Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова
2020, т. 120, №12, с. 123-130
https://doi.org/10.17116/jnevro2020120121123

S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry
2020, vol. 120, no 12, pp. 123-130
https://doi.org/10.17116/jnevro20201201121123

Транскраниальная стимуляция постоянным током в неврологии и психиатрии

© Е.Л. ПАВЛОВА[1], А.А. МЕНЬШИКОВА[2], Р.Г. АКЖИГИТОВ[2], А.Б. ГЕХТ [2, 3]

[1]Каролинский институт, Стокгольм, Швеция;
[2]ГБУЗ города Москвы «Научно-практический психоневрологический центр им. З.П. Соловьева ДЗМ», Москва, Россия;
[3]ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россияя

Резюме

Транскраниальная стимуляция постоянным током (transcranial direct current stimulation — tDCS) является неинвазивным методом модуляции возбудимости головного мозга слабым постоянным током. В настоящее время существует большое количество исследований применения tDCS при различных психических и неврологических заболеваниях. В данном обзоре рассмотрены данные об эффективности применения tDCS в коррекции различных нарушений, а также приведены рекомендации по использованию данного метода в клинической практике.

Ключевые слова: *транскраниальная стимуляция постоянным током, tDCS, депрессия, инсульт.*

Информация об авторах:
Павлова Е.Л. — https://orcid.org/0000-0002-7953-1909
Меньшикова А.А., — https://orcid.org/0000-0002-7953-1909
Акжигитов Р.Г. — https://orcid.org/0000-0001-7777-2920
Гехт А.Б. — https://orcid.org/0000-0002-1170-6127
Автор, ответственный за переписку: Меньшикова Александра Алексеевна — e-mail: menshikoff24@yandex.ru

Как цитировать:
Павлова Е.Л., Меньшикова А.А., Акжигитов Р.Г., Гехт А.Б. Транскраниальная стимуляция постоянным током в неврологии и психиатрии. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2020;120(12):123–130. https://doi.org/10.17116/jnevro2020120121123

Transcranial direct current stimulation in neurology and psychiatry

© E.L. PAVLOVA[1], A.A. MENSHIKOVA[2], R.G. AKZHIGITOV[2], A.B GUEKHT[2, 3]

[1]Karolinska Institute, Stockholm, Sweden;
[2]Soloviev Scientific and Practical Psychoneurological Center, Moscow, Russia;
[3]Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract

Transcranial direct current stimulation (tDCS) is a non-invasive method of modulating brain excitability by low intensity direct current. At present, there are numerous studies of tDCS application in various mental and neurological diseases. In this review, the data of tDCS efficiency in the treatment of different disorders are presented and the recommendations on using this method in clinical practice are given.

Keywords: *transcranial direct current stimulation, tDCS, depression, stroke.*

Information about the authors:
Pavlova E.L. — https://orcid.org/0000-0002-7953-1909
Menshikova A.A. — https://orcid.org/0000-0002-7953-1909
Akzhigitov R.G. — https://orcid.org/0000-0001-7777-2920
Guekht A.B. — https://orcid.org/0000-0002-1170-6127
Corresponding author: Menshikova A.A. — e-mail: menshikoff24@yandex.ru

To cite this article:
Pavlova EL, Menshikova AA, Akzhigitov RG, Guekht AB. Transcranial direct current stimulation in neurology and psychiatry. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry = Zhurnal nevrologii i psikhiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2020;120(12):123–130. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/jnevro2020120121123

Транскраниальная стимуляция постоянным током (transcranial direct current stimulation — tDCS) является неинвазивным методом модуляции возбудимости головного мозга слабым постоянным током. При tDCS электроды накладываются на кожу головы в местах проекции определенных корковых зон. В настоящее время метод показал свою эффективность, однако нуждается в дальнейшей оптимизации. В данном обзоре рассматриваются основные результаты исследований эффективности применения tDCS в клинической практике.

Исследования возможностей использования транскраниальной стимуляции постоянным током в неврологии и психиатрии стали активно проводиться в начале 2000-х годов. Они основывались на данных, полученных в экспериментах на животных в 1960-х годах. В этих экспериментах электроды накладывались непосредственно на кору головного мозга. Тогда было показано, что положительный ток вызывает увеличение фоновой активности и вызванных потенциалов, а отрицательный — снижение. Данный эффект сохранялся в течение нескольких часов после воздействия током длительностью более 5 мин [1, 2]. Эти результаты подтвердились и при неинвазивной стимуляции первичной моторной коры (M1) слабым током у здоровых людей.

Если анодная (положительная) стимуляция (1 мА) увеличивает возбудимость коры, что было показано при регистрации вызванных моторных ответов в зоне M1 после tDCS, то катодная (отрицательная) стимуляция уменьшает возбудимость [3, 4]. Короткая продолжительность стимуляции (в пределах нескольких секунд) является достаточной, чтобы вызвать изменения возбудимости областей мозга, находящихся под электродами [5, 6]. Более длительная стимуляция (5 мин и более) вызывает изменения возбудимости, которые могут сохраняться в течение часа и более [3, 4]. Установлено, что ежедневные (но не еженедельные) сеансы стимуляции приводят к накопительному эффекту [7].

Методика стимуляции

Наиболее часто используемая сила тока при tDCS составляет 1—2 мА, период воздействия длится 20—30 мин, количество сессий в клинических испытаниях составляет 5 и более. Электроды имеют значительный размер (до 25—35 $см^2$) и накладываются на различные зоны коры головного мозга в зависимости от нозологии. Наиболее частыми областями для стимуляции являются первичная моторная кора (M1) и дорсолатеральная префронтальная кора (dorsolateral prefrontal cortex — DLPFC).

Во многих современных приборах tDCS имеется возможность проведения двойных слепых исследований с помощью sham-стимуляции (имитированной стимуляции). Большинство работ, посвященные изучению эффективности применения tDCS, является контролируемыми с помощью имитированной стимуляции рандомизированными исследованиями.

Механизм tDCS

В настоящее время механизм tDCS является предметом дискуссий. Было показано, что решающее значение для длительного изменения возбудимости после стимуляции имеет глутаматергическая пластичность, регулируемая, предположительно, дезингибированием за счет снижения содержания гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК) [8—10]. Необходимость участия NMDA-рецепторов, поступления Ca^{2+} и синтеза белка говорят о возможном сходстве механизма tDCS с нейропластичностью по типу таких нейрофизиологических коррелятов обучения, как долговременное потенцирование (long-term potentiation — LTP) и долговременное торможение (long-term depression — LTD) [8—10].

В дополнение к влиянию непосредственно на область под электродами были выявлены благодаря методам нейровизуализации и ЭЭГ также изменения функциональных связей между удаленными участками мозга после воздействия tDCS [11].

В настоящее время tDCS считается безопасным методом и не вызывает каких-либо серьезных побочных явлений [12].

В последние годы были опубликованы многочисленные исследования, посвященные изучению применения tDCS при различных психических и неврологических заболеваниях. В данном обзоре рассматривается tDCS при инсульте, депрессии, хронической боли, зависимостях, болезни Паркинсона, эпилепсии, шуме в ушах, шизофрении.

Применение tDCS при разных формах патологии

Инсульт

Наибольшее количество исследований эффективности применения tDCS посвящено ее использованию в реабилитации после инсульта, которое основано на принципе реципрокного торможения [13].

В здоровом мозге нейронная активность в моторных областях обоих полушарий уравновешивается взаимным тормозным контролем. Согласно концепции реципрокного торможения, снижение активности моторной коры на пораженной стороне приводит к ослаблению тормозного контроля над моторной корой на противоположной стороне у пациентов после инсульта. Усиленная активация интактной коры приводит, в свою очередь, к дальнейшему снижению активности на пораженной стороне. Чтобы нормализовать баланс между полушариями и улучшить моторную функцию пострадавшей стороны, было предложено [14] либо активировать моторную кору пораженной стороны, либо ингибировать неповрежденную сторону. Показано, что анодная стимуляция первичной моторной коры, контрлатеральной по отношению к стороне пареза, и катодная стимуляция ипсилатеральной моторной коры эффективны для улучшения двигательной функции кисти при инсульте. В пилотном перекрестном исследовании F. Fregni и соавт. [14] изучалось влияние анодной tDCS моторной коры, контрлатеральной по отношению к стороне пареза, ипсилатеральной катодной tDCS и имитированной стимуляции на тонкую моторику руки. Изменение времени, необходимого для выполнения теста Джебсона—Тэйлора (теста для оценки моторной функции руки), служило показателем эффекта воздействия. Эффект от воздействия обоих видов активной tDCS превосходил эффект от имитированной стимуляции. F. Hummel и соавт. [15] показали также, что изменения моторной функции сохраняются и после tDCS и коррелируют с изменениями возбудимости коры. Степень улучшения моторной функции руки в отдаленном восстановительном периоде после инсульта составляет от 10 до 30% в разных исследованиях tDCS [13]. Было установлено, что повторение сессий tDCS приводит к накопительному эффекту. Так, в работе P. Boggio и соавт. [7] были получены данные, согласно которым ежедневные сеансы tDCS в течение пяти дней приводили к со-

кращению времени выполнения теста Джебсона—Тейлора, что показывало улучшение моторной функции. Данный эффект сохранялся в течение минимум двух недель. В исследовании Е.Л. Павловой и соавт. [16] было установлено, что эффективность применения tDCS при инсульте в раннем восстановительном периоде выше, чем в отдаленном восстановительном периоде.

Количество публикаций, касающихся эффективности применения tDCS у пациентов после инсульта, продолжает расти, однако единого стандартного протокола, приводящего к стабильным положительным результатам, пока не предложено. Поскольку механизмы tDCS имеют сходство с механизмами обучения (долговременное потенцирование и долговременное торможение), перспективным выглядит сочетание моторного обучения в процессе восстановительной терапии (например, терапии индуцированным ограничением в восстановлении двигательных функций (Constraint-Induced Movement Therapy — CIMT) и tDCS. В некоторых публикациях показано, что после курса комбинированной терапии (tDCS + моторное обучение) может быть достигнуто клинически значимое улучшение моторной функции [17].

В ряде публикаций, где проводился метаанализ работ за предыдущие годы, в целом отмечается улучшение моторной функции при использовании tDCS после инсульта [18]. Однако в других исследованиях улучшение моторной функции выявлено только при нарушениях легкой и средней тяжести, что говорит о некоторых ограничениях реабилитационных возможностей tDCS [19]. Показано также, что в результате воздействия tDCS у пациентов после инсульта в подкорковой области достигается большее улучшение моторной функции по сравнению с пациентами после инсульта в коре [19, 20]. Кроме того, эффект применения tDCS зависит от сохранности пирамидного тракта, а также наличия функциональных связей после инсульта [18, 19].

В целом чувствительность к воздействию tDCS у пациентов после инсульта отличается значительной вариабельностью. Эффективность использования tDCS может зависеть от параметров tDCS, индивидуальных анатомических и/или физиологических особенностей, типа инсульта, размера пораженной области, стадии восстановления, а также от функциональных пластических изменений в процессе восстановления. В частности, предполагается, что при небольшом поражении первичной моторной коры в результате инсульта моторная функция руки переходит к другим областям первичной моторной коры, тогда как при более значительном поражении первичной моторной коры — к премоторным областям того же полушария, в случае же инсульта с большой областью поражения — в первичную моторную кору противоположной стороны [21].

Таким образом, необходимы дальнейшие исследования в этой области, особенно направленные на поиск предикторов индивидуального эффекта tDCS.

Депрессия

Согласно оценке Европейского отделения Международной федерации клинической нейрофизиологии (European Chapter of the International Federation of Clinical Neurophysiology), применение tDCS при нерезистентной к медикаментозному лечению депрессии эффективно, а при резистентной — может быть неэффективно [22]. Отсутствие позитивного эффекта от применения tDCS в некоторых исследованиях может быть обусловлено использованием данного метода на фоне лечения антидепрессантами или курса когнитивной психотерапии [23].

Положение электродов при лечении депрессии tDCS основывается на данных, полученных с помощью методов нейровизуализации. Как было показано, при депрессии существует дисбаланс между гипоактивной левой DLPFCи гиперактивной правой DLPFC [24]. Обычно используют анодный тип tDCS левой DLPFC с катодом, расположенным либо на правой орбитофронтальной коре, либо на правой зоне DLPFC [25].

В исследованиях была отмечена разная степень эффективности применения tDCS при депрессии. Так, например, в работе F. Fregni с соавт. [26] было установлено снижение показателей по шкале депрессии Гамильтона на 59% против 13% в группе имитированной стимуляции. P. Boggio и соавт. [27] выявили снижение уровня депрессии на 40% в активной группе против 10% в группе имитированной стимуляции. В исследовании C. Loo и соавт. [28] было выявлено 28%-е снижение выраженности депрессии по шкале Монтгомери—Асберг.

Наиболее масштабным исследованием влияния tDCS на депрессию является двойное слепое контролируемое исследование, проведенное A. Brunoni и соавт. [29]. В данной работе использовались ежедневные 30-минутные сеансы tDCS на протяжении 10 дней. Исследование включает 120 пациентов с умеренным или тяжелым непсихотическим депрессивным расстройством. Было выявлено преимущество применения tDCS в сочетании с 50 мг сертралина по сравнению с применением только tDCS, только сертралина или имитированной стимуляции. Исследование показало снижение выраженности депрессии на 56% через месяц после окончания терапии в группе комбинированного лечения по сравнению с 40% в группе, где использовалась только tDCS, с 30% — в группе, где применялся только сертралин и с 18% — в группе имитированной стимуляции. При этом 63% пациентов комбинированной группы являлись респондерами (отмечалось минимум 50%-е улучшение), 47% пациентов этой же группы достигали ремиссии.

В исследовании, проведенном Е.Л Павловой и соавт. [30], изучался эффект влияния длительности сессии tDCS на эффективность лечения депрессии при обследовании 69 пациентов с легкой и умеренной депрессией. Все пациенты были рандомизированы на три группы: 30-минутной, 20-минутной и плацебо tDCS. 10 ежедневных сеансов анодной имитированной стимуляции tDCS (0,5 мА, электрод 3,5×7 см) зоны левой DLPFC проводились на фоне ежедневного приема 50 мг сертралина. Группа имитированной стимуляции имела меньшее снижение симптомов депрессии (43%), по сравнению с 30-минутной (64%, p=0,00003) и 20-минутной группами (53%, p=0,045). В 30-минутной группе эффект комбинированной терапии был выше, чем в 20-минутной группе (p=0,02). В группах с 30-минутной, 20-минутной tDCS и имитированной стимуляцией ответившие на процедуру составляли 89%, 68% и 50%, а пациенты с ремиссией — 70%, 27% и 35% соответственно. Выраженных побочных явлений при tDCS обнаружено не было, кроме двух случаев гипомании и одного случая повышения артериального давления в группе 20-минутной tDCS. Используемые в этом исследовании параметры tDCS могут быть рекомендованы для дальнейшего применения в клинической практике.

Боль

Изучению влияния tDCS на боль различного генеза посвящено достаточно большое количество работ. В таких исследованиях в основном использовалась анодная стимуляция зоны M1, однако в некоторых работах стимулировали DLPFC, контрлатеральную к фокусу боли, а при диффузной боли — моторную кору доминантного полушария [31—35]. Предполагается, что стимуляция прецентральных областей коры головного мозга позволяет установить связь со структурами, вовлеченными в сенсорный или эмоциональный компоненты боли либо облегчить нисходящий ингибиторный контроль. Наиболее часто используемый протокол представляет собой 20-минутную анодную tDCS первичной моторной коры в течение пяти последовательных дней; такая терапия может привести к значительному обезболивающему эффекту на протяжении 2—6 нед [32—35]. Кроме того, как показано в недавнем двойном слепом исследовании, включающем 40 пациентов с синдромом фибромиалгии, 2 нед стимуляции приводят к более выраженному обезболивающему эффекту, чем 1 нед стимуляции [35]. Было отмечено почти двукратное снижение выраженности симтомов фибромиалгии после 2 нед tDCS, которое сохранялось на протяжении как минимум месяца. Согласно оценке Европейского отделения Международной федерации клинической нейрофизиологии, с наибольшей уверенностью можно говорить о возможной эффективности анодной tDCS зоны левой M1 при фибромиалгии, а также при боли в нижних конечностях в результате повреждений спинного мозга.

Эффективность применения tDCS при боли в нижних конечностях из-за поражения периферической нервной системы, а также при боли, связанной с дисфункцией височно-нижнечелюстного сустава, не была подтверждена.

Недостаточное количество исследований по применению tDCS при мигрени не позволяет сделать заключение об эффективности метода при этом заболевании.

Болезнь Паркинсона

В большинстве исследований при болезни Паркинсона изучалось применение однократной tDCS зоны левой DLPFC с целью улучшения когнитивных функций либо применение tDCS на зоне M1 с целью улучшения моторных функций [36—42]. Изучались показатели рабочей памяти, внимания, выраженности депрессии, моторных функций, скорость ходьбы, брадикинезия и т.д. Многие из этих исследований показали положительные результаты [36—42]. Также изучается возможность улучшения моторной функции с помощью tDCS левой DLPFC [38, 43, 44].

В исследовании F. Fregni и соавт. [45] было проведено непосредственное сравнение влияния одного сеанса анодной tDCS зоны M1, катодной tDCS зоны M1, анодной tDCS зоны DLPFC и имитированной стимуляции в отсутствие антипаркинсонического лечения на состояние моторных функций. Была проведена оценка по шкале болезни Паркинсона (UPDRS), а также измерены простое время реакции, двигательные вызванные потенциалы и время выполнения теста Purdue Pegboard (теста на ловкость рук и бимануальную координацию). Анодная стимуляция зоны M1 (но не другие типы стимуляции) снижала выраженность симптомов по шкале болезни Паркинсона, простое время реакции, амплитуду двигательных вызванных потенциалов, тогда как катодная tDCS уменьшала амплитуду моторных вызванных потенциалов.

Несколько исследований были посвящены изучению влияния ежедневных сессий tDCS на зону M1 (или M1 в комбинациии с премоторной корой) на показатели моторных функций [41, 46, 47]. Во всех исследованиях было показано положительное влияние на состояние моторных функций. В исследовании D. Benninger и соавт. [46] 8 сессий tDCS моторной и премоторной коры увеличили скорость ходьбы (оценивалось время прохождения 10 м) и снизили выраженность брадикинезии (использовался тест на последовательные движения руки), при этом полученный эффект наблюдался не менее 3 мес. F. Valentino и соавт. [41] показали, что 5 сессий анодной стимуляции M1 увеличили скорость движений у 10 пациентов на месяц. В исследовании R. Ferrucci и соавт. [47] 5 сессий стимуляции зоны M1 снизили выраженность дискинезии, но не повлияли на другие симптомы.

Недавние работы показали длительное улучшение моторных функций при tDCS зоны M1 и дополнительной моторной области или зоны DLPFC в сочетании с восстановительной терапией / моторным обучением [45, 48]. Однако, несмотря на обнадеживающие результаты, согласно Европейскому отделению Международной федерации клинической нейрофизиологии, существующие данные не позволяют рекомендовать метод для применения в клинической практике из-за недостатка данных стимуляции одной области, а также различий в параметрах регистрации эффектов.

Зависимость от психоактиных веществ

В исследованиях, посвященных изучению влияния tDCS на алкогольную, наркотическую, никотиновую зависимость, используют воздействие на зону DLPFC: анод накладывается справа, а катод — слева [49—52], поскольку установлено, что DLPFC играет ключевую роль в ингибиторном контроле и механизмах положительного подкрепления [53].

Предполагают, что локализация электродов по-разному влияет на тот или иной параметр эффективности tDCS и тип зависимости. Например, расположение анода как с правой, так и с левой стороны (катод на противоположной стороне) снижает патологическое влечение к алкоголю, в то время как патологическое влечение к марихуане снижается только при расположении анода справа [54, 55].

В целом ряде контолируемых с помощью имитированной стимуляции исследований [50—53] при изучении влияния многократных ежедневных сессий tDCS (анод — справа, катод — слева) на влечение либо на качество жизни при зависимости от алкоголя, кокаина, марихуаны или курения были получены также положительные результаты. Предложенный дизайн (анод — DLPFC справа, катод — DLPFC слева) противоположен по полярности электродов тому, что обычно используется при депрессии (анод — слева, катод — орбитофронтальная кора или DLPFC справа). Несмотря на это, при лечении зависимости пациентов без депрессии признаков ухудшения настроения не было выявлено.

Согласно оценке Европейского отделения Международной федерации клинической нейрофизиологии, эффективность tDCS с таким расположеним электродов для уменьшения патологического влечения при различных зависимостях очень вероятна.

Расстройства пищевого поведения

Применение tDCS в лечении расстройств пищевого поведения было обусловлено существующими данными, со-

гласно которым тяга к потреблению пищи снижалась уже после одной сессии анодной tDCS правой DLPFC [56]. Было показано, что 5 сессий активной tDCS правой DLPFC у пациентов с избыточным весом приводили к снижению влечения к еде, а также значительно уменьшали у них тягу к фаст-фуду и сладостям. Данный эффект сохранялся на протяжении 30 дней после окончания курса tDCS, однако значимых взаимосвязей между изменениями в тяге и изменениями веса найдено не было [57].

Снижение влечения к пище после одной сессии tDCS нашло подтверждение у пациентов с нервной булимией, где данный эффект сохранялся в течение 24 ч после воздействия [58]. Применение tDCS в отношении лечения компульсивного переедания показало также положительные результаты. Кроме снижения тяги к потреблению пищи было отмечено снижение количества ее потребления в целом, а также, в частности, у мужчин было замечено значимое снижение желания переедать в день после воздействия [59].

В двух пилотных исследованиях были отмечены положительные результаты при применении tDCS в лечении нервной анорексии [60, 61]. В частности, 20 сессий анодной tDCS левой DLPFC дважды в день по 25 мин привели к значимому снижению выраженности симптомов нервной анорексии, а также коморбидной депрессии. Полученный эффект после tDCS сохранялся на протяжении месяца [61].

В исследованиях, посвященных лечению нервной булимии и компульсивного переедания с помощью tDCS, предлагается схема наложения электродов, где анод располагается на правой DLPFC, а катод — на левой DLPFC, сила тока составляет 2 мА, а длительность воздействия — 20 мин. Применение tDCS при нервной анорексии предлагает обратную схему наложения электродов: анод располагается на левой DLPFC, а катод — на правой DLPFC.

Считают, что tDCS в лечении расстройств пищевого поведения является перспективным, многообещающим неинвазивным и безопасным методом. Однако в настоящее время накоплено недостаточное количество данных об эффективности данного метода, отсутствует единый протокол использования tDCS при расстройствах пищевого поведения и сочетания данного метода с лекарственными препаратами, что требует проведения дальнейших исследований.

Шум в ушах

Под шумом в ушах подразумевается восприятие звука без его источника, являющееся результатом активности нервной системы и не связанное с механическими колебательными процессами в улитке [62]. Чаще всего шум в ушах связан с потерей слуха [63].

Применению tDCS при шуме в ушах посвящено достаточно много исследований. Наиболее часто встречающиеся области для наложения электродов — это левая височная или височно-теменная кора и зона DLPFC. Хотя начальные эксперименты по стимуляции височной коры показали обнадеживающие результаты, они были опровергнуты в дальнейших контролируемых исследованиях [64—67].

Европейское отделение Международной федерации клинической нейрофизиологии считает вероятным отсутствие эффекта при tDCS левой височно-теменной коры. Обнадеживающие результаты получены при стимуляции правой DLPFC (катод — справа на DLPFC) [64, 65]. Однако рекомендаций для стимуляции правой DLPFC или других способов tDCS, показавших бы однозначно положительные результаты при шуме в ушах, пока не было предоставлено [68].

Шизофрения

Применение tDCS при шизофрении основано на данных нейровизуализации, свидетельствующих о пониженной активности в DLPFC с обеих сторон при наличии негативных симптомов и слуховых галюцинаций, а также повышенной активности височно-теменной области при слуховых галюцинациях. Изучаются два основных метода наложения электродов: 1) анод — левая зона DLPFC, катод — левая височно-теменная область; 2) анод — левая зона DLPFC, катод — правая орбитофронтальная кора. Оба протокола показали неоднозначные результаты.

Так, одно двойное слепое контролируемое исследование показало значительное снижение слуховых галюцинаций, а также негативных и позитивных симптомов после применения первого метода наложения электродов по сравнению с группой имитированной стимуляции [69]. Протокол состоял из 10 ежедневных сеансов tDCS (2 мА, 20 мин) в течение 2 нед. Но в других работах эти результаты не были подтверждены [70, 71].

Второй метод наложения электродов показал позитивные результаты при исследовании негативных симптомов шизофрении, кататонии и когнитивных нарушений [72]. Однако эти результаты также не были подтверждены в других исследованиях [73, 74]. Таким образом, применение tDCS при шизофрении требует дальнейшего изучения.

Эпилепсия

Эпилепсия обычно рассматривается как противопоказание к tDCS из-за риска возникновения судорог. Тем не менее в нескольких исследованиях [75—78] была изучена возможность использования tDCS как для лечения эпилепсии, так и в случаях сочетания депрессии и эпилепсии.

В исследованиях, изучавших антиэпилептический потенциал tDCS, катод помещали на эпилептогенный фокус, анод — на противоположное плечо или на противоположную надглазничную область [75—78]. Как показано в контролируемых с помощью имитированной стимуляции исследованиях, уже после одной сессии наблюдаются позитивные изменения: снижение межиктальной эпилептиформной активности и/или частоты приступов [75, 78].

В контролируемом с помощью имитированной стимуляции исследовании, проведенном D. San-Juan и соавт. [77] при обследовании 26 пациентов с эпилепсией мезиальной височной доли, многократные сессии (3 или 5) не только значительно снизили частоту приступов в группах с tDCS по сравнению с группой с имитированной стимуляцией сразу после лечения, но и показали устойчивость этого эффекта спустя 1 и 2 мес.

Другие неврологические и психические заболевания

Применение tDCS изучалось также при болезни Альцгеймера, рассеянном склерозе, афазии, дистонии, синдроме Туретта, аутизме, посттравматическом стрессовом расстройстве, синдроме дефицита внимания с гиперактивностью и обсессивно-компульсивном расстройстве [22]. Однозначных данных за использование tDCS при этих заболеваниях получено не было.

Заключение

В настоящий момент Европейское отделение международной Федерации клинической нейрофизиологии на основании принципов доказательной медицины оценива-

ет tDCS как эффективный способ лечения при следующих заболеваниях: при нерезистентной к медикаментозному лечению депрессии, при фибромиалгии, при зависимости от психоактивных веществ, а также при болях в пояснице. В доказательную базу были включены только контролируемые с помощью имитированной стимуляции исследования.

Рекомендуются следующие зоны стимуляции: 1) при депрессии — анодная стимуляция левой зоны DLPFC (катод — правая орбитофронтальная кора); 2) при фибромиалгии — анодная tDCS левой зоны M1 (катод — правая орбитофронтальная кора); 3) при зависимости — анодная tDCS правой зоны DLPFC (катод — левая DLPFC); 4) при боли в нижних конечностях в результате повреждения спинного мозга — анодная tDCS левой зоны M1 (или контрлатерально к стороне боли; катод — орбитофронтальная кора). Также метаанализ показал положительный эффект применения tDCS в случае нетяжелых форм инсульта [19].

Для использования в клинической практике в лечении депрессии легкой и средней тяжести может быть рекомендован протокол, где 30-минутная tDCS левой зоны DLPFC сочетается с приемом 50 мг сертралина [30].

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение влияния таких параметров, как положение электродов, сила тока, длительность стимуляции, количество сеансов, сочетание с другими методами терапии с целью получения клинически выраженного эффекта при различных неврологических и психических заболеваниях, а также на определение индивидуальных предикторов вариабельности эффекта стимуляци.

Необходимо также искать новые подходы в применении метода, поскольку некоторые сложные функции, такие как речь, не ограничиваются одной областью, а представляют собой сложную, распределенную систему. Кроме того, важно учитывать роль нейропластичности и индивидуальных особенностей мозга, а также влияние tDCS на отдаленные области мозга [12].

Решение этих задач будет способствовать скорейшему внедрению данного неинвазивного метода в клиническую практику.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Bindman LJ, Lippold OC, Redfearn JW. Long-lasting changes in the level of the electrical activity of the cerebral cortex produced bypolarizing currents. *Nature.* 1962;196:584-585. https://doi.org/10.1038/196584a0
2. Bindman LJ, Lippold OC, Redfearn JW. The action of brief polarizing currents on the cerebral cortex of the rat (1) during current flow and (2) in the production of long-lasting after-effects. *J Physiol.* 1964;172:369-382. https://doi.org/10.1113/jphysiol.1964.sp007425
3. Nitsche MA, Paulus W. Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology.* 2001; 57(10):1899-1901. https://doi.org/10.1212/wnl.57.10.1899
4. Nitsche MA, Nitsche MS, Klein CC, et al. Level of action of cathodal DC polarisation induced inhibition of the human motor cortex. *Clin Neurophysiol.* 2003;114(4):600-604. https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00412-1
5. Priori A, Berardelli A, Rona S, et al. Polarization of the human motor cortex through the scalp. *Neuroreport.* 1998;9(10):2257-2260. https://doi.org/10.1097/00001756-199807130-00020
6. Nitsche MA, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol.* 2000;527 (Pt 3):633-639. https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x
7. Boggio PS, Nunes A, Rigonatti SP, et al. Repeated sessions of noninvasive brain DC stimulation is associated with motor function improvement in stroke patients. *Restor Neurol Neurosci.* 2007;25(2):123-129.
8. Liebetanz D, Nitsche MA, Tergau F, Paulus W. Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. *Brain.* 2002;125(Pt 10):2238-2247. https://doi.org/10.1093/brain/awf238
9. Nitsche MA, Fricke K, Henschke U, et al. Pharmacological modulation of cortical excitability shifts induced by transcranial direct current stimulation in humans. *J Physiol.* 2003;553(Pt 1):293-301. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.049916
10. Stagg CJ, Best JG, Stephenson MC, et al. Polarity-sensitive modulation of cortical neurotransmitters by transcranial stimulation. *J Neurosci.* 2009;1347(29):5202-5206. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4432-08.2009
11. Nitsche MA, Liebetanz D, Lang N, et al. Safety criteria for transcranial direct current stimulation (tDCS) in humans. *Clin Neurophysiol.* 2003;114(11):2220-2222. https://doi.org/10.1016/s1388-2457(03)00235-9
12. Polanía R, Paulus W, Nitsche MA. Modulating cortico-striatal and thalamo-cortical functional connectivity with transcranial direct current stimulation. *Hum Brain Mapp.* 2012;33(10):2499-2508. https://doi.org/10.1002/hbm.21380
13. Nowak DA, Bösl K, Podubeckà J, Carey JR. Noninvasive brain stimulation and motor recovery after stroke. *Restor Neurol Neurosci.* 2010;28(4):531-544. https://doi.org/10.3233/RNN-2010-0552
14. Fregni F, Boggio PS, Mansur CG, et alA. Transcranial direct current stimulation of the unaffected hemisphere in stroke patients. *Neuroreport.* 2005;16(14):1551-1555. https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000177010.44602.5e
15. Hummel F, Celnik P, Giraux P, et al. Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. *Brain.* 2005;128 (Pt 3):490-499. https://doi.org/10.1093/brain/awh369
16. Pavlova EL, Semenov RV, Guekht AB. Effect of tDCS on Fine Motor Control of Patients in Subacute and Chronic Post-Stroke Stages. *J Mot Behav* 2019;52(4):383-395. https://doi.org/10.1080/00222895.2019.1639608
17. Pavlova EL, Lindberg P, Khan A, et al. Transcranial direct current stimulation combined with visuo-motor training as treatment for chronic stroke patients. *Restor Neurol Neurosci.* 2017;35(3):307-317. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2016.10.199
18. Butler AJ, Shuster M, O'Hara E, et al. A meta-analysis of the efficacy of anodal transcranial direct current stimulation for upper limb motor recovery in stroke survivors. *J Hand Ther.* 2013;26(2):162-170. https://doi.org/10.1016/j.jht.2012.07.002
19. Marquez J, van Vliet P, McElduff P, et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS): does it have merit in stroke rehabilitation? A systematic review. *Int J Stroke.* 2015;10(3):306-316. https://doi.org/10.1111/ijs.12169
20. Bradnam LV, Stinear CM, Barber PA, Byblow WD. Contralesional hemisphere control of the proximal paretic upper limb following stroke. *Cereb Cortex.* 2012;22(11):2662-2671. https://doi.org/10.1093/cercor/bhr344
21. Rosso C, Valabregue R, Arbizu C, et al. Connectivity between right inferior frontal gyrus and supplementary motor area predicts after-effects of right frontal cathodal tDCS on picture naming speed. *Brain Stimul.* 2014;7(1):122-129. https://doi.org/10.1016/j.brs.2013.08.007
22. Lefaucheur JP, Antal A, Ayache SS, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS). *Clin Neurophysiol.* 2017;128(1):56-92. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2016.10.087

23. Meron D, Hedger N, Garner M, Baldwin DS. Transcranial direct current stimulation (tDCS) in the treatment of depression: Systematic review and meta-analysis of efficacy and tolerability. *Neurosci Biobehav Rev.* 2015;57: 46-62. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.07.012
24. Grimm S, Beck J, Schuepbach D, et al. Imbalance between left and right dorsolateral prefrontal cortex in major depression is linked to negative emotional judgment: an fMRI study in severe major depressive disorder. *Biol Psychiatry.* 2008;63(4):369-376. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2007.05.033
25. Tortella G, Casati R, Aparicio LV, et al. Transcranial direct current stimulation in psychiatric disorders. *World J Psychiatry.* 2015;5(1):88-102. https://doi.org/10.5498/wjp.v5.i1.88
26. Fregni F, Boggio PS, Nitsche MA, et al. Treatment of major depression with transcranial direct current stimulation. *Bipolar Disord.* 2006;8(2):203-204. https://doi.org/10.1111/j.1399-5618.2006.00291.x
27. Boggio PS, Rigonatti SP, Ribeiro RB, et al. A randomized, double-blind clinical trial on the efficacy of cortical direct current stimulation for the treatment of major depression. *Int J Neuropsychopharmacol.* 2008;11(2):249-254. https://doi.org/10.1017/S1461145707007833
28. Loo CK, Alonzo A, Martin D, et al. Transcranial direct current stimulation for depression: 3-week, randomised, sham-controlled trial. *Br J Psychiatry.* 2012;200(1):52-59. https://doi.org/10.1192/bjp.bp.111.097634
29. Brunoni AR, Valiengo L, Baccaro A, et al. The sertraline vs. electrical current therapy for treating depression clinical study: results from a factorial, randomized, controlled trial. *JAMA Psychiatry.* 2013;70(4):383-391. https://doi.org/10.1001/2013.jamapsychiatry.32
30. Pavlova EL, Menshikova AA, Semenov RV, et al. Transcranial direct current stimulation of 20- and 30-minutes combined with sertraline for the treatment of depression. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry.* 2018;82:31-38. https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2017.12.004
31. Fregni F, Gimenes R, Valle AC, et al. A randomized, sham-controlled, proof of principle study of transcranial direct current stimulation for the treatment of pain in fibromyalgia. *Arthritis Rheum.* 2006;54(12):3988-3998. https://doi.org/10.1002/art.22195
32. Valle A, Roizenblatt S, Botte S, et al. Efficacy of anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) for the treatment of fibromyalgia: results of a randomized, sham-controlled longitudinal clinical trial. *J Pain Manag.* 2009;2(3):353-361.
33. Fagerlund AJ, Hansen OA, Aslaksen PM. Transcranial direct current stimulation as a treatment for patients with fibromyalgia: a randomized controlled trial. *Pain.* 2015;156(1):62-71. https://doi.org/10.1016/j.pain.0000000000000006
34. Zhu CE, Yu B, Zhang W, et al. Effiectiveness and safety of transcranial direct current stimulation in fibromyalgia: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med.* 2017;49(1):2-9. https://doi.org/10.2340/16501977-2179
35. Khedr EM, Omran EAH, Ismail NM, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on pain, mood and serum endorphin level in the treatment of fibromyalgia: A double blinded, randomized clinical trial. *Brain Stimul.* 2017;10(5):893-901. https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.06.006
36. Boggio PS, Ferrucci R, Rigonatti SP, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. *J Neurol Sci.* 2006;249(1):31-38. https://doi.org/10.1016/j.jns.2006.05.062
37. Pereira JB, Junqué C, Bartrés-Faz D, et al. Modulation of verbal fluency networks by transcranial direct current stimulation (tDCS) in Parkinson's disease. *Brain Stimul.* 2013;6(1):16-24. https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.01.006
38. Doruk D, Gray Z, Bravo GL, et al. Effects of tDCS on executive function in Parkinson's disease. *Neurosci Lett.* 2014;582:27-31. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2014.08.043
39. Biundo R, Weis L, Antonini A. tDCS effect on cognitive performance in Parkinson's disease. *Mov Disord.* 2016;31(8):1253-1254. https://doi.org/10.1002/mds.26685
40. Verheyden G, Purdey J, Burnett M, et al. Immediate effect of transcranial direct current stimulation on postural stability and functional mobility in Parkinson's disease. *Mov Disord.* 2013;28(14):2040-2041. https://doi.org/10.1002/mds.25640
41. Valentino F, Cosentino G, Brighina F, et al. Transcranial direct current stimulation for treatment of freezing of gait: a cross-over study. *Mov Disord.* 2014;29(8): 1064-1069. https://doi.org/10.1002/mds.25897
42. Salimpour Y, Mari ZK, Shadmehr R. Altering Effort Costs in Parkinson's Disease with Noninvasive Cortical Stimulation. *J Neurosci.* 2015;35(35):12287-12302. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1827-15.2015
43. Manenti R, Brambilla M, Rosini S, et al. Time up and go task performance improves after transcranial direct current stimulation in patient affected by Parkinson's disease. *Neurosci Lett.* 2014;580:74-77. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2014.07.052
44. Manenti R, Brambilla M, Benussi A, et al. Mild cognitive impairment in Parkinson's disease is improved by transcranial direct current stimulation combined with physical therapy. *Mov Disord.* 2016;31(5):715-724. https://doi.org/10.1002/mds.26561
45. Fregni F, Boggio PS, Santos MC, et al. Noninvasive cortical stimulation with transcranial direct current stimulation in Parkinson's disease. *Mov Disord.* 2006;21(10):1693-1702. https://doi.org/10.1002/mds.21012
46. Benninger DH, Lomarev M, Lopez G, et al. Transcranial direct current stimulation for the treatment of Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2010;81(10):1105-1111. https://doi.org/10.1136/jnnp.2009.202556
47. Ferrucci R, Cortese F, Bianchi M, et al. Cerebellar and Motor Cortical Transcranial Stimulation Decrease Levodopa-Induced Dyskinesias in Parkinson's Disease. *Cerebellum.* 2016; 15(1):43-47. https://doi.org/10.1007/s12311-015-0737-x
48. Costa-Ribeiro A, Maux A, Bosford T, et al. Dopamine-independent effects of combining transcranial direct current stimulation with cued gait training on cortical excitability and functional mobility in Parkinson's disease. *J Rehabil Med.* 2016;48(9):819-823. https://doi.org/10.2340/16501977-2134
49. Boggio PS, Liguori P, Sultani N, et al. Cumulative priming effects of cortical stimulation on smoking cue-induced craving. *Neurosci Lett.* 2009;463:82-86. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.07.041
50. Fecteau S, Agosta S, Hone-Blanchet A, et al. Modulation of smoking and decision-making behaviors with transcranial direct current stimulation in tobacco smokers: a preliminary study. *Drug Alcohol Depend.* 2014;140:78-74. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2014.03.036
51. Klauss J, Penido Pinheiro LC, Silva Merlo BL, et al. A randomized controlled trial of targeted prefrontal cortex modulation with tDCS in patients with alcohol dependence. *Int J Neuropsychopharmacol.* 2014;17:1793-1803. https://doi.org/10.1017/S1461145714000984
52. Batista EK, Klauss J, Fregni F, et . A randomized placebo-controlled trial of targeted prefrontal cortex modulation with bilateral tDCS in patients with crack-cocaine dependence. *Int J Neuropsychopharmacol.* 2015;18(12):pyv066. https://doi.org/10.1093/ijnp/pyv066
53. Goldstein RZ, Volkow ND. Drug addiction and its underlying neurobiological basis: neuroimaging evidence for the involvement of the frontal cortex. *Am J Psychiatry.* 2002;159(10):1642-1652. https://doi.org/10.1176/appi.ajp.159.10.1642
54. Boggio PS, Sultani N, Fecteau S, et al. Prefrontal cortex modulation using transcranial DC stimulation reduces alcohol craving: a double-blind, sham-controlled study. *Drug Alcohol Depend.* 2008;92:55-60. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2007.06.011
55. Boggio PS, Zaghi S, Villani AB, et al. Modulation of risk-taking in marijuana users by transcranial direct current stimulation (tDCS) of the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC). *Drug Alcohol Depend.* 2010;112:220-225. https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2010.06.019
56. Lowe CJ, Vincent C, Hall PA. Effects of Noninvasive Brain Stimulation on Food Cravings and Consumption: A Meta-Analytic Review. *Psychosom Med.* 2017;79(1):2-13. https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000368
57. Ljubisavljevic M, Maxood K, Bjekic J, et al. Long-Term Effects of Repeated Prefrontal Cortex Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Food Craving in Normal and Overweight Young Adults. *Brain Stimul.* 2016;9(6):826-833. https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.07.002
58. Kekic M, McClelland J, Bartholdy S, et al. Single-session transcranial direct current stimulation temporarily improves symptoms, mood, and self-regulatory control in bulimia nervosa: a randomised controlled trial. *PLoS One.* 2017;12:e0167606. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167606
59. Burgess EE, Sylvester MD, Morse KE, at al. Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on binge eating disorder. *Int J Eat Disord.* 2016;49(10):930-936. https://doi.org/10.1002/eat.22554

60. Khedr EM, Elfetoh NA, Ali AM, Noamany M. Anodal transcranial direct current stimulation over the dorsolateral prefrontal cortex improves anorexia nervosa: a pilot study. *Restor Neurol Neurosci.* 2014;32(6):789-797. https://doi.org/10.3233/RNN-140392

61. Strumila R, Thiebaut S, Jaussent I, et al. Safety and efficacy of transcranial direct current stimulation (tDCS) in the treatment of Anorexia Nervosa. The open-label STAR study. *Brain Stimulation*. 2019;12(5):1325-1327. https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.06.017

62. Jastreboff PJ. Phantom auditory perception (tinnitus): mechanisms of generation and perception. *Neurosci Res.* 1990;8(4):221-254. https://doi.org/10.1016/0168-0102(90)90031-9

63. Axelsson A, Ringdahl A. Tinnitus — a study of its prevalence and characteristics. *Br J Audiol*. 1989;23(1):53-62. https://doi.org/10.3109/03005368909077819

64. Fregni F, Marcondes R, Boggio PS, et al. Transient tinnitus suppression induced by repetitive transcranial magnetic stimulation and transcranial direct current stimulation. *Eur J Neurol.* 2006;13(9):996-1001. https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2006.01414.x

65. De Ridder D, Vanneste S. Auditory cortex stimulation might be efficacious in a subgroup of tinnitus patients. *Brain Stimul.* 2014;7(6):917-918. https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.09.011

66. Shekhawat GS, Searchfield GD, Stinear CM. Randomized Trial of Transcranial Direct Current Stimulation and Hearing Aids for Tinnitus Management. *Neurorehabil Neural Repair.* 2014;28(5):410-419. https://doi.org/10.1177/1545968313508655

67. Vanneste S, Walsh V, Van De Heyning P, De Ridder D. Comparing immediate transient tinnitus suppression using tACS and tDCS: a placebo-controlled study. *Exp Brain Res.* 2013;226(1):25-31. https://doi.org/10.1007/s00221-013-3406-7

68. Forogh B, Mirshaki Z, Raissi GR, et al. Repeated sessions of transcranial direct current stimulation for treatment of chronic subjective tinnitus: a pilot randomized controlled trial. *Neurol Sci.* 2016;37(2):253-259. https://doi.org/10.1007/s10072-015-2393-9

69. Brunelin J, Mondino M, Gassab L, et al. Examining transcranial direct-current stimulation (tDCS) as a treatment for hallucinations in schizophrenia. *Am J Psychiatry.* 2012;169(7):719-724. https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2012.11071091

70. Fitzgerald PB, McQueen S, Daskalakis ZJ, Hoy KE. A negative pilot study of daily bimodal transcranial direct current stimulation in schizophrenia. *Brain Stimul.* 2014;7(6):813-816. https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.08.002

71. Fröhlich F, Burrello TN, Mellin JM, et al. Exploratory study of once-daily transcranial direct current stimulation (tDCS) as a treatment for auditory hallucinations in schizophrenia. *Eur Psychiatry.* 2016;33:54-60. https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2015.11.005

72. Palm U, Keeser D, Blautzik J, et al. Prefrontal transcranial direct current stimulation (tDCS) changes negative symptoms and functional connectivity MRI (fcMRI) in a single case of treatment-resistant schizophrenia. *Schizophr Res.* 2013;150 (2-3):583-585. https://doi.org/10.1016/j.schres.2013.08.043

73. Shiozawa P, da Silva ME, Cordeiro Q, et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS) for catatonic schizophrenia: a case study. *Schizophr Res.* 2013;146(1-3):374-375. https://doi.org/10.1016/j.schres.2013.01.030

74. Smith RC, Boules S, Mattiuz S, et al. Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on cognition, symptoms, and smoking in schizophrenia: A randomized controlled study. *Schizophr Res.* 2015;168(1-2):260-266. https://doi.org/10.1016/j.schres.2015.06.011

75. Liu A, Bryant A, Jefferson A, et al. Exploring the efficacy of a 5-day course of transcranial direct current stimulation (TDCS) on depression and memory function in patients with well-controlled temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Behav.* 2016;55:11-20. https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2015.10.032

76. Tekturk P, Erdogan ET, Kurt A, et al. The effect of transcranial direct current stimulation on seizure frequency of patients with mesial temporal lobe epilepsy with hippocampal sclerosis. *Clin Neurol Neurosurg.* 2016;149:27-32. https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2016.07.014

77. San-Juan D, Espinoza López DA, Vázquez Gregorio R, et al. Transcranial Direct Current Stimulation in Mesial Temporal Lobe Epilepsy and Hippocampal Sclerosis. *Brain Stimul.* 2017;10(1):28-35. https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.08.013

78. Auvichayapat N, Rotenberg A, Gersner R, et al. Transcranial direct current stimulation for treatment of refractory childhood focal epilepsy. *Brain Stimul.* 2013;6(4):696-700. https://doi.org/10.1016/j.brs.2013.01.009

Поступила 28.04.2020
Received 28.04.2020
Принята к печати 03.09.2020
Accepted 03.09.2020