

Транскраниальная стимуляция постоянным током при постинсультной гемианопсии

И.С. Бакулин, Д.Ю. Лагода, А.Г. Пойдашева, Е.И. Кремнева, Н.А. Супонева, М.А. Пирадов

ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, Россия

Введение. Разработка новых подходов к реабилитации пациентов с постинсультной гемианопсией является актуальной задачей, учитывая высокую частоту встречаемости и негативное влияние этого нарушения на качество жизни пациентов.

Цель исследования — изучение влияния транскраниальной электрической стимуляции постоянным током (tDCS) на качество жизни и качество зрительного восприятия у пациентов с постинсультной гемианопсией, анализ безопасности и переносимости этого метода.

Материалы и методы. В исследование было включено 10 пациентов с постинсультной гемианопсией. Пациентам проводили 10 сессий tDCS (2 мА, 20 мин анод — О₂, катод — С₂ при одностороннем поражении и анод — О₁ и О₂, катод — Fr1 и Fr2 при двустороннем). Переносимость tDCS оценивали после каждой сессии с помощью стандартизованного опросника. Клиническая оценка до и после курса tDCS проводилась с применением опросника для оценки качества зрительного восприятия Visual Function Questionnaire (VFQ-25) и опросника для оценки качества жизни The Short Form-36 (SF-36). У 5 пациентов до и после курса tDCS проводилась функциональная МРТ со зрительной парадигмой.

Результаты. Нежелательные эффекты зарегистрированы во время 9,9% сессий и в большинстве случаев имели слабую степень выраженности. Прекращение участия в исследовании зарегистрировано в 1 случае в связи с усилением боли в руке и ноге у пациента с центральным постинсультным болевым синдромом, которое, вероятно, не связано с биологическими эффектами стимуляции. В анализ включены данные 9 пациентов. После проведения tDCS выявлено статистически значимое увеличение общего показателя по шкале качества зрительного восприятия VFQ-25 ($p = 0,02$), а также улучшение по таким её разделам, как социальная активность ($p = 0,02$), психическое здоровье ($p = 0,02$), зависимость от окружающих ($p = 0,04$) и периферическое зрение ($p = 0,04$). Также отмечено статистически значимое улучшение психологического компонента качества жизни ($p = 0,04$), жизненной активности ($p = 0,03$), социального функционирования ($p = 0,02$), ролевого функционирования, обусловленного физическим состоянием ($p = 0,04$) и общего состояния здоровья ($p = 0,008$). В 3 случаях после tDCS выявлено увеличение активации затылочной коры по данным функциональной МРТ со зрительной парадигмой.

Заключение. tDCS является безопасным, хорошо переносимым и потенциально эффективным методом у пациентов с постинсультной гемианопсией. Для уточнения эффективности этого метода при гемианопсии необходимо проведение более крупных контролируемых рандомизированных исследований.

Ключевые слова: инсульт; гемианопсия; неинвазивная стимуляция мозга; транскраниальная электрическая стимуляция постоянным током; функциональная МРТ; качество жизни.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Адрес для корреспонденции: 125367, Москва, Волоколамское шоссе, д. 80. ФГБНУ НЦН. E-mail: bakulin@neurology.ru. Бакулин И.С.

Для цитирования: Бакулин И.С., Лагода Д.Ю., Пойдашева А.Г., Кремнева Е.И., Супонева Н.А., Пирадов М.А. Транскраниальная стимуляция постоянным током при постинсультной гемианопсии. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии* 2020; 14(2): 5–14.

DOI: 10.25692/ACEN.2020.2.1

Поступила 17.10.2019 / Принята в печать 17.02.2020

Transcranial Direct Current Stimulation in Poststroke Hemianopia

Ilya S. Bakulin, Dmitry Yu. Lagoda, Alexandra G. Poydasheva, Elena I. Kremneva, Natalia A. Suponeva, Mikhail A. Piradov

Research Center of Neurology, Moscow, Russia

Introduction. Development of the new approaches to the rehabilitation of patients with poststroke hemianopia is of great importance, given the high prevalence of that disorder and its negative impact on patients' quality of life.

This study aimed to investigate the effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on the quality of life and the quality of visual perception in patients with poststroke hemianopia, as well as to study the safety and tolerability of this technique.

Materials and methods. The study included ten patients with poststroke hemianopia. Patients underwent ten tDCS sessions (2 mA, 20 min with anode placed over Oz, cathode — over Cz for a unilateral lesion, and anode — over O1 and O2, cathode — over Fp1 and Fp2 for bilateral lesions). The tolerability of tDCS was evaluated after each session using a standardized questionnaire. Clinical assessment before and after tDCS was performed using the Visual Function Questionnaire (VFQ-25) and the 36-item Short Form Survey (SF-36). Functional MRI using a visual paradigm was performed in 5 patients before and after the course of tDCS.

Results. Adverse effects were recorded during 9.9% of the sessions and had low severity in most cases. There was one withdrawal from the study because of increased pain in the hand and leg, in a patient with central post-stroke pain syndrome, which was likely unrelated to the biological effects of stimulation. Data of 9 patients were included in the analysis. There was a statistically significant increase in the overall score on the VFQ-25 ($p = 0.02$) after tDCS with improvements in the social activity ($p = 0.02$), mental health ($p = 0.02$), dependence on others ($p = 0.04$), and peripheral vision ($p = 0.04$) sections. A statistically significant improvement was also found in the psychological component of quality of life ($p = 0.04$), vitality ($p = 0.03$), social functioning ($p = 0.02$), role functioning due to physical health ($p = 0.04$), and general health ($p = 0.008$). In 3 cases, increased activation of the occipital cortex after tDCS was identified using functional MRI with a visual paradigm.

Conclusion. tDCS is a safe, well-tolerated, and potentially effective method in patients with poststroke hemianopia. Larger, controlled, and randomized studies are needed to clarify the efficacy of this method in hemianopia.

Keywords: stroke; hemianopia; non-invasive brain stimulation; transcranial direct current stimulation; functional MRI; quality of life.

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For correspondence: 125367, Russia, Moscow, Volokolamskoye shosse, 80. Research Center of Neurology. E-mail: bakulin@neurology.ru. Bakulin I.S.

For citation: Bakulin I.S., Lagoda D.Yu., Poydasheva A.G., Kremneva E.I., Suponeva N.A., Piradov M.A. [Transcranial direct current stimulation in poststroke hemianopia]. *Annals of clinical and experimental neurology* 2020; 14(2): 5–14. (In Russ.)

DOI: 10.25692/ACEN.2020.2.1

Received 17.10.2019 / Accepted 17.02.2020

Введение

Одним из самых частых вариантов зрительных нарушений при инсульте является гомонимная гемианопсия — одно-стороннее выпадение полей зрения вследствие повреждения зрительных трактов или зрительной коры [1–6]. В остром периоде инсульта нарушение полей зрения является у 45–67% пациентов, при этом у 8–25% пациентов этот синдром является стойким [7, 8]. В нескольких проспективных исследованиях показано, что в течение первых месяцев после инсульта у части пациентов наблюдается спонтанное полное или частичное восстановление полей зрения. По данным X. Zhang и соавт. [4], уменьшение выраженности гемианопсии в течение первых 3 мес после инсульта наблюдается в 50–60% случаев, через 3–6 мес — еще в 20% случаев. Однако при сохранении зрительных нарушений при сроке после инсульта более 6 мес спонтанное восстановление практически исключено. Важно отметить, что даже при наличии спонтанного восстановления в остром периоде оно часто является неполным [4]. По данным F.J. Rowe и соавт. [7], полное восстановление полей зрения происходит только у 7,5% пациентов, в то время как у 39% пациентов наблюдается частичное улучшение, а у 52% — полное отсутствие восстановления.

В настоящее время убедительно показано, что гомонимная гемианопсия является важным фактором, снижающим качество жизни пациентов с инсультом [7, 9, 10]. Наличие гомонимной гемианопсии ограничивает возможность чтения и вождения автомобиля [5, 11, 12], уменьшает активность пациентов в повседневной жизни, снижает их мобильность, а также затрудняет проведение реабилитации [13, 14]. Гомонимная гемианопсия при инсульте является предиктором плохого функционального исхода и независимым предиктором смертности [10, 15].

Основой для проведения восстановительного лечения у пациентов с постинсультной гемианопсией (ПИГ) являются современные данные о функциональной реорганизации и нейропластических изменениях зрительной системы после её поражения [8, 16–18]. Согласно теории активации резидуального зрения (residual vision activation theory), предложенной В.А. Sabel и соавт. [19], восстановление полей зрения у пациентов с ПИГ может происходить за счет активации (реактивации):

- 1) частично поврежденных областей зрительной коры на границе очага поражения;
- 2) участков (островков) сохраненной нервной ткани в пределах пораженной зрительной коры;
- 3) сохраненных экстрастриарных структур зрительной системы;
- 4) сохраненных нейрональных сетей более высокого уровня и зрительной системы непораженного полушария [19].

Доказательством способности зрительной системы к нейропластическим изменениям является эффективность при ПИГ так называемой восстановительной зрительной терапии (VRT, visual restorative therapy) даже спустя много месяцев или лет после инсульта [16, 18]. Предполагается, что в основе эффективности VRT могут лежать описанные выше механизмы, в частности, активация сохраненных нейронов в области пораженной зрительной коры и экстрастриарных структур [18].

Одним из перспективных подходов к реабилитации пациентов с ПИГ является применение методов неинвазивной стимуляции мозга, в частности, транскраниальной электрической стимуляции (ТЭС) [20], основанной на воздействии слабым электрическим током (до 2 мА) через несколько электродов, располагаемых на поверхности головы. Наиболее распространённым вариантом ТЭС является стимуляция постоянным током (tDCS, transcranial

direct current stimulation). Значительный рост интереса к применению этого метода во всем мире возник около двух десятилетий назад после публикации ряда работ, показавших возможность неинвазивной и безболезненной модуляции функций коры головного мозга с помощью tDCS [21, 22]. Предполагается, что в основе эффекта этого метода лежит подпороговая модуляция мембранного потенциала нейронов и изменение вероятности формирования спайков. Эффект tDCS определяется полярностью электродов: анод вызывает входящий ток в ткани головного мозга, смещает мембранный потенциал в положительную сторону и делает более вероятным формирование спайков, в то время как катод оказывает противоположный эффект [23, 24].

В настоящее время во всем мире интенсивно изучается эффективность применения tDCS при различных заболеваниях нервной системы [25]. В нейрореабилитации наибольшее количество исследований посвящено применению этого метода при постинсультном двигательном дефиците, афазии и синдроме пространственного игнорирования [25–28]. При ПИГ применение tDCS изучалось в нескольких небольших исследованиях [29–31] и описаниях отдельных клинических наблюдений [32–35].

Целью настоящего исследования стало изучение влияния tDCS затылочной коры на качество жизни и качество зрительного восприятия у пациентов с ПИГ с анализом безопасности и переносимости этого метода.

Материалы и методы

В исследование включено 10 пациентов в возрасте 28–70 лет (медиана 45 [36; 59] лет, 7 мужчин) после нарушения мозгового кровообращения давностью более 1 мес, давшие добровольное информированное согласие. Проведение исследования было одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ «Научный центр неврологии».

Критерии включения в исследование:

- наличие добровольного информированного согласия на участие в исследовании;
- возраст 18–80 лет;
- подтверждение нарушения мозгового кровообращения по ишемическому или геморрагическому типу результатами нейровизуализации;
- наличие гомонимной гемипареза по данным клинического осмотра и периметрии;
- давность инсульта более 1 мес;
- острота зрения с коррекцией не менее 0,4 или выше.

Критерии невключения в исследование:

- наличие металлических элементов в области проведения процедуры, кардиостимулятора, любых других электронных имплантатов;
- нарушение когнитивных функций с оценкой по шкале MoCA (Montreal Cognitive Assessment) менее 10 баллов);
- наличие других заболеваний нервной системы, органа зрения и декомпенсированного соматического заболевания, которые могут повлиять на безопасность процедуры или результаты исследования;
- онкологическое заболевание (в настоящее время или в анамнезе);
- клинические значимые изменения при проведении электрокардиографии, общего и биохимического анализов крови;
- эпилептические приступы в анамнезе;

- наличие эпилептиформной активности при проведении электроэнцефалографии;
- повреждение кожных покровов в месте расположения электродов;
- терапия на момент включения в исследование любыми препаратами, влияющими на возбудимость коры головного мозга (антиконвульсанты, антидепрессанты и др.);
- беременность;
- отказ пациента от участия в исследовании.

Для оценки качества зрительного восприятия использовалась адаптированная русскоязычная версия опросника Visual Function Questionnaire (VFQ-25), содержащего 25 вопросов, направленных на определение зрительных функций, которые группируются по категориям [36, 37]. Полученный числовой показатель в каждой из шкал имеет значение от 0 до 100 баллов и отражает процентное отношение к максимально возможному результату. Все вопросы сгруппированы в блоки, оценивающие физическое, психическое и социальное функционирование пациента относительно качества его зрительного восприятия. Нарушения профессиональной деятельности и вождения в рамках настоящего исследования не оценивались.

Для оценки качества жизни использовался опросник The Short Form-36 (SF-36, русскоязычная версия), включающий оценку по шкалам, которые группируются в два показателя:

- 1) физический компонент здоровья (физическое функционирование, ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием, интенсивность боли, общее состояние здоровья);
- 2) психологический компонент здоровья (жизненная активность, социальное функционирование, ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием, психическое здоровье).

Для всех шкал при полном отсутствии нарушений здоровья или ограничений максимальное значение составляет 100. Таким образом, более высокий показатель по каждой шкале соответствует более высокому качеству жизни [38]. Оценка по шкалам VFQ-25 и SF-36 проводилась у каждого пациента дважды (непосредственно перед проведением первой сессии и через 24–30 ч после заключительной сессии tDCS).

Функциональная МРТ со зрительной парадигмой

Для оценки влияния tDCS на объем и локализацию активации затылочной коры у 5 пациентов проводилась функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) со зрительной парадигмой до начала стимуляции и через 24–30 ч после заключительной сессии tDCS.

МРТ-исследование проводили с использованием томографа «Magnetom Verio» («Siemens») с индукцией магнитного поля 3 Тл с применением стандартной 12-канальной головной катушки. Данные об анатомии головного мозга были получены в режиме 3D-T1-градиентное эхо (T1-MPR) в виде 176 сагиттальных срезов со следующими параметрами: TR = 1900 мс, TE = 2,47 мс, толщина среза 1 мм, фактор расстояния 50%; размер вокселя 1×1×1 мм³, поле обзора 250 мм. Функциональные данные оценивали по данным об изменениях BOLD-сигнала, полученных с помощью режима МРТ T2*-градиентное эхо со следующими параметрами: TR = 3000 мс, TE = 30 мс, толщина среза 3 мм, фактор

расстояния 25%, размер вокселя $3 \times 3 \times 3$ мм³, поле обзора 192 мм, 36 аксиальных срезов.

В исследовании использовалась парадигма для оценки активации зрительной коры общей продолжительностью 4 мин. Парадигма имела блоковый дизайн и состояла из 6 блоков: 3 блока по 30 с со зрительным стимулом и 3 блока (2 по 1 мин и 1 по 30 с) без стимула. Начинаясь парадигма с блока со стимулом. В качестве зрительного стимула использовался рисунок шахматного паттерна, который быстро чередовался с белым экраном. В блоке без стимула предъявлялся белый экран. Изображения при помощи системы зеркал выводились на МР-совместимый экран в сканирующей зале («Nordic Neuro Lab»). Всего получено 80 изображений. Предобработка изображений и статистический анализ проведены с помощью программного обеспечения для статистической обработки SPM12 (Statistical Parametric Mapping¹) на базе Matlab 2011b («Mathworks»). С целью достижения динамического равновесия магнетизации первые 5 функциональных изображений были исключены из анализа.

Предобработка изображений включала следующие этапы: 1) упорядочивание полученных изображений по времени; 2) выравнивание изображений для коррекции артефактов от движения пациента с помощью алгоритма трансформации твердого тела; 3) корегистрация анатомических и функциональных данных; 4) сегментация полученных изображений на серое вещество, белое вещество, ликвор; 5) пространственная нормализация для преобразования индивидуальных изображений в соответствии с единицами координатами стереотаксического пространства MNI (Monreal Neurological Institute) при помощи матрицы трансформации, полученной при предыдущем шаге; 6) пространственное сглаживание для снижения влияния индивидуальной вариативности анатомии (параметры сглаживания — $8 \times 8 \times 8$ полной ширины на половине высоты распределения Гаусса).

Визуализация данных осуществлялась с помощью программы «xjView»².

Транскраниальная электрическая стимуляция постоянным током

Включенным в исследование пациентам проводилось 10 сессий (5 дней в неделю) tDCS с помощью устройства для транскраниальной электростимуляции мозга, разработанного в рамках проекта «Разработка нового поколения ассистивных устройств и технических средств реабилитации с применением нейротехнологий для улучшения эффективности лечения и реабилитации, а также повышения качества жизни людей» (головной исполнитель — ООО «Нейроботикс»). Локализация электродов при одностороннем поражении: анод — Oz, катод — Cz. При двустороннем поражении использовали два анода (O1 и O2) и два катода (Fp1 и Fp2). Использовался режим «soft» с постепенным 30-секундным нарастанием величины тока в начале и уменьшением в конце сессии соответственно. Продолжительность одной сессии — 20 мин, сила тока — 2 мА. После каждой сессии стимуляции пациенты заполняли стандартизированный опросник для оценки переносимости tDCS,

включающий регистрацию всех возникающих нежелательных эффектов (НЭ): боль, покалывание, жжение, зуд, головокружение, тошнота, сонливость, металлический привкус во рту и др., времени их возникновения (в начале, середине или конце сессии), продолжительности, степени выраженности и влияния на желание пациента продолжать участие в исследовании.

Статистическая обработка

Статистическую обработку данных проводили с применением программы «STATISTICA 10.0» («TIBCO Software Inc.»). Использовались методы непараметрической статистики. Данные в тексте и таблицах представлены в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей (Me [LQ; UQ]). Сравнение двух связанных групп по количественному признаку проводили с использованием метода Вилкоксона. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

У всех пациентов по данным клинического осмотра выявлена ПИГ вследствие инфаркта мозга с поражением правой затылочной доли ($n = 5$), правого таламуса ($n = 1$), левого таламуса ($n = 1$) или обеих затылочных долей ($n = 3$). Срок от нарушения мозгового кровообращения до включения в исследование составлял от 1 до 110 мес, медиана — 10 [3; 16] мес.

Переносимость tDCS

У 1 пациента с инфарктом правого таламуса и центральным постинсультным болевым синдромом во время проведения 1-й сессии ТЭС (во 2-й половине сессии) отмечено усиление боли в левых руке и ноге. Стимуляция была прекращена, пациент был исключен из исследования. В остальных случаях у каждого пациента было проведено 10 сессий tDCS. При анализе 91 сессии tDCS зарегистрировано 10 НЭ во время 9 сессий. Таким образом, НЭ возникли во время 9,9% сессий. Как минимум 1 НЭ зарегистрировано у 8 из 10 пациентов. Кроме описанного выше, были зарегистрированы следующие НЭ: покалывание ($n = 4$), жжение ($n = 3$), боль в области стимуляции ($n = 1$) и сонливость ($n = 1$). Ни в одном из этих случаев НЭ не влияли на желание пациента продолжать участие в исследовании. В 2 наблюдениях выраженность покалывания была отмечена пациентами как умеренная, все остальные НЭ имели слабую степень выраженности. В большинстве случаев ($n = 7$) покалывание и жжение возникали в начале стимуляции и продолжались несколько минут. В 1 наблюдении жжение слабой степени выраженности в области стимуляции появилось в середине процедуры и сохранялось до ее окончания. Еще в 1 случае в конце стимуляции отмечено появление ощущений болевого характера слабой интенсивности в месте расположения анода.

Влияние tDCS на качество зрительного восприятия и качество жизни

При анализе качества зрительного восприятия с помощью опросника VFQ-25 после проведения курса tDCS выявлено статистически значимое улучшение общего показателя по шкале, а также по таким разделам, как социальная активность, психическое здоровье, зависимость от окружающих и периферическое зрение (табл. 1). Кроме того, вы-

¹ URL: <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>
² URL: <http://www.alivelearn.net/xjview8>

Таблица 1. Оценка качества зрительного восприятия по шкале VFQ-25 у пациентов с ПИГ ($n = 9$) до и после проведения tDCS (Me [LQ; UQ])
Table 1. Visual function quality assessment using the VFQ-25 in patients with poststroke hemianopia ($n = 9$) before and after tDCS (Me [LQ; UQ])

Показатель Parameter	До tDCS Before tDCS	После tDCS After tDCS	p^* , метод Вилкоксона Wilcoxon test
Общий показатель качества зрительного восприятия Overall score of visual perception quality	44 [33; 49]	56 [41; 60]	0,02
Общий показатель здоровья Overall health score	25 [0; 50]	25 [25; 50]	0,11
Общий показатель зрения Overall vision score	40 [40; 40]	40 [40; 60]	0,07
Глазная боль Eye pain	100 [100; 100]	100 [100; 100]	0,65
Проблемы со зрением на малом расстоянии Problems with near vision	38 [33; 42]	50 [33; 58]	0,06
Проблемы со зрением на далеком расстоянии Problems with distance vision	50 [25; 58]	50 [41; 67]	0,07
Социальная активность Social activity	50 [13; 63]	75 [50; 75]	0,02
Психическое здоровье Mental health	31 [25; 38]	50 [50; 56]	0,02
Зависимость от окружающих Dependency on others	33 [25; 33]	50 [25; 50]	0,04
Цветовое зрение Colour vision	38 [19; 56]	63 [44; 75]	0,11
Периферическое зрение Peripheral vision	50 [25; 50]	50 [50; 75]	0,04

Таблица 2. Оценка качества жизни по шкале SF-36 у пациентов с ПИГ ($n = 9$) до и после проведения tDCS (Me [LQ; UQ])

Table 2. Quality of life assessment using the SF-36 survey in patients with poststroke hemianopia ($n = 9$) before and after tDCS (Me [LQ; UQ])

Показатель Parameter	До tDCS Before tDCS	После tDCS After tDCS	p^* , метод Вилкоксона Wilcoxon test
Физический компонент здоровья Physical health component	46 [39; 46]	49 [41; 52]	0,17
Физическое функционирование Physical functioning	80 [65; 90]	90 [70; 95]	0,53
Роль функционирования, обусловленное физическим состоянием Role functioning due to physical health	0 [0; 0]	25 [0; 50]	0,04
Интенсивность боли Pain intensity	100 [61; 100]	100 [80; 100]	0,11
Общее состояние здоровья General health	45 [40; 52]	57 [52; 65]	0,008
Психологический компонент здоровья Psychological health component	33 [31; 42]	47 [40; 48]	0,04
Жизненная активность Vitality	50 [40; 65]	65 [55; 70]	0,03
Социальное функционирование Social functioning	50 [38; 50]	63 [50; 75]	0,02
Роль функционирования, обусловленное эмоциональным состоянием Role functioning due to emotional health	0 [0; 100]	67 [33; 100]	0,22
Психическое здоровье Mental health	56 [48; 64]	64 [64; 72]	0,09

явлена тенденция к улучшению общего показателя зрения и уменьшению проблем со зрением на малом и далеком расстояниях.

При анализе качества жизни пациентов с помощью опросника SF-36 после курса tDCS выявлено статистически значимое улучшение психологического компонента здоровья, а также отдельных его компонентов — жизненной активности и социального функционирования (табл. 2). Кроме того, наблюдалась тенденция к улучшению показателя психического здоровья. Статистически значимого улучшения физического компонента здоровья не обнаружено, однако показано статистически значимое улучшение таких его компонентов, как ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием, и общее состояние здоровья.

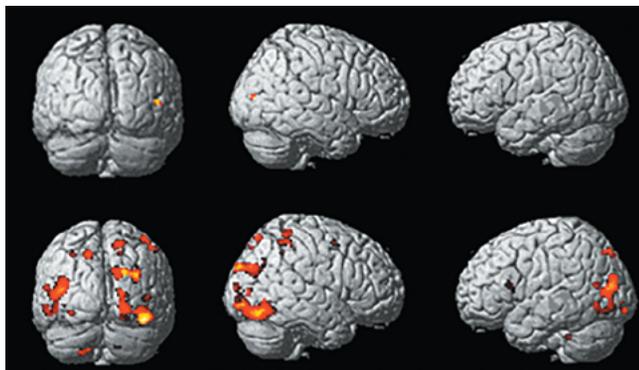
Влияние tDCS на активность затылочной коры

фМРТ до и после tDCS была проведена у 5 пациентов. В 3 случаях у пациентов с корковым поражением после проведения курса tDCS выявлено увеличение объема активации затылочной коры во время выполнения зрительной парадигмы на шахматный паттерн (рисунок). В 2 случаях значительных изменений объема и локализации зон активации после курса tDCS не отмечено.

Обсуждение

В рамках проведенного неконтролируемого исследования показано, что применение tDCS при ПИГ характеризуется хорошей переносимостью и благоприятным профилем безопасности. Выявлено, что после проведения 10 сессий анодной tDCS затылочной коры у пациентов с ПИГ наблюдается статистически значимое улучшение качества зрительного восприятия и психологического компонента качества жизни.

Полученные нами данные о безопасности и переносимости tDCS при ПИГ в целом согласуются с опубликованными



Пример увеличения объема активации по данным фМРТ у пациента с двусторонней ПИГ после проведения курса tDCS (верхний ряд — до курса tDCS, нижний ряд — после курса tDCS). Показаны зоны активации при предъявлении шахматного рисунка по сравнению с контрольными условиями (белый экран). Цвет отражает значение T. В каждом ряду слева направо: вид сзади, вид справа, вид слева

An example of increased activation volume at fMRI study after a course of tDCS in a patient with bilateral poststroke hemianopia (upper row — before tDCS, lower row — after tDCS). The activation zones are shown when a chess drawing was presented, in comparison with control conditions (a white screen). The colour reflects the T value. In each row from left to right: rear view, right view, left view

ранее результатами [29, 31, 34]. НЭ зарегистрированы в 9,9% случаев и представлены покалыванием, жжением и болью в области локализации электродов, а также сонливостью, что соответствует данным литературы о НЭ, возникающих при tDCS [39]. В большинстве случаев НЭ имели слабую степень выраженности и не влияли на желание пациента продолжать терапию. Прекращение курса tDCS зарегистрировано в 1 случае и было связано с усилением боли в руке и ноге у пациента с постинсультным центральным болевым синдромом, которое, вероятно, не связано с биологическими эффектами стимуляции.

При анализе эффекта tDCS на качество зрительного восприятия при ПИГ нами выявлено статистически значимое улучшение показателей, отражающих периферическое зрение, психическое здоровье, социальную активность и зависимость от окружающих. Кроме улучшения качества зрительного восприятия, также выявлено улучшение психологического компонента здоровья (в частности, жизненной активности и социального функционирования) и отдельных составляющих физического компонента здоровья (ролевого функционирования, обусловленного физическим состоянием, и общего состояния здоровья). Полученные данные о положительном эффекте tDCS при ПИГ согласуются с результатами ранее проведенных исследований. В небольшом ($n = 8$) рандомизированном исследовании, проведенном Е.В. Плов и соавт. [29], показано, что при сочетании tDCS (анод — Oz, катод — Cz, 2 мА, 30 мин 2 раза в день, 3 раза в неделю на протяжении 3 мес) с VRT наблюдаются статистически значимо более выраженные расширение границы поля зрения ($p = 0,021$), увеличение точности распознавания стимулов ($p = 0,043$) и улучшение по подразделу шкалы LV-VFQ (Veterans Affairs Low Vision — Visual Functional Questionnaire) для оценки зрительно-моторной обработки ($p = 0,04$) по сравнению с проведением только VRT. В небольшом ($n = 14$) открытом исследовании выявлено, что сочетание tDCS (анод — O1 или O2, катод — Cz, 2 мА; 20 мин 1 раз в день, 5 дней в неделю, всего 10 сессий) и VRT приводит к статистически значимо более выраженному увеличению порога чувствительности по данным статической периметрии по сравнению с монотерапией VRT [31]. Кроме того, положительный эффект tDCS при ПИГ выявлен в нескольких описаниях клинических наблюдений [32–35].

Механизмы эффекта tDCS затылочной коры при гемипарезах остаются до настоящего времени недостаточно изученными. В исследованиях на здоровых добровольцах показано, что tDCS оказывает модулирующий эффект на возбудимость затылочной коры. В частности, показано, что анодная tDCS (анод — Oz, катод — Cz, 1 мА, 10 мин) приводит к статистически значимому снижению порога возникновения фосфенов непосредственно после и через 10 мин после окончания стимуляции, в то время как катодная tDCS (катод — Oz, анод — Cz) оказывает противоположный эффект [40]. Кроме того, выявлено, что анодная tDCS увеличивает, а катодная tDCS, напротив, уменьшает амплитуду пика N70 зрительных вызванных потенциалов [41]. Доказательством модулирующего эффекта tDCS на зрительную кору является также возможность индукции кратковременного улучшения статической и динамической контрастной чувствительности с помощью анодной tDCS [42]. Т.Л. Costa и соавт. [43] выявили, что проведение анодной tDCS затылочной коры сопровождается снижением порога восприятия в наиболее эксцентричных полях зрения. Кроме описанных выше кратковременных эффек-

тов, установлены также долговременные эффекты нескольких сеансов tDCS на зрительное восприятие. J.R. Behrens и соавт. (2017) показали, что анодная tDCS (1,5 мА, 20 мин, 1 раз в день в течение 5 дней) вызывает статистически значимое улучшение контрастной чувствительности, начиная со 2-го дня стимуляции, причем этот эффект в отношении центральных 2–4° поля зрения сохраняется в течение как минимум 4 нед после окончания курса из 5 процедур [44].

Предполагается, что в основе восстановления полей зрения при ПИГ могут лежать нейропластические изменения, способствующие активации сохранных нейронов и вовлечению экстрастриарной зрительной коры [18, 40, 45]. В исследованиях с применением функциональной нейровизуализации показана возможность выявления при гемианопсии небольших зон активации в первичной зрительной коре на стороне поражения при распознавании зрительных стимулов [8, 46]. Кроме того, у пациентов с гемианопсией может выявляться феномен «ложной слепоты», при котором пациент способен к зрительному восприятию в пораженном поле зрения, но не осознает этого [47]. Наличие феномена «ложной слепоты» позволяет предполагать возможность сохранения резидуальной зрительной функции в пораженном поле зрения [47, 48]. Большое значение могут иметь области, окружающие очаг поражения, изменение активности которых при гемианопсии ассоциировано с восстановлением полей зрения по данным экспериментальных и клинических исследований [32, 49, 50]. Эффект анодной стимуляции при гемианопсии может быть связан с увеличением возбудимости и индукцией нейропластических изменений в различных участках зрительной коры. В связи с этим необходимо отметить, что в 3 случаях у пациентов с гемианопсией и корковым поражением после проведения курса tDCS нами выявлено увеличение объема активации в зрительной коре по данным фМРТ со зрительной парадигмой. Ранее M.A. Halko и соавт. [32] в клиническом наблюдении пациента с гемианопсией выявили, что после курса tDCS (анод — Oz, катод — Cz; 2 мА; 30 мин; 3 дня в неделю, 3 мес) в сочетании с VRT наблюдается увеличение активации в затылочной коре, соответствующее распределению электрического поля в ткани мозга по данным компьютерного моделирования.

В будущих исследованиях необходимо уточнение оптимальных параметров протокола tDCS при гемианопсии, в частности, монтажа электродов. В настоящем исследовании при одностороннем поражении мы использовали монтаж с расположением анода над электродом Oz и катода над электродом Cz, для которого ранее была показана способность модуляции порога фосфенов у здоровых добровольцев [40]. Кроме того, этот же монтаж электродов был использован в рандомизированном исследовании E.V. Plow и соавт. [29]. Альтернативным вариантом может быть расположение анода над затылочной (O1 или O2 в зависимости от стороны поражения) [31] или теменно-заты-

лочной (PO4 или PO3) корой на стороне поражения [34]. При двустороннем поражении затылочной коры нами был использован модифицированный монтаж с двумя анодами (O1 и O2) и катодами (Fp1 и Fp2) для одновременной анодной стимуляции затылочной коры с двух сторон.

Важно отметить, что в проведенных к настоящему времени работах не изучена возможность катодной стимуляции затылочной коры непораженного полушария, которое может играть большую роль в реорганизации зрительной системы при её одностороннем поражении. При гемианопсии возможно увеличение активации затылочной коры непораженного полушария при предъявлении стимулов в ипсилатеральное поле зрения, что может способствовать компенсации функции [8, 51, 52]. С другой стороны, увеличение активности зрительной коры непораженного полушария может играть негативную роль вследствие ингибирования зрительной коры пораженного полушария, что затрудняет восстановление его функций (модель межполушарной конкуренции) [20]. Это определяет целесообразность проведения исследований с «ингибирующей» (катодной) стимуляцией затылочной коры непораженного полушария [20] (аналогично протоколам, применяемым при двигательных и речевых нарушениях), хотя нельзя исключить, что роль непораженного полушария может различаться в зависимости от локализации и тяжести поражения.

Ограничения настоящего исследования связаны с небольшим размером выборки пациентов, отсутствием контроля и применением для оценки эффекта tDCS только субъективных клинических шкал. Применение в будущих исследованиях объективных методов исследования (периметрия и др.) может иметь большое значение для более точного определения эффективности применения tDCS при гемианопсии и уточнения механизмов терапевтического эффекта. Кроме того, в отличие от ранее проведенных исследований [29–31], в нашей работе пациентам не проводилась VRT. Учитывая, что tDCS не вызывает формирования потенциала действия, применение этого метода может быть более эффективным при комбинации с другими методами реабилитации [23]. Также необходимо отметить, что при монтаже электродов с локализацией анода над Oz, использованном в нашем и некоторых других исследованиях [29, 33], происходит одновременная анодная стимуляция затылочной коры как пораженного, так и непораженного полушария, что может иметь негативное значение с точки зрения модели межполушарной конкуренции. Для определения наиболее эффективного протокола tDCS при ПИГ необходимо проведение крупных контролируемых рандомизированных исследований с моделированием распределения электрического поля и анализом нейрофизиологических эффектов стимуляции при использовании различного монтажа электродов и с учетом локализации и тяжести поражения зрительной системы [20, 32].

Список литературы

1. Rowe F, Brand D., Jackson C.A. et al. Visual impairment following stroke: do stroke patients require vision assessment? *Ageing* 2009; 38: 188–193. DOI: 10.1093/ageing/afn230. PMID: 19029069.
2. Rowe F.J.; VIS writing Group. Vision In Stroke cohort: Profile overview of visual impairment. *Brain Behav* 2017; 7: e00771. DOI 10.1002/brb3.771. PMID: 29201538.
3. Pula J.H., Yuen C.A. Eyes and stroke: the visual aspects of cerebrovascular disease. *Stroke Vasc Neurol* 2017; 2: 210–220. DOI: 10.1136/svn-2017-000079. PMID: 29507782.

References

1. Rowe F, Brand D., Jackson C.A. et al. Visual impairment following stroke: do stroke patients require vision assessment? *Ageing* 2009; 38: 188–193. DOI: 10.1093/ageing/afn230. PMID: 19029069.
2. Rowe F.J.; VIS writing Group. Vision In Stroke cohort: Profile overview of visual impairment. *Brain Behav* 2017; 7: e00771. DOI 10.1002/brb3.771. PMID: 29201538.
3. Pula J.H., Yuen C.A. Eyes and stroke: the visual aspects of cerebrovascular disease. *Stroke Vasc Neurol* 2017; 2: 210–220. DOI: 10.1136/svn-2017-000079. PMID: 29507782.

4. Zhang X., Kedar S., Lynn M.J. et al. Homonymous hemianopia in stroke. *J Neuroophthalmol* 2006; 26: 180–183. DOI: 10.1097/01.wno.0000235587.41040.39. PMID: 16966935.
5. Gilhotra J.S., Mitchell P., Healey P.R. et al. Homonymous visual field defects and stroke in an older population. *Stroke* 2002; 33: 2417–2420. DOI: 10.1161/01.str.0000037647.10414.d2. PMID: 12364731.
6. Zhang X., Kedar S., Lynn M.J. et al. Homonymous hemianopias: clinical-anatomic correlations in 904 cases. *Neurology* 2006; 66: 906–910. DOI: 10.1212/01.wnl.0000203913.12088.93. PMID: 16567710.
7. Rowe F.J., Wright D., Brand D. et al. A prospective profile of visual field loss following stroke: prevalence, type, rehabilitation and outcome. *Biomed Res Int* 2013; 2013: 719096. DOI: 10.1155/2013/719096. PMID: 24089687.
8. Urbanski M., Coubard O.A., Broulon C. Visualizing the blind brain: brain imaging of visual field defects from early recovery to rehabilitation techniques. *Front Integr Neurosci* 2014; 8: 74. DOI: 10.3389/fnint.2014.00074. PMID: 25324739.
9. Gall C., Franke G.H., Sabel B.A. Vision-related quality of life in first stroke patients with homonymous visual field defects. *Health Qual Life Outcomes* 2010; 8: 33. DOI: 10.1186/1477-7525-8-33. PMID: 20346125.
10. Sand K.M., Wilhelmsen G., Naess H. et al. Vision problems in ischaemic stroke patients: effects on life quality and disability. *Eur J Neurol* 2016; 23 Suppl 1: 1–7. DOI: 10.1111/ene.12848. PMID: 26563092.
11. Bowers A.R. Driving with homonymous visual field loss: a review of the literature. *Clin Exp Optom* 2016; 99: 402–418. DOI: 10.1111/cxo.12425. PMID: 27535208.
12. Gall C., Sabel B.A. Reading performance after vision rehabilitation of subjects with homonymous visual field defects. *PM R* 2012; 4: 928–935. DOI: 10.1016/j.pmrj.2012.08.020. PMID: 23122896.
13. Ramrattan R.S., Wolfs R.C., Panda-Jonas S. et al. Prevalence and causes of visual field loss in the elderly and associations with impairment in daily functioning: the Rotterdam Study. *Arch Ophthalmol* 2001; 119: 1788–1794. DOI: 10.1001/archophth.119.12.1788. PMID: 11735788.
14. Wolter M., Preda S. Visual deficits following stroke: maximizing participation in rehabilitation. *Top Stroke Rehabil* 2006; 13: 12–21. DOI: 10.1310/3JRY-B168-5N49-XQWA. PMID: 16987788.
15. Sand K.M., Naess H., Thomassen L., Hoff J.M. Visual field defect after ischemic stroke-impact on mortality. *Acta Neurol Scand* 2018; 137: 293–298. DOI: 10.1111/ane.12870. PMID: 29148038.
16. Grunda T., Marsalek P., Sykorova P. Homonymous hemianopia and related visual defects: Restoration of vision after a stroke. *Acta Neurobiol Exp (Wars)* 2013; 73: 237–49. PMID: 23823985.
17. Goodwin D. Homonymous hemianopia: challenges and solutions. *Clin Ophthalmol* 2014; 8: 1919–1927. DOI: 10.2147/OPHT.S59452. PMID: 25284978.
18. Frolov A., Feuerstein J., Subramanian P.S. Homonymous hemianopia and vision restoration therapy. *Neuro Clin* 2017; 35: 29–43. DOI: 10.1016/j.ncl.2016.08.010. PMID: 27886894.
19. Sabel B.A., Henrich-Noack P., Fedorov A., Gall C. Vision restoration after brain and retina damage: the “residual vision activation theory”. *Prog Brain Res* 2011; 192: 199–262. DOI: 10.1016/B978-0-444-53355-5.00013-0. PMID: 21763527.
20. Gall C., Silvennoinen K., Granata G. et al. Non-invasive electric current stimulation for restoration of vision after unilateral occipital stroke. *Contemp Clin Trials* 2015; 43: 231–236. DOI: 10.1016/j.cct.2015.06.005. PMID: 26072125.
21. Priori A., Berardelli A., Rona S. et al. Polarization of the human motor cortex through the scalp. *Neuroreport* 1998; 9: 2257–2260. DOI: 10.1097/00001756-199807130-00020. PMID: 9694210.
22. Nitsche M.A., Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol* 2000; 527(Pt 3): 633–639. DOI: 10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x. PMID: 10990547.
23. Yavari F., Jamil A., MosayebiSamani M. et al. Basic and functional effects of transcranial electrical stimulation (tES) — an introduction. *Neurosci Biobehav Rev* 2018; 85: 81–92. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2017.06.015. PMID: 28688701.
24. Cirillo G., Di Pino G., Capone F. et al. Neurobiological after-effects of non-invasive brain stimulation. *Brain Stimul* 2017; 10: 1–18. DOI: 10.1016/j.brs.2016.11.009. PMID: 27931886.
25. Lefaucheur J.P., Antal A., Ayache S.S. et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS). *Clin Neurophysiol* 2017; 128: 56–92. DOI: 10.1016/j.clinph.2016.10.087. PMID: 27866120.
26. Бакулин И.С., Пойдашева А.Г., Павлов Н.А. и др. Транскраниальная электрическая стимуляция в улучшении функции руки при инсульте. *Успехи физиологических наук* 2019; 50(1): 90–104. DOI: 10.1134/S030117981901003X. (In Russ.)
27. Salazar A.P.S., Vaz P.G., Marchese R.R. et al. Noninvasive brain stimulation improves hemiparetic neglect after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2018; 99: 355–366.e1. DOI: 10.1016/j.apmr.2017.07.009. PMID: 28802812.
28. Sebastian R., Tsapkini K., Tippett D.C. Transcranial direct current stimulation in post stroke aphasia and primary progressive aphasia: Current knowledge and future clinical applications. *NeuroRehabilitation* 2016; 39: 141–152. DOI: 10.3233/NRE-161346. PMID: 27314871.
29. Plow E.B., Obretenova S.N., Fregni F. et al. Comparison of visual field training for hemianopia with active versus sham transcranial direct cortical stimulation. *Neurorehabil Neural Repair* 2012; 26: 616–626. DOI: 10.1177/1545968311431963. PMID: 22291042.
4. Zhang X., Kedar S., Lynn M.J. et al. Homonymous hemianopia in stroke. *J Neuroophthalmol* 2006; 26: 180–183. DOI: 10.1097/01.wno.0000235587.41040.39. PMID: 16966935.
5. Gilhotra J.S., Mitchell P., Healey P.R. et al. Homonymous visual field defects and stroke in an older population. *Stroke* 2002; 33: 2417–2420. DOI: 10.1161/01.str.0000037647.10414.d2. PMID: 12364731.
6. Zhang X., Kedar S., Lynn M.J. et al. Homonymous hemianopias: clinical-anatomic correlations in 904 cases. *Neurology* 2006; 66: 906–910. DOI: 10.1212/01.wnl.0000203913.12088.93. PMID: 16567710.
7. Rowe F.J., Wright D., Brand D. et al. A prospective profile of visual field loss following stroke: prevalence, type, rehabilitation and outcome. *Biomed Res Int* 2013; 2013: 719096. DOI: 10.1155/2013/719096. PMID: 24089687.
8. Urbanski M., Coubard O.A., Broulon C. Visualizing the blind brain: brain imaging of visual field defects from early recovery to rehabilitation techniques. *Front Integr Neurosci* 2014; 8: 74. DOI: 10.3389/fnint.2014.00074. PMID: 25324739.
9. Gall C., Franke G.H., Sabel B.A. Vision-related quality of life in first stroke patients with homonymous visual field defects. *Health Qual Life Outcomes* 2010; 8: 33. DOI: 10.1186/1477-7525-8-33. PMID: 20346125.
10. Sand K.M., Wilhelmsen G., Naess H. et al. Vision problems in ischaemic stroke patients: effects on life quality and disability. *Eur J Neurol* 2016; 23 Suppl 1: 1–7. DOI: 10.1111/ene.12848. PMID: 26563092.
11. Bowers A.R. Driving with homonymous visual field loss: a review of the literature. *Clin Exp Optom* 2016; 99: 402–418. DOI: 10.1111/cxo.12425. PMID: 27535208.
12. Gall C., Sabel B.A. Reading performance after vision rehabilitation of subjects with homonymous visual field defects. *PM R* 2012; 4: 928–935. DOI: 10.1016/j.pmrj.2012.08.020. PMID: 23122896.
13. Ramrattan R.S., Wolfs R.C., Panda-Jonas S. et al. Prevalence and causes of visual field loss in the elderly and associations with impairment in daily functioning: the Rotterdam Study. *Arch Ophthalmol* 2001; 119: 1788–1794. DOI: 10.1001/archophth.119.12.1788. PMID: 11735788.
14. Wolter M., Preda S. Visual deficits following stroke: maximizing participation in rehabilitation. *Top Stroke Rehabil* 2006; 13: 12–21. DOI: 10.1310/3JRY-B168-5N49-XQWA. PMID: 16987788.
15. Sand K.M., Naess H., Thomassen L., Hoff J.M. Visual field defect after ischemic stroke-impact on mortality. *Acta Neurol Scand* 2018; 137: 293–298. DOI: 10.1111/ane.12870. PMID: 29148038.
16. Grunda T., Marsalek P., Sykorova P. Homonymous hemianopia and related visual defects: Restoration of vision after a stroke. *Acta Neurobiol Exp (Wars)* 2013; 73: 237–49. PMID: 23823985.
17. Goodwin D. Homonymous hemianopia: challenges and solutions. *Clin Ophthalmol* 2014; 8: 1919–1927. DOI: 10.2147/OPHT.S59452. PMID: 25284978.
18. Frolov A., Feuerstein J., Subramanian P.S. Homonymous hemianopia and vision restoration therapy. *Neuro Clin* 2017; 35: 29–43. DOI: 10.1016/j.ncl.2016.08.010. PMID: 27886894.
19. Sabel B.A., Henrich-Noack P., Fedorov A., Gall C. Vision restoration after brain and retina damage: the “residual vision activation theory”. *Prog Brain Res* 2011; 192: 199–262. DOI: 10.1016/B978-0-444-53355-5.00013-0. PMID: 21763527.
20. Gall C., Silvennoinen K., Granata G. et al. Non-invasive electric current stimulation for restoration of vision after unilateral occipital stroke. *Contemp Clin Trials* 2015; 43: 231–236. DOI: 10.1016/j.cct.2015.06.005. PMID: 26072125.
21. Priori A., Berardelli A., Rona S. et al. Polarization of the human motor cortex through the scalp. *Neuroreport* 1998; 9: 2257–2260. DOI: 10.1097/00001756-199807130-00020. PMID: 9694210.
22. Nitsche M.A., Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol* 2000; 527(Pt 3): 633–639. DOI: 10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x. PMID: 10990547.
23. Yavari F., Jamil A., MosayebiSamani M. et al. Basic and functional effects of transcranial electrical stimulation (tES) — an introduction. *Neurosci Biobehav Rev* 2018; 85: 81–92. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2017.06.015. PMID: 28688701.
24. Cirillo G., Di Pino G., Capone F. et al. Neurobiological after-effects of non-invasive brain stimulation. *Brain Stimul* 2017; 10: 1–18. DOI: 10.1016/j.brs.2016.11.009. PMID: 27931886.
25. Lefaucheur J.P., Antal A., Ayache S.S. et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS). *Clin Neurophysiol* 2017; 128: 56–92. DOI: 10.1016/j.clinph.2016.10.087. PMID: 27866120.
26. Bakulin I.S., Poydasheva A.G., Pavlov N.A. et al. [Transcranial current stimulation in poststroke hand paresis rehabilitation]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* 2019; 50(1): 90–104. DOI: 10.1134/S030117981901003X. (In Russ.)
27. Salazar A.P.S., Vaz P.G., Marchese R.R. et al. Noninvasive brain stimulation improves hemiparetic neglect after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2018; 99: 355–366.e1. DOI: 10.1016/j.apmr.2017.07.009. PMID: 28802812.
28. Sebastian R., Tsapkini K., Tippett D.C. Transcranial direct current stimulation in post stroke aphasia and primary progressive aphasia: Current knowledge and future clinical applications. *NeuroRehabilitation* 2016; 39: 141–152. DOI: 10.3233/NRE-161346. PMID: 27314871.
29. Plow E.B., Obretenova S.N., Fregni F. et al. Comparison of visual field training for hemianopia with active versus sham transcranial direct cortical stimulation. *Neurorehabil Neural Repair* 2012; 26: 616–626. DOI: 10.1177/1545968311431963. PMID: 22291042.

30. Plow E.B., Obretenova S.N., Jackson M.L., Merabet L.B. Temporal profile of functional visual rehabilitative outcomes modulated by transcranial direct current stimulation. *Neuromodulation* 2012; 15: 367–373. DOI: 10.1111/j.1525-1403.2012.00440.x. PMID: 22376226.
31. Alber R., Moser H., Gall C. et al. Combined transcranial direct current stimulation and vision restoration training in subacute stroke rehabilitation: a pilot study. *PM R* 2017; 9: 787–794. DOI: 10.1016/j.pmrj.2016.12.003. PMID: 28082176.
32. Halko M.A., Datta A., Plow E.B. et al. Neuroplastic changes following rehabilitative training correlate with regional electrical field induced with tDCS. *Neuroimage* 2011; 57: 885–891. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.05.026. PMID: 21620985.
33. Plow E.B., Obretenova S.N., Halko M.A. et al. Combining visual rehabilitative training and noninvasive brain stimulation to enhance visual function in patients with hemianopia: a comparative case study. *PM R* 2011; 3: 825–835. DOI: 10.1016/j.pmrj.2011.05.026. PMID: 21944300.
34. Matteo B.M., Viganò B., Cerri C.G. et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS) combined with blindsight rehabilitation for the treatment of homonymous hemianopia: a report of two-cases. *J Phys Ther Sci* 2017; 29: 1700–1705. DOI: 10.1589/jpts.29.1700. PMID: 28932016.
35. Larcombe S.J., Kulyomina Y., Antonova N. et al. Visual training in hemianopia alters neural activity in the absence of behavioural improvement: a pilot study. *Ophthalmic Physiol Opt* 2018; 38: 538–549. DOI: 10.1111/opo.12584. PMID: 30357899.
36. Mangione C.M., Lee P.P., Gutierrez P.R. et al. Development of the 25-item National Eye Institute Visual Function Questionnaire. *Arch Ophthalmol* 2001; 119: 1050–1058. DOI: 10.1001/archophth.119.7.1050. PMID: 11448327.
37. Мочалова А.С. *Качество жизни пациентов при различных вариантах лечения меланомы хориоидеи*. дис. ... канд. мед. наук. Челябинск, 2014. 128 с.
38. Новик А.А., Ионова Т.И. *Руководство по исследованию качества жизни в медицине*. М.: ОЛМА Медиа Групп, 2007. 313 с.
39. Antal A., Alekseiuk L., Bikson M. et al. Low intensity transcranial electric stimulation: Safety, ethical, legal regulatory and application guidelines. *Clin Neurophysiol* 2017; 128: 1774–1809. DOI: 10.1016/j.clinph.2017.06.001. PMID: 28709880.
40. Antal A., Kincses T.Z., Nitsche M.A., Paulus W. Manipulation of phosphene thresholds by transcranial direct current stimulation in man. *Exp Brain Res* 2003; 150: 375–378. DOI: 10.1007/s00221-003-1459-8. PMID: 12698316.
41. Antal A., Kincses T.Z., Nitsche M.A. et al. Excitability changes induced in the human primary visual cortex by transcranial direct current stimulation: direct electrophysiological evidence. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004; 45: 702–707. DOI: 10.1167/iovs.03-0688. PMID: 14744917.
42. Kraft A., Roehmel J., Olma M.C. et al. Transcranial direct current stimulation affects visual perception measured by threshold perimetry. *Exp Brain Res* 2010; 207: 283–290. DOI: 10.1007/s00221-010-2453-6. PMID: 21046369.
43. Costa T.L., Gualtieri M., Barboni M.T. et al. Contrasting effects of transcranial direct current stimulation on central and peripheral visual fields. *Exp Brain Res* 2015; 233: 1391–1397. DOI: 10.1007/s00221-015-4213-0. PMID: 25650104.
44. Behrens J.R., Kraft A., Irlbacher K. et al. Long-lasting enhancement of visual perception with repetitive noninvasive transcranial direct current stimulation. *Front Cell Neurosci* 2017; 11: 238. DOI: 10.3389/fncel.2017.00238. PMID: 28860969.
45. Matteo B.M., Viganò B., Cerri C.G., Perin C. Visual field restorative rehabilitation after brain injury. *J Vis* 2016; 16: 11. DOI: 10.1167/16.9.11. PMID: 27472498.
46. Morland A.B., Le S., Carroll E. et al. The role of spared calcarine cortex and lateral occipital cortex in the responses of human hemianopes to visual motion. *J Cogn Neurosci* 2004; 16: 204–218. DOI: 10.1162/089892904322984517. PMID: 15068592.
47. Chokron S., Perez C., Peyrin C. Behavioral consequences and cortical reorganization in homonymous hemianopia. *Front Syst Neurosci* 2016; 10: 57. DOI: 10.3389/fnsys.2016.00057. PMID: 27445717.
48. Fendrich R., Wessinger C.M., Gazzaniga M.S. Speculations on the neural basis of islands of blindsight. *Prog Brain Res* 2001; 134: 353–366. DOI: 10.1016/s0079-6123(01)34023-2. PMID: 11702554.
49. Eysel U.T., Schweigart G. Increased receptive field size in the surround of chronic lesions in the adult cat visual cortex. *Cereb Cortex* 1999; 9: 101–109. DOI: 10.1016/s0304-3940(02)01153-9. PMID: 12531465.
50. Pleger B., Foerster A.F., Widdig W. et al. Functional magnetic resonance imaging mirrors recovery of visual perception after repetitive tachistoscopic stimulation in patients with partial cortical blindness. *Neurosci Lett* 2003; 335: 192–196.
51. Nelles G., Widman G., de Greiff A. et al. Brain representation of hemifield stimulation in poststroke visual field defects. *Stroke* 2002; 33: 1286–1293. PMID: 11988605.
52. Nelles G., de Greiff A., Pscherer A. et al. Cortical activation in hemianopia after stroke. *Neurosci Lett* 2007; 426: 34–38. PMID: 17881128.
30. Plow E.B., Obretenova S.N., Jackson M.L., Merabet L.B. Temporal profile of functional visual rehabilitative outcomes modulated by transcranial direct current stimulation. *Neuromodulation* 2012; 15: 367–373. DOI: 10.1111/j.1525-1403.2012.00440.x. PMID: 22376226.
31. Alber R., Moser H., Gall C. et al. Combined transcranial direct current stimulation and vision restoration training in subacute stroke rehabilitation: a pilot study. *PM R* 2017; 9: 787–794. DOI: 10.1016/j.pmrj.2016.12.003. PMID: 28082176.
32. Halko M.A., Datta A., Plow E.B. et al. Neuroplastic changes following rehabilitative training correlate with regional electrical field induced with tDCS. *Neuroimage* 2011; 57: 885–891. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.05.026. PMID: 21620985.
33. Plow E.B., Obretenova S.N., Halko M.A. et al. Combining visual rehabilitative training and noninvasive brain stimulation to enhance visual function in patients with hemianopia: a comparative case study. *PM R* 2011; 3: 825–835. DOI: 10.1016/j.pmrj.2011.05.026. PMID: 21944300.
34. Matteo B.M., Viganò B., Cerri C.G. et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS) combined with blindsight rehabilitation for the treatment of homonymous hemianopia: a report of two-cases. *J Phys Ther Sci* 2017; 29: 1700–1705. DOI: 10.1589/jpts.29.1700. PMID: 28932016.
35. Larcombe S.J., Kulyomina Y., Antonova N. et al. Visual training in hemianopia alters neural activity in the absence of behavioural improvement: a pilot study. *Ophthalmic Physiol Opt* 2018; 38: 538–549. DOI: 10.1111/opo.12584. PMID: 30357899.
36. Mangione C.M., Lee P.P., Gutierrez P.R. et al. Development of the 25-item National Eye Institute Visual Function Questionnaire. *Arch Ophthalmol* 2001; 119: 1050–1058. DOI: 10.1001/archophth.119.7.1050. PMID: 11448327.
37. Мочалова А.С. [Quality of life in patients with different variants of melanoma of the chorioidea: med. sci. diss.]. Chelyabinsk, 2014. 128 p. (In Russ.)
38. Novik A.A., Ionova T.I. [Guidance on the study of the quality of life in medicine]. Moscow: OLMA Media Group, 2007. 313 p. (In Russ.)
39. Antal A., Alekseiuk L., Bikson M. et al. Low intensity transcranial electric stimulation: Safety, ethical, legal regulatory and application guidelines. *Clin Neurophysiol* 2017; 128: 1774–1809. DOI: 10.1016/j.clinph.2017.06.001. PMID: 28709880.
40. Antal A., Kincses T.Z., Nitsche M.A., Paulus W. Manipulation of phosphene thresholds by transcranial direct current stimulation in man. *Exp Brain Res* 2003; 150: 375–378. DOI: 10.1007/s00221-003-1459-8. PMID: 12698316.
41. Antal A., Kincses T.Z., Nitsche M.A. et al. Excitability changes induced in the human primary visual cortex by transcranial direct current stimulation: direct electrophysiological evidence. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004; 45: 702–707. DOI: 10.1167/iovs.03-0688. PMID: 14744917.
42. Kraft A., Roehmel J., Olma M.C. et al. Transcranial direct current stimulation affects visual perception measured by threshold perimetry. *Exp Brain Res* 2010; 207: 283–290. DOI: 10.1007/s00221-010-2453-6. PMID: 21046369.
43. Costa T.L., Gualtieri M., Barboni M.T. et al. Contrasting effects of transcranial direct current stimulation on central and peripheral visual fields. *Exp Brain Res* 2015; 233: 1391–1397. DOI: 10.1007/s00221-015-4213-0. PMID: 25650104.
44. Behrens J.R., Kraft A., Irlbacher K. et al. Long-lasting enhancement of visual perception with repetitive noninvasive transcranial direct current stimulation. *Front Cell Neurosci* 2017; 11: 238. DOI: 10.3389/fncel.2017.00238. PMID: 28860969.
45. Matteo B.M., Viganò B., Cerri C.G., Perin C. Visual field restorative rehabilitation after brain injury. *J Vis* 2016; 16: 11. DOI: 10.1167/16.9.11. PMID: 27472498.
46. Morland A.B., Le S., Carroll E. et al. The role of spared calcarine cortex and lateral occipital cortex in the responses of human hemianopes to visual motion. *J Cogn Neurosci* 2004; 16: 204–218. DOI: 10.1162/089892904322984517. PMID: 15068592.
47. Chokron S., Perez C., Peyrin C. Behavioral consequences and cortical reorganization in homonymous hemianopia. *Front Syst Neurosci* 2016; 10: 57. DOI: 10.3389/fnsys.2016.00057. PMID: 27445717.
48. Fendrich R., Wessinger C.M., Gazzaniga M.S. Speculations on the neural basis of islands of blindsight. *Prog Brain Res* 2001; 134: 353–366. DOI: 10.1016/s0079-6123(01)34023-2. PMID: 11702554.
49. Eysel U.T., Schweigart G. Increased receptive field size in the surround of chronic lesions in the adult cat visual cortex. *Cereb Cortex* 1999; 9: 101–109. DOI: 10.1016/s0304-3940(02)01153-9. PMID: 12531465.
50. Pleger B., Foerster A.F., Widdig W. et al. Functional magnetic resonance imaging mirrors recovery of visual perception after repetitive tachistoscopic stimulation in patients with partial cortical blindness. *Neurosci Lett* 2003; 335: 192–196.
51. Nelles G., Widman G., de Greiff A. et al. Brain representation of hemifield stimulation in poststroke visual field defects. *Stroke* 2002; 33: 1286–1293. PMID: 11988605.
52. Nelles G., de Greiff A., Pscherer A. et al. Cortical activation in hemianopia after stroke. *Neurosci Lett* 2007; 426: 34–38. PMID: 17881128.

Информация об авторах

Бакулин Илья Сергеевич — к.м.н., м.н.с. отд. нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, Россия

Лагода Дмитрий Юрьевич — лаборант-исследователь отд. нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, Россия

Пойдашева Александра Георгиевна — м.н.с., врач-невролог отд. нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, Россия

Кремнева Елена Игоревна — к.м.н., с.н.с. отд. лучевой диагностики ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, Россия

Супонева Наталья Александровна — д.м.н., член-корреспондент РАН, г.н.с. отд. нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, Россия

Пирадов Михаил Александрович — д.м.н., академик РАН, директор ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, Россия

Information about the authors

Ilya S. Bakulin, PhD (Med.), junior researcher, Neurorehabilitation and physiotherapy department, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

Dmitry Yu. Lagoda, assistant researcher, Neurorehabilitation and physiotherapy department, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

Alexandra G. Poydasheva, junior researcher, Neurorehabilitation and physiotherapy department, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

Elena I. Kremneva, PhD (Med.), senior researcher, Neuroradiology department, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

Natalia A. Suponeva, D. Sci (Med.), Corr. Member of RAS, principal researcher, Neurorehabilitation and physiotherapy department, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

Mikhail A. Piradov, D. Sci (Med.), Prof., Academician of RAS, Director, Research Center of Neurology, Moscow, Russia