

Транскраниальная электрическая стимуляция постоянным током при мигрени

С.П. Бордовский^{1✉}, sbordoche@gmail.com, С.С. Андреев², О.О. Зинченко², У.В. Панина¹, В.Д. Котенко¹, Р.А. Тахиров¹, А.Е. Потахина³, К.В. Шевцова¹

¹ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

² Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»; 101000, Россия, Москва, ул. Мясницкая, д. 20

³ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, д. 1

Резюме

Мигрень – первичная головная боль с характерной клинической картиной, особенностями лечения и течения заболевания. В настоящий момент отмечается рост распространенности мигрени, что коррелирует с существенным снижением качества жизни пациентов, страдающих данной цефалгией. Терапия мигрени основана на применении двух стратегий: купировании приступа и его профилактике. В последнее время бурно развивается концепция первичной профилактической терапии мигрени, при этом, наряду со стандартными медикаментозными методами коррекции головной боли, все больше данных говорят о пользе и целесообразности введения в клиническую практику нелекарственных методов лечения, таких, например, как транскраниальная электрическая стимуляция (ТЭС). Свою эффективность для лечения мигрени показывают как катодная, так и анодная стимуляция: после применения курса ТЭС отмечено снижение количества дней в месяц с головной болью, уменьшение длительности и интенсивности мигренозных атак, некоторые исследования сообщают об уменьшении количества применяемых лекарственных препаратов. Наиболее часто область стимуляции коры головного мозга соответствовала зонам O1/O2 (1–2 мА) для катодной и F3/F4 (1–2 мА) для анодной стимуляции. Продолжительность каждой процедуры в среднем составила 20 мин, в то время как длительность сессий проведения ТЭС варьировалась в зависимости от конкретного исследования. ТЭС демонстрирует эффективность и безопасность в отношении лечения различных форм мигрени. Использование данного неинвазивного метода в профилактике приступов может послужить одним из направлений персонализации лечения мигрени.

Ключевые слова: неинвазивная стимуляция, катодная стимуляция головного мозга, анодная стимуляция головного мозга, хроническая мигрень, эпизодическая мигрень, абзусная головная боль, немедикаментозная терапия головной боли, лечение хронической головной боли

Для цитирования: Бордовский СП, Андреев СС, Зинченко ОО, Панина УВ, Котенко ВД, Тахиров РА, Потахина АЕ, Шевцова КВ. Транскраниальная электрическая стимуляция постоянным током при мигрени. *Медицинский совет.* 2024;18(3):51–59. <https://doi.org/10.21518/ms2024-121>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Transcranial direct current stimulation for migraine

Sergey P. Bordovsky^{1✉}, sbordoche@gmail.com, Sergey S. Andreev², Oksana O. Zinchenko², Uliana V. Panina¹, Valentina D. Kotenko¹, Renat A. Takhirov¹, Alina E. Potakhina³, Kseniya V. Shevtsova¹

¹ Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia

² HSE University; 20, Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russia

³ Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia

Abstract

Migraine is one of the most common primary headache disorders. Nowadays, there is an increase in the prevalence of migraine. It causes a significant reduction in the Quality of Life of those affected. There are two major approaches to treating migraines: attack management and prevention. The concept of primary prophylactic therapy of migraine has developed rapidly. In addition to standard medication, there are increasing data indicating the usefulness and feasibility of non-drug treatments, such as TES (transcranial electrical stimulation). Both cathodal and anodal stimulation have been shown to be effective in migraine treatment: after a course of TES, the number of days per month with headache decreased, the duration and intensity of migraine attacks decreased, and some studies reported a reduction in the number of medications used. O1/O2 (1–2 mA) for cathodal stimulation and F3/F4 (1–2 mA) for anodal stimulation were the most frequently stimulated cortical areas. The average duration of each session was 20 minutes. The length of TES sessions varied from study to study. TES has shown efficacy and safety in treating various forms of migraine. Using this non-invasive method to prevent attacks may be one of the directions for personalizing migraine treatment.

Keywords: non-invasive stimulation, cathodal brain stimulation, anodal brain stimulation, chronic migraine, episodic migraine, medication overuse headache, non-medication headache therapy, chronic headache treatment

For citation: Bordovsky SP, Andreev SS, Zinchenko OO, Panina UV, Kotenko VD, Takhirov RA, Potakhina AE, Shevtsova KV. Transcranial direct current stimulation for migraine. *Meditinskii Sovet*. 2024;18(3):51–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/ms2024-121>.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно определению Национального института неврологических расстройств и инсультов, мигрень — это первичная головная боль, характеризующаяся повторяющимися приступами умеренной и/или сильной односторонней пульсирующей головной боли; длительность приступа мигрени может составлять от 4 до 72 ч. Мигрень можно выделить как основную причину ухудшения общественного здоровья. Согласно данным интерактивного сайта Глобального бремени болезней (Global Burden of Disease), в котором обобщены результаты исследований, проведенных за почти 30 лет наблюдений (1990–2019 гг.), в последнее время отмечается умеренный рост распространенности мигрени с 14,0% до нынешних 15,2% (95% ДИ 12,1–16,1%). Более того, мигрень уже составляет 4,9% от общемирового бремени болезней, измеряемого в годах, прожитых с инвалидностью (Years Livedwith Disability – YLD) [1], что отражает огромное влияние данного заболевания на качество жизни населения. Улучшение качества жизни и смягчение последствий мигрени остается нерешенной проблемой для современного здравоохранения, нуждающейся в комплексном решении на индивидуальном и общественном уровнях.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТЕРАПИИ МИГРЕНИ

Лечение мигрени направлено на облегчение симптомов и их профилактику. Для abortивной терапии мигренозного приступа, как правило, используют препараты из группы НПВС и/или триптаны [2]. Для лекарственной профилактики мигрени используются бета-адреноблокаторы, противосудорожные средства, блокаторы кальциевых каналов, антидепрессанты, агонисты 5HTF-рецепторов (дитаны) и антагонисты кальцитонин-ген-родственного пептида (calcitonin gene-related peptide, CGRP) [2]. Наибольшую эффективность в профилактическом лечении мигрени показали препараты антагонисты CGRP. К настоящему времени известны несколько точек приложения для фармакологических препаратов, а именно: пресинаптические рецепторы серотонина 5-HT_{1B} и 5-HT_{1D} ингибируют высвобождение этого нейропептида, служа мишенью для действия триптанов. При этом действие дитанов, направленное на активацию рецепторов типа 5-HT_{1F}, приводит к подавлению высвобождения CGRP из тройничного ганглия. Альтернативным подходом к блокаде высвобождения CGRP является использование нового направления – гибридной терапии, которая заключается в применении моноклональных антител (мАТ), направленных против самого

CGRP или его рецептора [3, 4]. Первым ингибитором CGRP, одобренным FDA в мае 2018 г. для профилактики мигрени, стал эренумаб (Aimovig). В исследовании LIBERTY® были описаны пациенты с фармакорезистентной формой эпизодической мигрени (n = 246), среди которых пациенты, получавшие эренумаб в дозе 140 мг, продемонстрировали большую вероятность сокращения числа дней мигрени вдвое и более раз выше по сравнению с плацебо [5]. Однако только некоторые из препаратов данных групп к настоящему времени зарегистрированы в Российской Федерации, что сужает возможности фармакологического лечения мигрени [6].

Профилактическое лечение мигрени, в отличие от универсальной стратегии купирования приступов, носит персонализированный подход, при этом ее назначение целесообразно пациентам при наличии соответствующих показаний (частые неконтролируемые приступы, сопутствующие неврологические расстройства), а также наличие коморбидных тревожно-депрессивных расстройств и артериальной гипертензии [7].

В современной медицинской практике для профилактики приступов мигрени также используется ботулинотерапия, однако необходимо подчеркнуть, что ботулинический токсин А в настоящее время рекомендуется только для лечения хронической мигрени [8].

Важно отметить, что в настоящий момент отмечается тенденция к снижению комплаентности пациентов к профилактическому лечению мигрени. Низкая эффективность лечения наблюдается примерно у 50% пациентов. Данное наблюдение связано с частым развитием побочных эффектов на фоне проводимой фармакотерапии, что приводит к скорому прекращению лечения в среднем после двух месяцев от его начала [9].

В качестве немедикаментозного метода лечения мигрени следует выделить такой метод, как когнитивно-поведенческая терапия (КПТ), которая показала высокую эффективность в ряде клинических исследований [10, 11]. Метод КПТ основан на способности регулировать эмоциональное и когнитивное поведение пациента, а также возможности положительного влияния на его самооценку, особенности восприятия боли и уменьшения ее катастрофизации, что может привести к улучшению клинических результатов лечения мигрени [12, 13]. В настоящее время все больше данных исследований свидетельствуют в пользу назначения КПТ в качестве комбинированной терапии, что позволяет максимально снизить риск развития побочных эффектов, связанных с приемом фармакологических препаратов [14]. Так, по данным отечественных авторов, показана высокая эффективность данного метода для терапии хронической мигрени. Длительное

наблюдение (12 мес.) показало клинически значимое улучшение состояния пациента в виде трансформации мигрени из хронической в эпизодическую форму, повышения повседневной активности и нормализации общего эмоционального состояния [15]. Несмотря на то что применение КПТ в целях терапии мигрени имеет доказанную эффективность, использование данного метода в клинической медицине затруднено из-за необходимости учета индивидуальных особенностей каждого пациента [16].

При лечении мигрени также обязательна модификация образа жизни, которая заключается в соблюдении трех связанных с циркадными периодами аспектов повседневной жизни (режим «сон – бодрствование», прием пищи и физические упражнения). Пациентам с вестибулярной формой мигрени будет весьма полезна вестибулярная реабилитация, которая включает в себя упражнения на устойчивость взгляда и привыкание, тренировку равновесия и ходьбы, танцы. Важно объяснять пациенту доброкачественную природу его заболевания с формированием представления о мигрени как о состоянии постоянной повышенной чувствительности нервной системы, которая достигает своего пика во время приступа [17]. Нарушение сна, нерегулярный прием пищи и малоподвижный образ жизни ухудшают исходы мигрени, а по причине невозможности современному человеку полного соблюдения вышеперечисленных пунктов данный подход является малоэффективным [18].

В связи с этим возрастает потребность поиска новых и безопасных методов контроля мигрени. Так, например, одним из перспективных направлений в данной области являются неинвазивные методы стимуляции головного мозга, к числу которых также относится метод транскраниальной электрической стимуляции (ТЭС) постоянным током.

МЕТОДИКА И МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ

ТЭС – неинвазивный метод стимуляции головного мозга, при котором постоянный ток, подаваемый через расположенные на коже головы электроды, используется для подпороговой модуляции активности нейронов коры головного мозга. Для проведения процедуры ТЭС необходимо минимум 2 электрода: анод и катод. Один из этих электродов в зависимости от задачи исследования устанавливается на целевую зону согласно международной системе ЭЭГ 10-20. Воздействие электрода будет вызывать ожидаемые нейрофизиологические и клинические эффекты. Подобный электрод чаще всего именуется «целевым». Второй электрод – «возвратный» устанавливается над зоной, наименьшим образом влияющей на появление целевых эффектов, и выступает в роли необходимого компонента в электрической цепи. Расположение электродов определенной полярности на скальпе именуется «монтажом» и является первостепенным фактором при разработке процедуры стимуляции [19]. Результаты проведенных фундаментальных исследований эффектов ТЭС и их возможной природы были обобщены S. Pelletier,

F. Cicchetti [20], которые, изучив результаты исследований, проводимых как *in vitro*, так и *in vivo*, с привлечением параллельной нейровизуализации как на людях, так и на животных, смогли описать общие нейрофизиологические принципы и эффекты работы ТЭС:

- Стимуляция постоянным током вызывает нейромодуляционные эффекты через изменение мембранного потенциала нейронов и может приводить к длительным изменениям синаптической пластичности. Однако зависит это не только от полярности электрода, но и от времени, силы стимуляции.
- Электрическое поле, индуцируемое постоянным током, может регулировать миграцию клеток.
- Электрическое поле может влиять на физиологические процессы и метаболизм самих клеток, обеспечивая, к примеру, аксональный рост.
- Электрическое поле может влиять на ангиогенез.

Также ТЭС обладает высокой степенью безопасности и хорошо переносится подавляющим большинством пациентов. Не было описано ни одного случая возникновения серьезных побочных эффектов во время и/или после стимуляции. С точки зрения сопутствующих ощущений пациенты иногда сообщают о легких покалываниях в местах приложения электродов и временных эритемах, проходящих через 3–5 мин после процедуры стимуляции, однако это не приносило серьезного дискомфорта. В случае стимуляции зрительной коры при определенной силе тока некоторые респонденты сообщали о возникновении фосфенов. И только 3% респондентов сообщают о слабых головокружениях в момент стимуляции [19].

В настоящий момент ТЭС активно применяется во многих клинических и фундаментальных исследованиях как потенциальный метод для лечения различных психических и неврологических заболеваний, в т. ч. мигрени [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В таблице представлена характеристика основных исследований, включенных в настоящий обзор.

По результатам систематического обзора и метаанализа [22] можно выделить следующие, наиболее часто применяемые в клинических исследованиях, посвященных лечению мигрени, монтажи: расположение целевого электрода – левая первичная моторная кора (L-M1 (C3)), левая дорсолатеральная префронтальная кора (L-DLPFC (F3)) – анодная стимуляция и первичная зрительная кора (Oz) – катодная стимуляция. Расположение возвратного электрода – контралатеральная супраорбитальная зона (Fp2), вертекс (Cz). Данный тип монтажей был использован исходя из понимания патофизиологических особенностей мигрени. В зависимости от конфигурации монтажа электрическое поле, генерируемое ТЭС, распространяется на близлежащие кортикальные и субкортикальные структуры. Интенсивность стимуляции в большинстве исследований, как правило, составляла от 1 до 2 мА. Предполагается, что ТЭС имеет кумулятивный эффект при регулярном (ежедневное и/или с минимальным

● Таблица. Исследования транскраниальной электрической стимуляции при мигрени
 ● Table. Studies on the efficacy of transcranial direct current stimulation (tDCS) for migraine

Автор	Год	Тип исследования	N*	Тип мигрени	Вид стимуляции	Длительность	Клинические исследования		Результаты
							Монтаж**	Мониторинг	
Dalla Volta G. et al. [23]	2020	Рандомизированное контролируемое	45	Хроническая	Катодная (1,5 МА)	Ежедневно, 5 дней по 15 мин/день	V1, M1, Frontal (с термографической индивидуализацией)	Уменьшение продолжительности мигренозных атак, интенсивности и количества дней в месяц с мигренью в группе активной ТЭС в сравнении с группой имитации ТЭС	
Hodaj H. et al. [24]	2022	Рандомизированное контролируемое	36	Хроническая	Анодная (2 МА)	5 ежедневных сеансов подряд (1-я нед.), затем 1 раз в неделю в течение следующих 4 нед., затем 2 раза в месяц в течение следующего месяца (всего 11 сеансов по 20 мин/сеанс)	C3, Fp2	Уменьшение количества дней с мигренью в месяц в группе активной ТЭС в сравнении с группой имитации ТЭС в течение первого месяца и после 3 мес.	
De Icco R. et al. [25]	2021	Рандомизированное контролируемое	20	Хроническая абзусная	Анодная (2 МА)	Ежедневно, 5 дней по 20 мин/день	M1, Fp2/Fp1	Уменьшение количества дней с мигренью в месяц и уменьшение дозы принимаемых противомигренозных препаратов в группе активной ТЭС в сравнении с группой имитации	
Mansour A.G. et al. [26]	2020	Рандомизированное контролируемое	18	Хроническая абзусная	Анодная (2 МА) катодная (2 МА)	Ежедневно, 3 дня по 20 мин/день	F3/F4 – анодная, O1/O2 – катодная	Уменьшение количества дней мигрени с выраженным болевым синдромом в неделю при катодной стимуляции. Уменьшение интенсивности боли и количество потребляемых лекарственных препаратов в день после курса катодной стимуляции	
Pohl H. et al. [27]	2023	Проспективное мультицентровое рандомизированное	23	Эпизодическая	Анодная (1 МА)	Ежедневно, 28 дней по 20 мин/день	Oz, Cz	Уменьшение количества дней с мигренью в месяц в группе активной ТЭС в сравнении с группой имитации ТЭС	
Schading S. et al. [28]	2021	Рандомизированное контролируемое	24	Эпизодическая	Анодная (1 МА)	Ежедневно, 28 дней по 20 мин/день	Oz, Cz	Уменьшение количества дней мигрени в месяц после курса ТЭС в сравнении с группой фиктивной стимуляции. Уменьшение объема увеличенной язычной извилины по данным МРТ в группе активной ТЭС	
Rechdi A. et al. [29]	2020	Рандомизированное, двойное слепое, плацебо-контролируемое	42	Эпизодическая мигрень	Катодная (2 МА)	Ежедневно, 3 дня по 20 мин/день	O1/O2	Уменьшение количества дней с мигренью в месяц в группе активной ТЭС в сравнении с группой имитации ТЭС (-1,6 по сравнению с исходными показателями), что коррелировало со снижением употребления лекарственных препаратов	
Giulio M. et al. [30]	2021	Рандомизированное контролируемое	16	Мигрень с аурой	Анодная (2 МА), катодная (2 МА)	Протокол состоял в проведении сессий в определенный час для каждого пациента в течение трех дней на протяжении месяца	DLPCF, F4 – анодная Oz – катодная	Наиболее выраженным было снижение числа дней с головной болью в месяц (p = 0,03), при этом были отмечены более высокие показатели ответа на нейростимулирующую терапию в группе пациентов, коморбидных по психическим расстройствам, в частности БАР	
Систематические обзоры и метаанализы									
Cai G. et al. [22]	2021	Систематический обзор и метаанализ	104	Хроническая мигрень	Анодная (1-2 МА) катодная (1-2 МА)	Ежедневные/почти ежедневные процедуры от 15 до 20 мин. Продолжительность лечения от 4 до 6 нед., продолжительность последующего наблюдения от 4 до 16 нед.	В зависимости от исследования: Cz, F3 – анодная, Oz, Fp2, Cz – катодная	Наибольшая эффективность ТЭС – при длительном курсе (4 нед. и более) – снижение интенсивности боли и продолжительности эпизода мигрени по сравнению с группой имитации ТЭС. Эффективна как катодная, так и анодная стимуляция	
Hong P. et al. [31]	2022	Систематический обзор и метаанализ	425	Хроническая мигрень	Анодная (1-2 МА) катодная (1-2 МА)	От 5 последовательных дней до 12 нед. (в зависимости от длительности исследования)	DLPCF, M1, VC – анодная M1, S1, VC – катодная	Протоколы ТЭС с активацией M1 и/или активацией/торможением VC приводили к уменьшению количества дней в месяц с приступами мигрени и уменьшению интенсивности головной боли	
Omello R. et al. [32]	2021	Систематический обзор	135	Эпизодическая мигрень	Анодная (1-2 МА), катодная (1-2 МА)	От 5 до 28 дней, 20 мин/сессии (в зависимости от длительности исследования)	В зависимости от исследования: Oz, Cz, O1/O2, Fp1/Fp2 – катодная, C3/C4, Fp2/Fp1 – анодная	Как катодная, так и анодная ТЭС показывает эффективность в отношении профилактики мигренозных приступов, оцениваемых по основным параметрам (частота и интенсивность приступов, количество употребляемых препаратов)	
Yali F. et al. [33]	2019	Систематический обзор и метаанализ	276	Хроническая и эпизодическая мигрень	Анодная, катодная	Нет информации по описанию применяемых протоколов	M1 – анодная V1 – катодная	Нейнвазивная стимуляция областей M1 и DLPCF по сравнению с фиктивной группой показывает большую эффективность в отношении снижения выраженности болевого приступа, при этом существенных различий в отношении снижения частоты мигренозных атак получено не было	

* Количество пациентов.

** Согласно международной системе размещения электродов ЭЭГ 10-20.

перерывом в 1 и/или несколько дней) применении в течение 15–20 мин и может приводить к длительным нейропластическим изменениям в коре головного мозга.

Подобные нейрофизиологические эффекты объясняют результаты рандомизированных клинических исследований (РКИ), включенных в систематический обзор, где продемонстрировано снижение интенсивности мигренозной боли ($p < 0,01$), а также длительности эпизода мигрени ($p = 0,02$) в группе активной ТЭС по сравнению с группой фиктивной стимуляции.

ТРАНСКРАНИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТИМУЛЯЦИЯ В ГРУППЕ ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ МИГРЕНЬЮ

В исследование 2020 г. [23] было включено 45 пациентов (15 мужчин и 30 женщин, средний возраст $45 \pm 3,7$) с хронической мигренью. Значимый положительный эффект был отмечен в группе активной ТЭС ($n = 28$) по сравнению с группой фиктивной стимуляции ($n = 17$). Наложение активного электрода (катод) осуществлялось унилатерально над фронтальной корковой областью в точке наибольшей гипотермии, определяемой перед проведением процедуры с помощью термографа. Состояние пациентов оценивалось исходно через 10 дней, 2 мес. и через 4 мес. после окончания курса ТЭС. Отмечено значительное уменьшение частоты мигренозных атак ($16,5 \pm 12,2$ vs. $11,3 \pm 5,9$, $p = 0,06$), их продолжительности ($2,9 \pm 22,8$ vs. $22,4 \pm 16,9$, $p = 0,91$), интенсивности ($7,0 \pm 1,5$ vs. $7,9 \pm 1,4$, $p = 0,06$) в группе активной стимуляции по сравнению с фиктивной.

По данным метаанализа пяти РКИ, проводимая в течение более четырех недель ТЭС снижает интенсивность ($MD = -1,44$) и продолжительность ($MD = -1,86$) мигренозного приступа; положительный эффект сохраняется на протяжении четырех недель после прекращения сеансов. Отмечено снижение выраженности болевого синдрома при использовании обоих протоколов – как катодного ($MD = -1,49$), так и анодного ($MD = -1,74$). Оба режима применения: 1 мА ($MD = -1,75$) и 2 мА ($MD = -4,42$; $p = 0,05$) имели положительное влияние на уменьшение продолжительности мигренозной атаки. По сравнению с группой имитации ТЭС не было отмечено значительного влияния данного метода на продолжительность приступа как во время проведения сессий нейростимуляции, так и по окончании. В нескольких исследованиях [34–36] отмечено уменьшение числа мигренозных атак в активной группе ($p = 0,012$), снижение частоты этих атак в группах спустя некоторое время (от 4 до 16 нед. в зависимости от исследования) после завершения курса по сравнению с исходными показателями [22].

Применение ТЭС у 36 пациентов с резистентной формой хронической мигрени оценивалось в исследовании H. Hodaj [24]. В нем приняли участие пациенты с длительным анамнезом (более 25 лет) безуспешной превентивной лекарственной терапии. Курс состоял из пяти последовательных сессий по 20 мин. Анод располагался над С3 областью, в то время как катод был расположен над областью Fp2. Было отмечено снижение частоты мигренозных

приступов в группе ТЭС по сравнению с группой имитации ТЭС в первый месяц после терапии ($-21,0\% \pm 21,6\%$ vs. $-1,5\% \pm 24,55$, $p = 0,019$) и по прошествии трех месяцев ($-31,9\% \pm 33,1$ vs. $-5,6\% \pm 39,4\%$, $p = 0,011$). Также было обнаружено снижение применения триптанов в группе активной стимуляции после окончания курсов ТЭС ($-2,1 \pm 3,7$ vs. $-2,5 \pm 4,7$, величина эффекта = $-1,07$, $p = 0,010$) по сравнению с исходными данными исследования. В конце периода наблюдения (через 3 мес. после лечения) доля ответивших на терапию была выше в группе ТЭС по сравнению с группой имитации ТЭС ($50,0\%$ vs. $14,3\%$). Авторы рекомендуют проведение ТЭС со стимуляцией левой моторной коры в комплексной программе лечения пациентов с резистентной мигренью.

ТРАНСКРАНИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТИМУЛЯЦИЯ В ГРУППЕ ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ МИГРЕНЬЮ И ЛЕКАРСТВЕННО ИНДУЦИРОВАННОЙ ГОЛОВНОЙ БОЛЬЮ

На сегодняшний день исследования, посвященные влиянию ТЭС на улучшение болевых показателей среди пациентов с лекарственно индуцированной головной болью (ЛИГБ), развившейся на фоне хронической мигрени (ХМ), только начинают набирать популярность, хотя последние данные выглядят весьма многообещающими.

В РКИ [25], где приняли участие 20 пациентов (16 женщин и 4 мужчины; средний возраст участников $48,3 \pm 9,6$ лет), было произведено сравнение с группой имитации ТЭС, примененной по протоколу анодной стимуляции. Наложение анодного электрода осуществляли на первичную моторную кору (M1), а катодного – супраорбитально на контралатеральную сторону с превалирующей болевой симптоматикой (Fp2 или Fp1). Положительный эффект был выражен в группе активной ТЭС – по прошествии одного месяца после курса стимуляции, наблюдалось уменьшение количества дней с мигренью в месяц ($-11,2$ и $-6,2$ соответственно; $p < 0,050$). Подобный эффект сохранился и через 6 мес. после курса ($-8,6$ и $-4,5$ соответственно; $p < 0,050$). Помимо сокращения количества дней мигрени, в группе активной ТЭС также наблюдалось уменьшение частоты мигренозных приступов ($p = 0,025$). При этом в обеих группах было отмечено значительное снижение количества применяемых препаратов с целью купирования приступов головных болей.

Другое исследование [26] было направлено на сравнение эффективности различных протоколов (катодная, анодная, плацебо-стимуляция) по отношению к ЛИГБ. В исследовании приняли участие 18 пациентов в возрасте 20–38 лет, которые проходили курс, состоявший из трех последовательных процедур (анодной стимуляции префронтальной коры (M1), катодной – затылочной области ипсилатерально по отношению к доминантной по болевому симптому (O1/O2), а также симулятивной на протяжении трех дней, при этом в течение всего исследования пациенты вели дневники наблюдения мигрени). По результатам данного исследования оба протокола – как анодная ($MD = -1,92$; $p = 0,066$), так и катодная ($MD = -2,15$;

$p = 0,023$) ТЭС положительно коррелирует с общим снижением дней в месяц с эпизодами головных болей, а также с их интенсивностью на первой неделе после окончания курса нейромодуляции, хотя только катодный протокол продемонстрировал эффективность в отношении снижения приема лекарственных средств ($MD = -1,26$, $p = 0,01$), а также пролонгации положительного эффекта, который сохранялся в течение двух недель ($MD = -2,00$; $p = 0,010$).

ТРАНСКРАНИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТИМУЛЯЦИЯ В ГРУППЕ ПАЦИЕНТОВ С ЭПИЗОДИЧЕСКОЙ МИГРЕНЬЮ

В различных исследованиях, где ТЭС применяли для лечения эпизодической мигрени (ЭМ) с аурой, особенно изучалось влияние стимуляций на зрительные симптомы, например, такие как фотофобия или зрительные скотомы. В исследовании Н. Pohl [27], основной целью которого стало изучение возможного влияния ТЭС на профилактику приступов ЭМ, были получены противоречивые результаты при анализе влияния наличия или отсутствия ауры в отношении эффективности ТЭС. В исследовании приняли участие 28 пациентов в возрасте 18–80 лет с ЭМ. Анодная стимуляция в течение 28 дней, при которой целевой электрод Oz располагался в затылочной области, а возвратный над областью Cz, продемонстрировала значительное снижение количества приступов мигрени в месяц по сравнению с группой имитации ТЭС (средневзвешенная разница = 2,96, 95% ДИ = [0,23, 5,69], $p = 0,03$), а также в интервале от 1 и до 3 мес. (средневзвешенная разница = 1,94, 95% ДИ = [1,57, 2,30], $p < 0,00001$) по сравнению с группой имитации ТЭС. Однако в период более 3 мес. различий между двумя группами обнаружено не было.

Согласно полученным данным, пациенты с мигренью и наличием ауры имели большее преимущество по сравнению с пациентами без ауры в плане снижения интенсивности головной боли. При этом не была выявлена разница в отношении улучшения других симптомов мигрени у пациентов с аурой в сравнении с пациентами без ауры. Четыре пациента активной группы (36,3%) и два пациента контрольной группы (16,7%) сообщили об 50%-ном уменьшении симптомов по прошествии терапевтического курса. Низкое количество 50%-ного ответа на терапию в группе ТЭС авторы объясняют индивидуальными особенностями ответа пациентов на нейростимуляцию, что указывает на потребность увеличения числа исследований по данному направлению.

По результатам анализа исследования [31], в котором оценивался эффект активной ТЭС для снижения интенсивности боли, было обнаружено, что активная ТЭС приводила к значительному снижению интенсивности боли в период после лечения до 1 мес. (средневзвешенная разница = 2,45, 95% ДИ = [1,41, 3,49], $p < 0,00001$), от 1 и до 3 мес. (средневзвешенная разница = 0,82, 95% ДИ = [0,22, 1,42], $p = 0,007$) и более 3 мес. (средневзвешенная разница = 3,04, 95% ДИ = [0,08, 6,01], $p = 0,04$) по сравнению с фиктивной стимуляцией.

Важно отметить, что в отобранных для метаанализа исследованиях наиболее часто применялись следующие

монтажи: первичная моторная кора (M1), первичная сенсорная кора (S1), дорсолатеральная префронтальная кора (DLPFC) и зрительная кора (VC). Анодная стимуляция использовалась для DLPFC, M1, VC, катодная – M1, S1, VC. По результатам анализа было установлено, что наибольшая эффективность при применении ТЭС была достигнута при активации зоны M1 или активации/торможении зоны VC. В исследованиях не наблюдалось увеличения частоты неблагоприятных побочных реакций.

Весьма интересное исследование S. Schading 2021 г. [28] было посвящено изучению изменений объема серого вещества головного мозга с помощью нейровизуализационных методов в группе пациентов, страдающих ЭМ. На протяжении 28 дней как в группе ТЭС (активной и имитации; $n = 24$), так и в контрольной группе здоровых добровольцев ($n = 31$) осуществлялась серия трех последовательных МРТ головного мозга (исходный этап до проведения ТЭС; через 1,5 и через 5,5 мес. после проведения завершающей процедуры). Сама процедура ТЭС заключалась в анодной стимуляции области зрительной коры с наложением электродов: целевого на Oz, возвратного – Cz. Так, сравнивая МРТ до терапии у пациентов с ЭМ со здоровыми добровольцами, было отмечено значительное увеличение объемов левой язычной извилины ($p = 0,003$), в то время как различий в подгруппах «наличие/отсутствие ауры» отмечено не было. Авторы отмечают, что пациенты с ЭМ имели большие изменения объемов затылочной корковой области, локализованной в левой язычной извилине, по сравнению с контрольной группой. При этом данные корковые изменения в группе ЭМ никак не коррелировали с интенсивностью, продолжительностью приступов или наличием ауры. Исследуя изменение объема серого вещества в течение проведения ежедневных процедур ТЭС, авторы обнаружили: 1) объемные изменения области левой язычной извилины в группе пациентов ЭМ носят динамический характер, при этом происходит выраженное снижение объема по мере проведения ТЭС по сравнению с группой имитации, 2) динамические изменения объема имели положительную корреляцию со снижением количества приступов в месяц в группе пациентов с ЭМ по сравнению с группой плацебо, однако данное исследование включало общее небольшое число участников ($n = 24$).

Группа исследователей под руководством R. Ornello опубликовала данные метаанализа, посвященного влиянию ТЭС на предупреждение мигренозных приступов [32]. В результате проведенного систематического обзора, посвященного различным протоколам и метрикам наложения электродов при ТЭС, авторы пришли к заключению, что наличие ауры никак не влияет на исходы и качество проведения стимуляции, при этом снижение интенсивности и продолжительности мигренозной атаки было отмечено во всех группах нейростимуляции: анодной, катодной, а также при сочетании этих двух типов. При этом протоколы катодной стимуляции имели отличия по наложению электродов: 1) на затылочный участок коры (Oz) с центральным заземлением (Cz); 2) ипсилатерально на участок затылочной коры (O1/O2) по отношению

к стороне с доминирующим болевым синдромом с наложением возвратного в области контралатеральной префронтальной коры (Fr1/Fr2). Чаще при использовании протоколов анодной стимуляции активный электрод располагался в области С3/С4 с расположением второго возвратного электрода в области Fr2/Fr1. По мнению авторов, все применяемые в настоящее время протоколы эффективны по отношению к снижению продолжительности мигренозного приступа и интенсивности головной боли, однако накоплено достаточно знаний для выделения более эффективного протокола в терапии мигрени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, ТЭС показала себя как эффективный и безопасный инструмент как в отношении болевой симптоматики мигрени, так и для профилактики мигренозных приступов.

Однако, несмотря на общий положительный результат, наиболее эффективный протокол стимуляции до настоящего момента не определен. Открытым также остается вопрос индивидуализации протоколов стимуляции и повышения их эффективности в сравнении со стандартными монтажами.

Необходимо проведение дальнейших клинических исследований на расширенных выборках пациентов с использованием дополнительных методов, таких, например, как нейровизуализация.

Более того, одним из перспективных направлений дальнейших исследований в этой области является персонализация протоколов транскраниальной стимуляции с целью повышения эффективности применяемого неинвазивного метода лечения мигрени.



Поступила / Received 26.02.2024
Поступила после рецензирования / Revised 15.03.2024
Принята в печать / Accepted 21.03.2024

Список литературы / References

- Steiner TJ, Stovner LJ. Global epidemiology of migraine and its implications for public health and health policy. *Nat Rev Neurol*. 2023;19(2):109–117. <https://doi.org/10.1038/s41582-022-00763-1>.
- Lew C, Punnapuzha S. Migraine Medications. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553159>.
- Табеева ГР, Кацарова З. Современная концепция патофизиологии и новые мишени терапии мигрени. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2020;12(4):143–152. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2020-4-143-152>.
- Tabeeva GR, Katsarava Z. Current concept of the pathophysiology of migraine and new targets for its therapy. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2020;12(4):143–152. (In Russ.) <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2020-4-143-152>.
- Сергеев АВ, Табеева ГР, Филатова ЕГ, Амелин АВ, Ахмадеева ЛР, Лебедева ЕР и др. Применение новой биологической патогенетической терапии мигрени в клинической практике: консенсус экспертов Российского общества по изучению головной боли. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2022;14(5):109–116. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2022-5-109-116>.
- Sergeev AV, Tabeeva GR, Filatova EG, Amelin AV, Akhmadeeva LR, Lebedeva ER et al. Application of a new biological pathogenetic therapy of migraine in clinical practice: expert consensus of the Russian Headache Research Society. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2022;14(5):109–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2022-5-109-116>.
- Lanteri-Minet M, Goadsby PJ, Reuter U, Wen S, Hours-Zesiger P, Ferrari MD, Klatt J. Effect of erenumab on functional outcomes in patients with episodic migraine in whom 2–4 preventives were not useful: results from the LIBERTY study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2021;92(5):466–472. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2020-324396>.
- Табеева ГР. Проблемы выбора эффективного обезболивания при мигрени. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2023;15(5):109–116. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2023-5-109-116>.
- Tabeeva GR. Problems in the selection of effective analgesics for migraine. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2023;15(5):109–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2023-5-109-116>.
- Табеева ГР, Амелин АВ, Ахмадеева ЛР, Данилов АВ, Доронина ОБ, Коreshкина МИ и др. Оптимизация купирования приступов мигрени. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2023;15(2):126–133. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2023-2-126-133>.
- Tabeeva GR, Amelin AV, Akhmadeeva LR, Danilov AB, Doronina OB, Koreshkina MI et al. Optimization of migraine attacks relief. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2023;15(2):126–133. (In Russ.) <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2023-2-126-133>.
- Филатова ЕГ, Осипова ВВ, Табеева ГР, Парфенов ВА, Кукушева ЕА, Азимова ЮЭ и др. Диагностика и лечение мигрени: рекомендации российских экспертов. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2020;12(4):4–14. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2020-4-4-14>.
- Filatova EG, Osipova VV, Tabeeva GR, Parfenov VA, Ekusheva EV, Azimova YuE et al. Diagnosis and treatment of migraine: Russian experts' recommendations. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2020;12(4):4–14. (In Russ.) <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2020-4-4-14>.
- Hepp Z, Dodick DW, Varon SF, Chia J, Matthew N, Gillard P et al. Persistence and switching patterns of oral migraine prophylactic medications among patients with chronic migraine: A retrospective claims analysis. *Cephalalgia*. 2017;37(5):470–485. <https://doi.org/10.1177/0333102416678382>.
- Bae JY, Sung HK, Kwon NY, Go HY, Kim TJ, Shin SM, Lee S. Cognitive Behavioral Therapy for Migraine Headache: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicina (Kaunas)*. 2021;58(1). <https://doi.org/10.3390/medicina58010044>.
- Amatrudo G, Kengetter J, McCrea S, Amatrudo M. Cognitive Behavioral Therapy for the Management of Episodic Migraine. *Curr Pain Headache Rep*. 2023;27(9):471–477. <https://doi.org/10.1007/s11916-023-01129-y>.
- Koehlin H, Coakley R, Schechter N, Werner C, Kossowsky J. The role of emotion regulation in chronic pain: A systematic literature review. *J Psychosom Res*. 2018;107:38–45. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2018.02.002>.
- Thorn BE. Ronald Melzack Award Lecture: Putting the brain to work in cognitive behavioral therapy for chronic pain. *Pain*. 2020;161(Suppl. 1):S27–S35. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001839>.
- Kroon Van Diest AM, Powers SW. Cognitive Behavioral Therapy for Pediatric Headache and Migraine: Why to Prescribe and What New Research Is Critical for Advancing Integrated Biobehavioral Care. *Headache*. 2019;59(2):289–297. <https://doi.org/10.1111/head.13438>.
- Головачева ВА, Головачева АА, Парфенов ВА, Табеева ГР, Романов ДВ, Осипова ВВ, Кацарова З. Когнитивно-поведенческая терапия в лечении хронической мигрени: описание клинического случая. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2021;13(1):74–80. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2021-1-74-80>.
- Golovacheva VA, Golovacheva AA, Parfenov VA, Tabeeva GR, Romanov DV, Osipova VV, Katsarava Z. Cognitive behavioral therapy in the treatment of chronic migraine: a clinical case report. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2021;13(1):74–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2021-1-74-80>.
- Rosignoli C, Ornello R, Onofri A, Caponnetto V, Grazzi L, Raggi A et al. Applying a biopsychosocial model to migraine: rationale and clinical implications. *J Headache Pain*. 2022;23(1):100. <https://doi.org/10.1186/s10194-022-01471-3>.
- Кулеш АА, Парфенов ВА. Вестибулярная мигрень: эпидемиология, патогенез, клиническая картина, диагностика и лечение. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2022;14(6):4–11. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2022-6-4-11>.
- Kulesh AA, Parfenov VA. Vestibular migraine: epidemiology, pathogenesis, clinical picture, diagnosis and treatment. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2022;14(6):4–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2022-6-4-11>.
- Woldeamanuel YW, Shrivastava S, Vila-Pueyo M. Editorial: Lifestyle modifications to manage migraine. *Front Neurol*. 2022;13:966424. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.966424>.
- Bikson M, Esmailpour Z, Adair D, Kronberg G, Tyler WJ, Antal A et al. Transcranial electrical stimulation nomenclature. *Brain Stimul*. 2019;12(6):1349–1366. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.07.010>.
- Pelletier SJ, Cicchetti F. Cellular and molecular mechanisms of action of transcranial direct current stimulation: evidence from in vitro and in vivo models. *Int J Neuropsychopharmacol*. 2014;18(2):pyu047. <https://doi.org/10.1093/ijnp/pyu047>.

21. Табеева ГР, Филатова ЕГ, Амелин АВ, Осипова ВВ, Артеменко АР, Ахмадеева ЛР и др. Альтернативные и комPLEMENTАРНЫЕ методы лечения мигрени. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2024;16(1):4–15. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2024-1-4-15>.
22. Cai G, Xia Z, Charvet L, Xiao F, Datta A, Androulakis XM. A Systematic Review and Meta-Analysis on the Efficacy of Repeated Transcranial Direct Current Stimulation for Migraine. *J Pain Res*. 2021;14:1171–1183. <https://doi.org/10.2147/jpr.s295704>.
23. Dalla Volta G, Marceglia S, Zavarise P, Antonaci F. Cathodal tDCS Guided by Thermography as Adjunctive Therapy in Chronic Migraine Patients: A Sham-Controlled Pilot Study. *Front Neurol*. 2020;11:121. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00121>.
24. Hodaj H, Payen JF, Mick G, Vercueil L, Hodaj E, Dumolard A et al. Long-term prophylactic efficacy of transcranial direct current stimulation in chronic migraine. A randomised, patient-assessor blinded, sham-controlled trial. *Brain Stimul*. 2022;15(2):441–453. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2022.02.012>.
25. De Icco R, Putorti A, De Paoli I, Ferrara E, Cremascoli R, Terzaghi M et al. Anodal transcranial direct current stimulation in chronic migraine and medication overuse headache: A pilot double-blind randomized sham-controlled trial. *Clin Neurophysiol*. 2021;132(1):126–136. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.10.014>.
26. Mansour AG, Ahdab R, Khazen G, El-Khoury C, Sabbouh TM, Salem M et al. Transcranial Direct Current Stimulation of the Occipital Cortex in Medication Overuse Headache: A Pilot Randomized Controlled Cross-Over Study. *J Clin Med*. 2020;9(4):1075. <https://doi.org/10.3390/jcm9041075>.
27. Pohl H, Moisa M, Jung HH, Brenner K, Aschmann J, Riederer F et al. Long-Term Effects of Self-Administered Transcranial Direct Current Stimulation in Episodic Migraine Prevention: Results of a Randomized Controlled Trial. *Neuromodulation*. 2021;24(5):890–898. <https://doi.org/10.1111/ner.13292>.
28. Schading S, Pohl H, Gantenbein A, Luechinger R, Sandor P, Riederer F et al. Tracking tDCS induced grey matter changes in episodic migraine: a randomized controlled trial. *J Headache Pain*. 2021;22(1):139. <https://doi.org/10.1186/s10194-021-01347-y>.
29. Ahdab R, Mansour AG, Khazen G, El-Khoury C, Sabbouh TM, Salem M et al. Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation of the Occipital cortex in Episodic Migraine: A Randomized Sham-Controlled Crossover Study. *J Clin Med*. 2019;9(1):60. <https://doi.org/10.3390/jcm9010060>.
30. MASTRIA G, Viganò A, Corrado A, Mancini V, Pirillo C, Badini S et al. Chronic Migraine Preventive Treatment by Prefrontal-Occipital Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS): A Proof-of-Concept Study on the Effect of Psychiatric Comorbidities. *Front Neurol*. 2021;12:654900. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.654900>.
31. Hong P, Liu Y, Wan Y, Xiong H, Xu Y. Transcranial direct current stimulation for migraine: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *CNS Neurosci Ther*. 2022;28(7):992–998. <https://doi.org/10.1111/cns.13843>.
32. Ornello R, Caponnetto V, Ratti S, D'Aurizio G, Rosignoli C, Pistoia F et al. Which is the best transcranial direct current stimulation protocol for migraine prevention? A systematic review and critical appraisal of randomized controlled trials. *J Headache Pain*. 2021;22(1):144. <https://doi.org/10.1186/s10194-021-01361-0>.
33. Feng Y, Zhang B, Zhang J, Yin Y. Effects of Non-invasive Brain Stimulation on Headache Intensity and Frequency of Headache Attacks in Patients With Migraine: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Headache*. 2019;59(9):1436–1447. <https://doi.org/10.1111/head.13645>.
34. Auvichayapat P, Janyacharoen T, Rotenberg A, Tiamkao S, Krisanaprakornkit T, Sinawat S, et al. Migraine prophylaxis by anodal transcranial direct current stimulation, a randomized, placebo-controlled trial. *J Med Assoc Thai*. 2012;95(8):1003–1012. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23061303/>
35. Antal A, Kriener N, Lang N, Boros K, Paulus W. Cathodal transcranial direct current stimulation of the visual cortex in the prophylactic treatment of migraine. *Cephalalgia*. 2011;31(7):820–828. <https://doi.org/10.1177/0333102411399349>.
36. Rocha S, Melo L, Boudoux C, Foerster Á, Araújo D, Monte-Silva K. Transcranial direct current stimulation in the prophylactic treatment of migraine based on interictal visual cortex excitability abnormalities: A pilot randomized controlled trial. *J Neurol Sci*. 2015;349(1-2):33–39. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2014.12.018>.

Вклад авторов:

Концепция статьи – С.П. Бордовский, С.С. Андреев
 Концепция и дизайн исследования – С.П. Бордовский, С.С. Андреев
 Написание текста – О.О. Зинченко, У.В. Панина, С.П. Бордовский, А.Е. Потахина
 Сбор и обработка материала – У.В. Панина, С.С. Андреев
 Обзор литературы – В.Д. Котенко, Р.А. Тахиров, О.О. Зинченко
 Анализ материала – С.П. Бордовский, Р.А. Тахиров
 Статистическая обработка – К.В. Шевцова
 Редактирование – У.В. Панина
 Утверждение окончательного варианта статьи – С.П. Бордовский, К.В. Шевцова, О.О. Зинченко

Contribution of authors:

Concept of the article – Sergey P. Bordovsky, Sergey S. Andreev
 Study concept and design – Sergey P. Bordovsky, Sergey S. Andreev
 Text development – Oksana O. Zinchenko, Uliana V. Panina, Sergey P. Bordovsky, Alina E. Potakhina
 Collection and processing of material – Uliana V. Panina, Sergey S. Andreev
 Literature review – Valentina D. Kotenko, Renat A. Takhirov, Oksana O. Zinchenko
 Material analysis – Sergey P. Bordovsky, Renat A. Takhirov
 Statistical processing – Kseniya V. Shevtsova
 Editing – Uliana V. Panina
 Approval of the final version of the article – Sergey P. Bordovsky, Kseniya V. Shevtsova, Oksana O. Zinchenko

Информация об авторах:

Бордовский Сергей Петрович, аспирант кафедры нервных болезней и нейрохирургии Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0000-0002-6928-2355>; sbordoche@gmail.com

Андреев Сергей Степанович, стажер-исследователь, Центр нейроэкономики и когнитивных исследований, Институт когнитивных нейронаук, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»; 101000, Россия, Москва, ул. Мясницкая, д. 20; <https://orcid.org/0000-0001-9734-7606>; ssandreev@hse.ru

Зинченко Оксана Олеговна, к.псих.н., старший научный сотрудник Центра нейроэкономики и когнитивных исследований Института когнитивных нейронаук, доцент департамента психологии, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»; 101000, Россия, Москва, ул. Мясницкая, д. 20; <https://orcid.org/0000-0002-7976-3224>; ozinchenko@hse.ru

Панина Ульяна Валерьевна, студент Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0003-0970-7934>; ulyapanina@gmail.ru

Котенко Валентина Дмитриевна, студент Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0008-7381-9814>; kotenko.tina1@inbox.ru

Тахиров Ренат Аснаилович, студент Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0000-2050-0553>; kpyure@inbox.ru

Потахина Алина Евгеньевна, студент, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, д. 1; <https://orcid.org/0009-0008-8448-6453>; alina.potakhina@yandex.ru

Шевцова Ксения Викторовна, ассистент кафедры нервных болезней и нейрохирургии Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0000-0002-9228-5108>; dr.kseniya.shevtsova@gmail.com

Contribution of authors:

Sergey P. Bordovsky, Postgraduate Student of the Department of Nervous Diseases and Neurosurgery, Institute of Clinical Medicine named after N.V. Sklifosovsky, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-6928-2355>; sbordoche@gmail.com

Sergey S. Andreev, Research Intern, Centre for Cognition and Decision Making, Institute for Cognitive Neuroscience, HSE University; 20, Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-9734-7606>; ssandreev@hse.ru

Oksana O. Zinchenko, Cand. Sci. (Psych.), Senior Researcher at the Centre for Cognition and Decision Making, Institute for Cognitive Neuroscience, HSE University; 20, Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-7976-3224>; ozinchenko@hse.ru

Uliana V. Panina, Student, Institute of Clinical Medicine named after N.V. Sklifosovsky, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0003-0970-7934>; ulyapanina@gmail.ru

Valentina D. Kotenko, Student, Institute of Clinical Medicine named after N.V. Sklifosovsky, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0008-7381-9814>; kotenko.tina1@inbox.ru

Renat A. Takhirov, Student, Institute of Clinical Medicine named after N.V. Sklifosovsky, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0000-2050-0553>; kpyure@inbox.ru

Alina E. Potakhina, Student, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia; <https://orcid.org/0009-0008-8448-6453>; alina.potakhina@yandex.ru

Kseniya V. Shevtsova, Assistant, Department of Neurology and Neurosurgery, Institute of Clinical Medicine named after N.V. Sklifosovsky, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-9228-5108>; dr.kseniya.shevtsova@gmail.com