТСР в зависимости от типологии стрессового фактора. Рассмотрены результаты исследований по применению различных методик транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) при ПТСР. Структурные мишени для ТМС исследованы с позиции концепции нейронных сетей, которая представляет их специфические и последовательные функциональные нарушения во взаимосвязи со структурной локализацией.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: посттравматическое стрессовое расстройство, морфологические субстраты, нейронные сети, транскраниальная магнитная стимуляция

КОНТАКТЫ: Исполотова Елена Николаевна, elena4231@yandex.ru
Цукарзи Эдуард Эдуардович, tsukarzi.e@serbsky.ru, ORCID: 0000-0002-5443-3405

КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ: Исполотова Е.Н., Цукарзи Э.Э. Посттравматическое стрессовое расстройство: морфологические субстраты, нейронные сети и перспективы применения транскраниальной магнитной стимуляции // Современная терапия психических расстройств. – 2022. – № 3. – С. 45–49. – DOI: 10.21265/PSYPH.2022.78.73.005

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Post-Traumatic Stress Disorder: Morphological Substrates, Neural Networks and Transcranial Magnetic Stimulation Potential Benefits

E.N. Ispolatova, E.E. Tsukarzi

Moscow Research Institute of Psychiatry – Branch of the V.P. Serbsky National Medical Research Center of Psychiatry and Narcology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

SUMMARY

The review article presents data on the mechanisms of the development of post-traumatic stress disorder (PTSD). The authors considered specific neuropsychological phenomena that play a key role in the formation of PTSD symptoms. An analysis was made of indicators of the effectiveness of therapy and patients treatment adherence in various types of PTSD, depending on the typology of the stress factor. The results of studies on the use of transcranial magnetic stimulation (TMS) in PTSD are considered. Structural targets for TMS are considered from the standpoint of the concept of neural networks, which represents their specific and consistent functional impairments in relation to structural localization.

KEY WORDS: Post-traumatic stress disorder, morphological substrates, neural networks, transcranial magnetic stimulation

CONTACTS: Ispolatova Elena Nikolaevna, elena4231@yandex.ru
Tsukarzi Eduard Eduardovich, tsukarzi.e@serbsky.ruh orcid: 0000-0002-5443-3405

CITATION: Ispolatova E.N., Tsukarzi E.E. Post-Traumatic Stress Disorder: Morphological Substrates, Neural Networks and Transcranial Magnetic Stimulation Potential Benefits // Sovrem. ter. psikh. rasstrojstv [Current Therapy of Mental Disorders]. – 2022. – No. 3. – Pp. 45–49. – DOI: 10.21265/PSYPH.2022.78.73.005 [in Russian]

CONFLICT OF INTEREST: authors declare no conflict of interest.

Актуальность терапии пациентов с посттравматическим стрессовым расстройством (ПТСР) является очевидной ввиду тяжести расстройства, его хронического течения и низкой приверженности к лечению у значительной части пациентов [1]. Более того, в настоящих условиях данная задача может иметь перспективы стать одной из приоритетных для отечественной психиатрии. Известно, что сформированные симптомы ПТСР отличаются стойкостью во времени с тенденцией к хронификации течения и усложнению симптоматики за счет наложения коморбидной депрессии, тревожных, поведенческих расстройств, а также зависимости от психоактивных веществ (ПАВ) [1, 2].

Распространенность ПТСР среди населения США составляет 8–9 % [1, 3], пожизненную распространенность у взрослых оценивают в 6–7 %, 12-месячную — в 3,2 % для мужчин и 6,1 % для женщин. Крупномасштабное исследование с обобщением данных опросов взрослого населения в 26 странах в период с 2001 по 2012 г. позволило оценить среднюю распространенность ПТСР в течение жизни как 3,9 % [1]. Факторы, связанные с повышенным риском развития ПТСР, включали более молодой возраст, женский пол, неполное образование и более низкий доход. Распространенность ПТСР достигает практически драматических показателей у участников боевых действий, развиваясь почти в 25 % случаев [4, 5]. Так, у 23 % ветеранов, участвовавших в военных кампаниях в Ираке и Афганистане, выявлено ПТСР [5]. Пострадавшие в военных конфликтах гражданские лица и военные беженцы также подвержены аналогичным рискам. По данным Всемирной Организации Здравоохранения (2013, 2019), у одного из каждых 11 человек (9 %), переживших войну или другие конфликты в предыдущие 10 лет, возникнет психическое расстройство тяжелой или среднетяжелой степени [5]. С ростом частоты травмирующих ситуаций выявление ПТСР может достигать значений 48–80 % и выше [5]. Кроме того, до половины пациентов с ПТСР страдают коморбидной депрессией [6].

Алгоритмы лечебных мероприятий при ПТСР включают применение психофармакотерапии (ПФТ) и психотерапии (ПТ). Эффективность терапии первой линии выбора при ПТСР, развитие которого не связано с военными действиями, достаточно высока [7]. Вместе с тем участники и свидетели боевых действий почти в половине случаев демонстрируют низкий ответ на терапию, что принято объяснять силой данного стресса как такового. На устойчивость боевого ПТСР к лечению влияют и характерные особенности личности комбатантов: избегание, недоверие, аффективная напряженность, склонность прерывать лечение в ранние сроки. Трудности терапии тяжелых клинических вариантов ПТСР определяют необходимость поиска новых лечебных подходов [8]. Возможно, что одним из таких методов терапии может стать транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС), поскольку доступные на настоящий день данные исследований внушают определенный оптимизм и являются поводом для их представления [9].

Исследования на животных моделях, добровольцах, а также клинические исследования пациентов с диагнозом ПТСР показывают, что его формирование

связано с изменениями в нейронных сетях, ответственных за развитие и поддержание аффекта страха. Эти изменения формируются в процессе так называемого обучения и реагирования индивида на сигналы внешней опасности [2, 10]. В существующих нейropsychологических моделях ПТСР описываются два основных патологических типа реагирования на внешние угрозы:

1) сверхактивное обнаружение угроз, включая повышенное внимание и повышенную чувствительность к потенциальным угрозам;

2) неполное и замедленное угасание страха, о чем свидетельствует трудность осознания того, что прежние сигналы опасности больше не угрожают [2, 10].

На субстратном уровне «сверхактивную реакцию на угрозу» связывают с гиперактивностью миндалины и правой префронтальной коры (ПФК), а «замедление угасания страха» — с гипоактивностью гиппокампа и вентромедиальной ПФК [5]. Предполагается, что ПФК ответственна за процесс закрепления актуального опыта путем его когнитивной переработки, тогда как эмоциональная оценка значимости переживаний в наибольшей степени регулируется миндалиной [5]. К функциям гиппокампа относится соотнесение ситуации с пространственно-временными характеристиками [5]. Интенсивные переживания страха, на морфологическом уровне сопряженные с гиперактивацией миндалины, подавляют активность гиппокампа и приводят к десинхронизации процесса восприятия информации. Этим, в частности, объясняется механизм возникновения свойственных ПТСР вторжений по типу «флешбэков», когда болезненное событие прошлого всякий раз проживается заново и столь ярко, словно оно происходит в настоящем. Косвенно эту гипотезу подтверждают данные об анатомических особенностях структур головного мозга у пациентов с ПТСР: у лиц с меньшим объемом гиппокампа чаще развивается ПТСР после травматического события [3].

Нейронные цепи состоят из огромного количества взаимосвязанных нейронов, составляющих анатомические и функциональные сети мозга. При ПТСР характерны дисфункции в сети когнитивного контроля и реципрокных путях связи с сетями внимания и режима по умолчанию [10, 11]. У пациентов с ПТСР наблюдается сниженная активация дорсолатеральной префронтальной коры (ДЛПФК) наряду с ослаблением связей между ДЛПФК и передней поясной извилиной [12]. Кроме того, выявляется ослабление связей в лобно-теменной сети внимания, с этим связываются специфические нарушения внимания (ошибки «ложной тревоги» при когнитивном тестировании) [5]. В отличие от острых стрессовых расстройств при ПТСР недостаточная активация медиальной префронтальной коры (МПФК) обратно коррелирует с амигдаларной гиперактивацией, причем чем больше тяжесть симптоматики, тем сильнее эта связь, и наоборот, при уменьшении выраженности симптоматики в процессе лечения эта связь ослабевает [13, 14]. Наконец, нарушения связей субгenuальной передней поясной извилины (СППИ) как промежуточной области, участвующей в интерактивных эффектах когнитивного контроля и других цепей, могут усугублять дисфункцию более широких цепей [5]. В рамках трехкомпонентной

модели основных нейрональных сетей при ПТСР продемонстрировано усиление коннективности салиентной сети и дезорганизация сети пассивного режима работы мозга (СПРРМ), при этом, так же как и при депрессии, наблюдаются недостаточная активность и коннективность сети управляющих функций (СУФ) и ДЛПФК с другими узлами СПРРМ, включая переднюю поясную извилину, и сети салиентности, что и определяет недостаточность контроля корковых структур над подкорковыми [15–17]. В этой связи представляются логичными попытки стимулирования ДЛПФК и СУФ с применением высокочастотной ТМС, что и было предпринято в нескольких небольших исследованиях.

Предполагается, что при применении ТМС на проекцию ДЛПФК при ПТСР может достигаться прямое воздействие на процессы когнитивного контроля и влияния на регуляторные функции в цепях взаимодействия с сетями внимания и режима по умолчанию [5, 9].

Известно, что ПФК участвует в организации и контроле поведения посредством обширных связей ДЛПФК с лимбической системой (ЛС). ПФК играет важную роль в когнитивных и поведенческих функциях (рабочая память, контроль внимания, рассуждение и принятие решений, пространственно-временная организация поведения, торможение познания), которые также задействованы при ПТСР [11]. Функциональная нейровизуализация выявляет у пациентов с ПТСР изменения в ПФК: низкий метаболизм в височной, префронтальной и теменной коре; гиперчувствительную миндалину в сочетании с гипоактивацией ПФК; увеличение регионального кровотока в миндалине с одновременным снижением в медиальной ПФК в ответ на провокацию симптомов [5]. Специфический паттерн префронтальных и лимбических аномалий подтверждается нейropsychологическими тестами, чувствительными к повреждению лобных долей: при ПТСР они выявляют признаки аномалий ДЛПФК, орбитофронтальной коры (часть вентральной префронтальной системы, тесно связанной с ЛС) и ЛС в целом [12]. Свидетельства в пользу тесной связи правых лимбических и паралимбических структур с аномалиями ПТСР позволяют рассматривать эту область в качестве приоритетной цели для ТМС.

В свою очередь, медиальная ПФК играет роль в опосредовании реакций на стресс путем модуляции гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси (ГГНО). В исследованиях на животных было показано, что правосторонние поражения медиальной ПФК нарушают вызванную стрессом секрецию глюкокортикоидов. Эти результаты, а также данные о низком уровне базального кортизола в совокупности с данными о снижении мозгового кровотока в ПФТ у пациентов с ПТСР предполагают наличие связи между сниженной активностью оси ГГНО и правой гипофронтальностью. Стимуляция данных областей, в том числе с применением высокочастотной ТМС, у пациентов с ПТСР может повысить их активность и привести к улучшению симптомов ПТСР благодаря активации оси ГГНО [12].

Другой областью, участвующей в регуляции вегетативного компонента реакции страха, служит миндалина [11, 12]. Нейроны в слоях II, III и V прелимбической и инфраламбической коры проецируются

на миндалевидный комплекс, часть этих проекций дает коллатерали в контралатеральную медиальную ПФК [11]. Медиальная ПФК в норме модулирует эмоциональные реакции посредством подавления реакции миндалины на сигналы страха. Описанная выше гипофронтальность может блокировать данную реакцию подавления, что приводит к усиленной реакции страха у пациентов с ПТСР. В исследованиях показано, что стимуляция медиальной ПФК в условиях провокации симптомов ПТСР может приводить к ослаблению реакции страха [13].

Предполагается, что активация правой ДЛПФК, в том числе с помощью высокочастотной ТМС, приводит к редукции симптомов ПТСР. Клиническое улучшение связывают также с активацией оси ГГНО, подавлением активности миндалины [5]. Предварительные результаты с обобщением данных по небольшим выборкам показывают, что использование высокочастотной стимуляции правой ПФК является предпочтительной мишенью для применения методов стимуляции мозга при ПТСР [5].

В большинстве исследований по применению ТМС при ПТСР в качестве мишени выбиралась правая ДЛПФК, которая стимулировалась как в низко-, так и в высокочастотном режиме. В первых четырех исследованиях, где применялась в качестве контроля псевдоТМС, был подтвержден эффект ТМС в отношении ключевых симптомов ПТСР [9, 18]. В первых двух исследованиях, проводившихся на небольших выборках из 16 (10 – основная, 6 – псевдоТМС) [19] и 20 пациентов (10 – основная, 10 – псевдоТМС), стимуляция проводилась в режиме 10 Гц [20]. В третьем исследовании эффект ТМС был выявлен при низкочастотной стимуляции (1 Гц) также на правую ДЛПФК (20 пациентов; 10 – основная группа, 10 – контроль) [21]. В первом исследовании была третья группа сравнения: 8 дополнительных пациентов получили ТМС 1 Гц на правую ДЛПФК (10 ежедневных сеансов по 100 импульсов за сеанс) [19]. В этой группе эффективность оказалась ниже. Во второе исследование также была включена группа сравнения, в которой ТМС проводилась в высокочастотном режиме, но на проекцию левой ДЛПФК [20]. В обеих группах активной терапии был зарегистрирован клинический эффект, однако при ТМС на проекцию левой ДЛПФК он был выражен в меньшей степени. Кроме того, было обнаружено, что при проведении ТМС на правую ДЛПФК в большей степени уменьшается тревога, а при стимуляции левых областей улучшается настроение [19, 20]. Эффект по отношению к симптомам тревоги при высокочастотной ТМС на правую ДЛПФК также был зарегистрирован и в другом исследовании [20]. По показателю стойкости эффекта высокочастотная ТМС превосходила низкочастотную методику. В первом случае через 3 месяца после окончания курса эффект расценивался как значительный, а во втором он начал истощаться примерно через 2 месяца [21].

Позже были опубликованы результаты еще одного, более масштабного исследования по применению высокочастотной ТМС при ПТСР [22]. В нем для стимуляции была выбрана терапевтическая частота 20 Гц. Всего было рандомизировано 58 пациентов с распределением в группы 20 Гц ТМС на правую

ДЛПК ($n = 19$), 20 Гц ТМС билатерально на правую и левую ДЛПК ($n = 19$) и в группу псевдоТМС ($n = 20$). Параметры стимуляции были следующими: 10 сеансов в течение 4 недель (3 сеанса в неделю для первых 2 недель и 2 сеанса в неделю в течение последующих 2 недель), 2400 импульсов за сеанс (при билатеральной ТМС по 1200 импульсов слева и справа), 100 %-ной интенсивностью от моторного порога (МП), со стандартным определением точки стимуляции в соответствии с правилом 5 см. Доля респондеров, т. е. пациентов, достигших улучшения в 2 балла и более по военной версии чек-листа для ПТСР (PCL-M), была значительно выше в группах активной терапии в сравнении с группой псевдоТМС (41,2, 62,5 и 0 % ответивших соответственно). Таким образом, в исследовании был выявлен существенный эффект в группах активной терапии в сравнении с контролем без достоверной разницы между группами. Эти данные, соответствующие второму классу доказательности, позволяют отнестись высокочастотную ТМС правой ДЛПК при ПТСР к методике, обладающей доказательностью уровня В (вероятная эффективность) [9].

В другом также достаточно объемном исследовании у ветеранов войн с ПТСР ТМС на правую ДЛПК комбинировалась с когнитивно-поведенческой психотерапией [23]. 62 пациента были распределены в группы низкочастотной ТМС (1 Гц, 1800 импульсов за сеанс, 110 % МП, $n = 12-15$) (32 пациента) и псевдоТМС (30 пациентов). ТМС проводилась непосредственно перед психотерапией. Катамнестическую оценку через 6 месяцев прошли 59 пациентов, и был выявлен значительный эффект в группе активной терапии в сравнении с группой контроля [23].

В целом вопрос о преимуществе при ПТСР высокочастотной методики ТМС над низкочастотной остается, по-видимому, открытым [24]. В относительно недавно проведенном исследовании вновь сравнивались между собой эти два протокола у 27 пациентов (14 пациентов – 1 Гц ТМС и 13 пациентов 10 Гц ТМС) [25]. Больные получали по 5 сеансов в неделю в течение 6 недель. Обе группы показали значительное улучшение по оцениваемым симптомам ПТСР, а также депрессии без каких-либо преимуществ низко- или высокочастотной ТМС. Исключение составили показатели социального функционирования, где было преимущество в группе высокочастотной ТМС.

Тем не менее в недавнем метаанализе исследований по применению ТМС при ПТСР выявлено превосходство высокочастотного протокола [26]. Авторы проводили анализ по основным онлайн-исследовательским базам данных с момента создания до сентября 2020 г. Согласно данным метаанализа, общая

величина эффекта для ТМС в качестве лечения ПТСР соответствует $d = 1,17$, 95 % с доверительным интервалом [0,89–1,45]. Отмечен значительно больший терапевтический эффект при применении высокочастотной ТМС ($d = 1,44$) по сравнению с низкочастотными методиками ($d = 0,72$, $p = 0,006$). При этом не было выявлено существенной разницы между ТМС на левую и правую ДЛПК. Кроме того, не было выявлено связи между эффективностью и интенсивностью стимуляции.

Наконец, необходимо отметить достаточно интересное исследование по применению при ПТСР глубокой ТМС [27]. Использовался протокол с применением Н1-индуктора частотой 20 Гц, 12 сеансов в течение 4 недель. Дизайн предполагал рандомизацию в 3 группы. В первой проводилась активная стимуляция непосредственно сразу после вызванного краткого воспоминания травмирующего эпизода (9 пациентов), во второй группе использовалась псевдоТМС (9 пациентов), а в третьей группе ТМС проводилась после экспозиции переживаний нейтрального содержания. В результате исследования клиническое улучшение было зарегистрировано только в группе ТМС, в которой осуществлялась экспозиция травматического переживания.

Обсуждение

Посттравматическое стрессовое расстройство является хроническим психическим расстройством с достаточно неблагоприятным прогнозом течения и высокой распространенностью среди населения в целом и еще более высокими показателями среди ветеранов боевых действий. Ситуация пандемии COVID-19 также показала высокую склонность пациентов, перенесших инфекцию в тяжелой форме, к развитию ПТСР [28]. Существующие фармакологические и психотерапевтические методы лечения ПТСР демонстрируют ограниченную эффективность, а их применение нередко сопровождается быстрым прерыванием лечения. Транскраниальная магнитная стимуляция имеет потенциальные терапевтические возможности при ПТСР, особенно у пациентов с интолерантностью ПФТ и отсутствием приверженности психотерапевтическим вмешательствам. Предоставление специалистам надежных оценок эффективности и безопасности ТМС поможет им в принятии решений о распределении ресурсов и выборе методов лечения ПТСР. Таким образом, необходимы дальнейшие исследования для понимания механизмов воздействия ТМС на отдельные симптомы ПТСР с разработкой дифференцированных и персонифицированных алгоритмов терапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошенко П.С. Посттравматическое стрессовое расстройство: новые вызовы современности // Личность, семья, общество: вопросы педагогики и психологии. – 2015. – № 12 (57). – С. 177–181.
2. Van Elzakker M., Dahlgren K., Davis C. From Pavlov to PTSD: the extinction of conditioned fear in rodents, humans, and anxiety disorders // J Neurobiology of Learning and Memory. – 2014. – Vol. 113. – Pp. 3–18. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2013.11.014>
3. Гарнов В.М. Формирование психопатологической симптоматики в рамках посттравматического стрессового расстройства // XIII Съезд психиатров России: материалы съезда. Москва, 10–13 октября 2020 г. – М.: Медпрактика, 2000. – С. 101–102.

REFERENCES

1. Timoshenko P.S. Posttraumatic stress disorder: new challenges of modernity // "Likhnost", sem'ya, obshchestvo: voprosy pedagogiki i psikhologii. – 2015. – № 12 (57). – S. 177–181.
2. Van Elzakker M., Dahlgren K., Davis C. From Pavlov to PTSD: the extinction of conditioned fear in rodents, humans, and anxiety disorders // J Neurobiology of Learning and Memory. – 2014. – Vol. 113. – Pp. 3–18. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2013.11.014>
3. Garnov V.M. Formirovaniye psikhopatologicheskoi simptomatiki v ramkakh posttraumaticheskogo stressovogo rasstroystva // XIII S'ezhd psikhiatrov Rossii: materialy s'ezda. Moskva, 10–13 oktyabrya 2020 g. – M.: Medpraktika, 2000. – S. 101–102.

4. Погосов А.В., Смирнова Л.В. Посттравматическое стрессовое расстройство // Социальная и клиническая психиатрия. – 2002. – № 3 (25). – С. 42–50.
5. Leanne W., Coman J.T., Stetz P.C. et al. Identifying response and predictive biomarkers for Transcranial magnetic stimulation outcomes: protocol and rationale for a mechanistic study of functional neuroimaging and behavioral biomarkers in veterans with pharmacoresistant depression // BMC Psychiatry. – 2021. Vol. 21. – Art. 35. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s12888-020-03030-z>
6. Rytwinski N., Scur M., Feeny N., Youngstrom E. The co-occurrence of major depressive disorder among individuals with posttraumatic stress disorder: A meta-analysis // Journal of Traumatic Disorder. – 2013. – Vol. 26 (3). – Pp. 299–309. – DOI: <https://doi.org/10.1002/jts.21814>
7. Резник А.М., Фастовцов Г.А. Психотерапия ветеранов войн с посттравматическим стрессовым расстройством // Российский психиатрический журнал. – 2010. – № 3. – С. 59–65.
8. Волошин В.М., Мосолов С.Н. Современные подходы к терапии посттравматического стрессового расстройства // Новые достижения в терапии психических заболеваний. – М.: БИНОМ, 2002. – С. 433–444.
9. Lefaucheur J.-P. et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) // Clin Neurophysiol. – 2014. – Vol. 125 (11). – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.05.021>
10. Quirk J., Garcia R., Gonzalez-Lima F. Prefrontal mechanisms in extinction of conditioned fear // Biol Psychiatry. – 2006. – Vol. 60 (4). – Pp. 337–343. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.010>
11. Posner M.I., Snyder C.R. Attention and cognitive control // Information Processing and Cognition: The Loyola Symposium / ed. by R.L. Solso. – Potomac, MD, 1975.
12. Miller E.K., Cohen J.D. An integrative theory of prefrontal cortex function // Annual Review of Neuroscience. – 2001. – Vol. 24 (1). – Pp. 167–202. – DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
13. Francati V., Vermetten M., Bremner M. Functional neuroimaging studies in posttraumatic stress disorder: review of current methods and findings // J Depression and Anxiety. – 2007. – Vol. 24 (3). – Pp. 202–218. – DOI: <https://doi.org/10.1002/da.20208>
14. Milad M., Pitman R., Ellis C. et al. Neurobiological basis of failure to recall extinction memory in posttraumatic stress disorder // J Biol Psychiatry. – 2009. – Vol. 66 (12). – Pp. 1075–1082. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.06.026>
15. Виленская Г.А. Исполнительные функции: природа и развитие // Психологический журнал. – 2016. – Т. 37, № 4. – С. 21–31.
16. Koch S., Van Zuiden M., Nawijn L., et al. Aberrant resting-state activity in posttraumatic stress disorder: A meta-analysis and systematic review // Depression and Anxiety. – 2016. – Vol. 33 (7). – Pp. 592–605. – DOI: <https://doi.org/10.1002/da.22478>
17. New A., Fan J., Murrough X., et al. A functional magnetic resonance imaging study of deliberate emotion regulation in resilience and posttraumatic stress disorder // Biol Psychiatry. – 2009. – Vol. 66 (7). – Pp. 656–664. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.05.020>
18. Rossi S., Antal A., Bestmann S., et al. Safety and recommendations for TMS use in healthy subjects and patient populations, with updates on training, ethical and regulatory issues: Expert Guidelines // Clinical Neurophysiology. – 2021. – Vol. 132 (1). – Pp. 269–306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.10.003>
19. Cohen H., Kaplan Z., Kotler M., Kouperman I., Moisa R., Grisaru N. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the right dorsolateral prefrontal cortex in posttraumatic stress disorder: a double-blind, placebo-controlled study // Am J Psychiatry. – 2004. – Vol. 161. – Pp. 515–524. – DOI: <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.161.3.515>
20. Boggio P.S., Rocha M., Oliveira M.O. et al. Noninvasive brain stimulation with high-frequency and low-intensity repetitive transcranial magnetic stimulation treatment for posttraumatic stress disorder // J Clin Psychiatry. – 2010. – Vol. 71 (8). – Pp. 992–999. – DOI: <https://doi.org/10.4088/JCP.08m04638blu>
21. Watts B.V., Landon B., Groft A., Young-Xu Y. A sham-controlled study of repetitive transcranial magnetic stimulation for posttraumatic stress disorder // Brain Stimul. – 2012. – Vol. 5 (1). – Pp. 38–43. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brs.2011.02.002>
22. Ahmadzadeh M.J., Rezaei M. Unilateral right and bilateral dorsolateral prefrontal cortex transcranial magnetic stimulation in treatment post-traumatic stress disorder: A randomized controlled study // Brain Res Bull. – 2018. – Vol. 140. – Pp. 334–340. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2018.06.001>
23. Kozel F.A., Motes M.A., Didehban N. et al. Repetitive TMS to augment cognitive processing therapy in combat veterans of recent conflicts with PTSD: A randomized clinical trial // Journal of Affective Disorders. – 2018. – Vol. 229. – Pp. 506–514. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.12.046>
24. Philip N.S., Barredo J., Aiken E. et al. Theta-burst transcranial magnetic stimulation for posttraumatic stress disorder // Am J Psychiatry. – 2019. – Vol. 176 (11). – Pp. 939–948. – DOI: <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2019.18101160>
25. Kozel F.A., Van Trees K., Larson V., Phillips S., Hashimie J., Gadbois B., et al. One hertz versus ten hertz repetitive TMS treatment of PTSD: A randomized clinical trial // Psychiatry Res. – 2019. – Vol. 273. – Pp. 153–162. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2019.01.004>
26. Harris A., Reece J. Transcranial magnetic stimulation as a treatment for posttraumatic stress disorder: A meta-analysis // Journal of Affective Disorders. – 2021. – Vol. 289. – Pp. 55–65. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.04.003>
27. Isserles M., Shalev A.Y., Roth Y. et al. Effectiveness of deep transcranial magnetic stimulation combined with a brief exposure procedure in post-traumatic stress disorder – a pilot study // Brain Stimul. – 2013. – Vol. 6 (3). – Pp. 377–383. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.07.008>
28. Холмогорова А.Б., Рахманина А.А. Пуговкина О.Д. и др. Посттравматический стресс у пациентов с COVID-19 после лечения в стационаре // Современная терапия психических расстройств. – 2021. – № 3. – С. 58–67. – DOI: <https://doi.org/10.21265/PSYPH.2021.90.34.006>
4. Pogoso A.V., Smirnova L.V. Posttraumatic stress disorder // Sotsial'naya i klinicheskaya psikiatriya. – 2002. – № 3 (25). – S. 42–50.
5. Leanne W., Coman J.T., Stetz P.C. et al. Identifying response and predictive biomarkers for Transcranial magnetic stimulation outcomes: protocol and rationale for a mechanistic study of functional neuroimaging and behavioral biomarkers in veterans with pharmacoresistant depression // BMC Psychiatry. – 2021. Vol. 21. – Art. 35. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s12888-020-03030-z>
6. Rytwinski N., Scur M., Feeny N., Youngstrom E. The co-occurrence of major depressive disorder among individuals with posttraumatic stress disorder: A meta-analysis // Journal of Traumatic Disorder. – 2013. – Vol. 26 (3). – Pp. 299–309. – DOI: <https://doi.org/10.1002/jts.21814>
7. Reznik A.M., Fastovtsov G.A. Psikhofarmakoterapiya veteranov voyn s posttraumaticheskim stressovym rasstroistvom // Rossiiskii psikiatricheskii zhurnal. – 2010. – № 3. – S. 59–65.
8. Voloshin V.M., Mosolov S.N. Sovremennye podkhody k terapii posttraumaticheskogo stressovogo rasstroistva // Novye dostizheniya v terapii psikhicheskikh zabolevaniy. – M.: BINOM, 2002. – S. 433–444.
9. Lefaucheur J.-P. et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) // Clin Neurophysiol. – 2014. – Vol. 125 (11). – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.05.021>
10. Quirk J., Garcia R., Gonzalez-Lima F. Prefrontal mechanisms in extinction of conditioned fear // Biol Psychiatry. – 2006. – Vol. 60 (4). – Pp. 337–343. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.010>
11. Posner M.I., Snyder C.R. Attention and cognitive control // Information Processing and Cognition: The Loyola Symposium / ed. by R.L. Solso. – Potomac, MD, 1975.
12. Miller E.K., Cohen J.D. An integrative theory of prefrontal cortex function // Annual Review of Neuroscience. – 2001. – Vol. 24 (1). – Pp. 167–202. – DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
13. Francati V., Vermetten M., Bremner M. Functional neuroimaging studies in posttraumatic stress disorder: review of current methods and findings // J Depression and Anxiety. – 2007. – Vol. 24 (3). – Pp. 202–218. – DOI: <https://doi.org/10.1002/da.20208>
14. Milad M., Pitman R., Ellis C. et al. Neurobiological basis of failure to recall extinction memory in posttraumatic stress disorder // J Biol Psychiatry. – 2009. – Vol. 66 (12). – Pp. 1075–1082. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.06.026>
15. Vilenkaya G.A. Ispolnitel'nye funktsii: priroda i razvitiye // Psikhologicheskii zhurnal. – 2016. – T. 37, № 4. – S. 21–31.
16. Koch S., Van Zuiden M., Nawijn L., et al. Aberrant resting-state activity in posttraumatic stress disorder: A meta-analysis and systematic review // Depression and Anxiety. – 2016. – Vol. 33 (7). – Pp. 592–605. – DOI: <https://doi.org/10.1002/da.22478>
17. New A., Fan J., Murrough X., et al. A functional magnetic resonance imaging study of deliberate emotion regulation in resilience and posttraumatic stress disorder // Biol Psychiatry. – 2009. – Vol. 66 (7). – Pp. 656–664. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.05.020>
18. Rossi S., Antal A., Bestmann S., et al. Safety and recommendations for TMS use in healthy subjects and patient populations, with updates on training, ethical and regulatory issues: Expert Guidelines // Clinical Neurophysiology. – 2021. – Vol. 132 (1). – Pp. 269–306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.10.003>
19. Cohen H., Kaplan Z., Kotler M., Kouperman I., Moisa R., Grisaru N. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the right dorsolateral prefrontal cortex in posttraumatic stress disorder: a double-blind, placebo-controlled study // Am J Psychiatry. – 2004. – Vol. 161. – Pp. 515–524. – DOI: <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.161.3.515>
20. Boggio P.S., Rocha M., Oliveira M.O. et al. Noninvasive brain stimulation with high-frequency and low-intensity repetitive transcranial magnetic stimulation treatment for posttraumatic stress disorder // J Clin Psychiatry. – 2010. – Vol. 71 (8). – Pp. 992–999. – DOI: <https://doi.org/10.4088/JCP.08m04638blu>
21. Watts B.V., Landon B., Groft A., Young-Xu Y. A sham-controlled study of repetitive transcranial magnetic stimulation for posttraumatic stress disorder // Brain Stimul. – 2012. – Vol. 5 (1). – Pp. 38–43. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brs.2011.02.002>
22. Ahmadzadeh M.J., Rezaei M. Unilateral right and bilateral dorsolateral prefrontal cortex transcranial magnetic stimulation in treatment post-traumatic stress disorder: A randomized controlled study // Brain Res Bull. – 2018. – Vol. 140. – Pp. 334–340. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2018.06.001>
23. Kozel F.A., Motes M.A., Didehban N. et al. Repetitive TMS to augment cognitive processing therapy in combat veterans of recent conflicts with PTSD: A randomized clinical trial // Journal of Affective Disorders. – 2018. – Vol. 229. – Pp. 506–514. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.12.046>
24. Philip N.S., Barredo J., Aiken E. et al. Theta-burst transcranial magnetic stimulation for posttraumatic stress disorder // Am J Psychiatry. – 2019. – Vol. 176 (11). – Pp. 939–948. – DOI: <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2019.18101160>
25. Kozel F.A., Van Trees K., Larson V., Phillips S., Hashimie J., Gadbois B., et al. One hertz versus ten hertz repetitive TMS treatment of PTSD: A randomized clinical trial // Psychiatry Res. – 2019. – Vol. 273. – Pp. 153–162. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2019.01.004>
26. Harris A., Reece J. Transcranial magnetic stimulation as a treatment for posttraumatic stress disorder: A meta-analysis // Journal of Affective Disorders. – 2021. – Vol. 289. – Pp. 55–65. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.04.003>
27. Isserles M., Shalev A.Y., Roth Y. et al. Effectiveness of deep transcranial magnetic stimulation combined with a brief exposure procedure in post-traumatic stress disorder – a pilot study // Brain Stimul. – 2013. – Vol. 6 (3). – Pp. 377–383. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.07.008>
28. Kholmogorova A.B., Rakhmanina A.A. Pugovkina O.D. i dr. Posttraumaticheskii stress u patsientov s COVID-19 posle lecheniya v stacionare // Sovremennaya terapiya psikhicheskikh rasstroistv. – 2021. – № 3. – S. 58–67. – DOI: <https://doi.org/10.21265/PSYPH.2021.90.34.006>