

Транскраниальная электрическая стимуляция постоянным током при болезни Паркинсона

С.П. Бордовский¹, sbordoch@gmail.com, Р.Т. Муртазина¹, С.С. Андреев², Т.О. Меинова¹, Ю.И. Горлова¹, А.Д. Таранова¹, В.Д. Котенко¹, О.О. Зинченко², С.С. Муравьева¹, К.В. Шевцова¹

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

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

Резюме

Болезнь Паркинсона относится к числу наиболее распространенных нейродегенеративных патологий, проявляющихся прогрессирующими двигательными и когнитивно-аффективными нарушениями. В условиях глобального старения населения распространенность патологии продолжает неуклонно расти, что создает значительную медико-социальную нагрузку на системы здравоохранения и определяет актуальность поиска новых терапевтических подходов. В качестве дополнительного метода лечения болезни Паркинсона используется транскраниальная стимуляция постоянным током (ТСПТ) для уменьшения моторных и немоторных проявлений. Проведены рандомизированные контролируемые исследования, мета-анализы и систематические обзоры по оценке эффективности ТСПТ при болезни Паркинсона. Клинические исследования демонстрируют значительный потенциал ТСПТ в отношении коррекции двигательных нарушений с акцентом на симптомы гипокинезии, постуральной неустойчивости, нарушения походки, а также когнитивной сферы, где наиболее выраженные положительные изменения отмечаются в области исполнительных функций и рабочей памяти. Дополнительно наблюдается положительное влияние на аффективную сферу, проявляющееся в достоверном уменьшении депрессивной симптоматики по стандартизированным шкалам оценки. Кроме того, получены убедительные доказательства нормализующего действия на архитектуру сна, включая улучшение его продолжительности и качества, что имеет особое значение для пациентов с сопутствующими нарушениями сна. В целом ТСПТ представляет собой перспективное направление в комплексной терапии болезни Паркинсона, демонстрируя хороший профиль безопасности и широкий спектр терапевтических эффектов. Наибольшая клиническая эффективность достигается при использовании оптимизированных протоколов стимуляции в сочетании с другими методами реабилитации. Перспективы дальнейшего исследования связаны с разработкой персонализированных подходов и углубленным изучением долгосрочных эффектов.

Ключевые слова: болезнь Паркинсона, транскраниальная стимуляция постоянным током, нейромодуляция, неинвазивная стимуляция, нейропластичность, двигательные нарушения, когнитивные нарушения, аффективные нарушения, немедикаментозная терапия болезни Паркинсона

Для цитирования: Бордовский СП, Муртазина РТ, Андреев СС, Меинова ТО, Горлова ЮИ, Таранова АД, Котенко ВД, Зинченко ОО, Муравьева СС, Шевцова КВ. Транскраниальная электрическая стимуляция постоянным током при болезни Паркинсона. *Медицинский совет*. 2025;19(12):82–91. <https://doi.org/10.21518/ms2025-228>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Transcranial direct current stimulation in Parkinson's disease

Sergey P. Bordovsky¹, sbordoch@gmail.com, Renata T. Murtazina¹, Sergey S. Andreev², Taisiya O. Meinova¹, Iuliia I. Gorlova¹, Anna D. Taranova¹, Valentina D. Kotenko¹, Oksana O. Zinchenko², Svetlana S. Muraveva¹, Kseniya V. Shevtsova¹

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

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

Abstract

Parkinson's disease is one of the most common neurodegenerative pathologies manifested by progressive motor and cognitive-affective disorders. In the context of global population aging, the prevalence of pathology continues to grow steadily, which creates a significant medical and social burden on health care systems and determines the relevance of the search for new therapeutic approaches. As an additional method of Parkinson's disease treatment transcranial direct current stimulation (tDCS) is used to reduce motor and non-motor manifestations. Randomized controlled trials, meta-analyses, and systematic reviews have been conducted to evaluate the efficacy of tDCS in Parkinson's disease. Clinical studies demonstrate the significant potential of tDCS for the correction of motor impairments, with a focus on symptoms of hypokinesia, postural instability, gait disturbances, and cognitive impairment, with the most pronounced positive changes in executive function and working memory. Additionally, there is a positive effect on the affective sphere, manifested in a reliable reduction of depressive symptomatology according to standardized assessment scales. In addition, there is strong evidence of a normalizing effect on sleep architecture, including improvements in sleep duration and quality, which is of particular importance in patients with comorbid sleep

disorders. Overall, tDCS represents a promising direction in the complex therapy of Parkinson's disease, demonstrating a good safety profile and a wide range of therapeutic effects. The greatest clinical efficacy is achieved when optimized stimulation protocols are used in combination with other rehabilitation methods. Future research should focus on developing personalized approaches and more thorough investigation of long-term effects.

Keywords: Parkinson's disease, transcranial direct current stimulation, neuromodulation, non-invasive stimulation, neuroplasticity, motor disorders, cognitive impairment, affective disorders, non-pharmacological Parkinson's disease therapy

For citation: Bordovsky SP, Murtazina RT, Andreev SS, Meinova TO, Gorlova Iul, Taranova AD, Kotenko VD, Zinchenko OO, Muraveva SS, Shevtsova KV. Transcranial direct current stimulation in Parkinson's disease. *Meditsinskiy Sovet*. 2025;19(12):82–91. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/ms2025-228>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Болезнь Паркинсона (БП) представляет собой второе по распространенности нейродегенеративное заболевание после болезни Альцгеймера, характеризующееся прогрессирующей утратой моторных и немоторных функций [1]. Распространенность БП в мире составляет около 1% среди людей старше 60 лет и увеличивается с возрастом, достигая 4% у лиц старше 80 лет [2]. Количество новых случаев БП ежегодно растет и колеблется от 8 до 18 на 100 000 населения [3].

Одним из ключевых факторов, способствующих росту распространенности БП, является старение населения. Согласно прогнозам, к 2030 г. число пациентов с БП может удвоиться, что, учитывая нынешнее качество оказания медицинской помощи и обеспеченность лекарственными средствами в некоторых странах [4], создаст существенное социально-экономическое давление [5]. Экономические последствия заболевания включают как прямые затраты на медицинское обслуживание, так и косвенные расходы, связанные с утратой трудоспособности и необходимостью долгосрочного ухода [6].

НЕЛЕКАРСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕРАПИИ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА

Согласно современным представлениям, оптимальная терапевтическая стратегия БП, включая ранние стадии заболевания [7], должна обеспечивать как медикаментозное лечение, так и комплекс нефармакологических подходов, таких как кинезиотерапия, когнитивный тренинг, физиотерапия, психотерапия, нейромуляционные методы и др. [8–10].

Транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС, *англ.* transcranial magnetic stimulation) представляет собой неинвазивный метод нейромуляции, демонстрирующий умеренную эффективность в коррекции как моторных, так и некоторых немоторных симптомов. Однако метод имеет ограничения, связанные с необходимостью точного нейронавигационного позиционирования и определения моторного порога [11]. Кроме того, механизм действия ТМС построен на изменении потенциала действия мембран нейронов надпороговым воздействием, а не модуляции возбудимости клеток [12], что затрудняет достижение долговременных эффектов от терапии [13]. Также,

несмотря на хороший профиль безопасности и неинвазивность, остается нерешенной проблема высокой вариабельности индивидуального ответа и неопределенной эффективности в отношении когнитивных функций [14].

Глубокая стимуляция мозга (*англ.* deep brain stimulation) представляет собой эффективный хирургический метод лечения для пациентов с рефрактерными симптомами, однако она сопряжена с рисками, связанными с инвазивным вмешательством, и подходит не для всех пациентов [15]. В связи с этим существует необходимость в разработке новых, безопасных и эффективных методов лечения БП.

Транскраниальная стимуляция постоянным током (ТСПТ, *англ.* transcranial direct current stimulation) представляет собой неинвазивный метод нейромуляции, при котором слабый постоянный электрический ток, подаваемый с помощью электродов, установленных на поверхности кожи головы, используется для модуляции кортикальной возбудимости [16]. ТСПТ обладает потенциалом влияния на нейропластичность и может модифицировать патологические нейронные сети, участвующие в патогенезе БП [17].

При этом ТСПТ обладает хорошим профилем безопасности, с минимальными побочными эффектами, такими как легкий дискомфорт или покалывание в месте наложения электродов [18]. Это дает ТСПТ определенные преимущества и перспективы для долгосрочного применения и комбинированной терапии с другими методами лечения.

В свете ограничений текущих терапевтических подходов и растущего числа пациентов с БП исследование эффективности ТСПТ представляет значительный интерес. Дальнейшие рандомизированные контролируемые исследования (РКИ) необходимы для определения оптимальных параметров стимуляции, длительности и частоты сеансов, а также для оценки долгосрочных эффектов и потенциальных преимуществ ТСПТ в управлении симптомами БП.

Методика и механизм действия транскраниальной электрической стимуляции

ТСПТ основан на применении низкоинтенсивного постоянного электрического тока (1–2 мА) через два или более электродов, размещенных на поверхности черепа [19]. Один электрод служит анодом (положительным полюсом), другой – катодом (отрицательным полюсом). Один из них, в зависимости от задачи исследования, устанавливается на целевую зону в соответствии

с международной системой 10–20 для электрофизиологических исследований [20]. Этот электрод, именуемый целевым, вызывает ожидаемые нейрофизиологические и клинические эффекты. Второй электрод, возвратный, размещается над зоной, минимально влияющей на появление целевых эффектов, и служит необходимым компонентом электрической цепи. Расположение электродов определенной полярности на скальпе, именуемое монтажом, является ключевым фактором при разработке протокола стимуляции.

ТСПТ изменяет мембранный потенциал нейронов, не вызывая генерации потенциалов действия [21]. Анодная стимуляция обычно повышает возбудимость коры, деполяризуя мембраны нейронов, тогда как катодная стимуляция снижает возбудимость, гиперполяризуя их.

Результаты проведенных фундаментальных исследований эффектов ТСПТ и их возможной природы были обобщены S.J. Pelletier, F. Cicchetti [22] и X.J. Feng et al. [23], которые, изучив результаты исследований, проводимых как *in vitro*, так и *in vivo*, с привлечением параллельной нейровизуализации на животных и людях, смогли описать общие нейрофизиологические принципы и эффекты работы ТСПТ:

- Стимуляция постоянным током вызывает нейромодуляторные эффекты через изменение мембранного потенциала нейронов и может приводить к длительным изменениям синаптической пластичности. Однако зависит это

не только от полярности электрода, но и от длительности, силы, кратности стимуляции.

- Электрическое поле, индуцируемое постоянным током, может регулировать миграцию клеток.

- Электрическое поле может влиять на физиологические процессы и метаболизм самих клеток, обеспечивая, к примеру, аксональный рост.

- Электрическое поле может влиять на ангиогенез.

- Электрическое поле может оказывать нейропротекторное действие, подтвержденное гистологически.

ТСПТ характеризуется высокой степенью безопасности и хорошей переносимостью. Серьезные побочные эффекты не зарегистрированы, а легкие побочные явления, такие как покалывание или временная эритема на месте наложения электрода, носят преходящий характер [24].

В проводимых нейрофизиологических и клинических исследованиях ТСПТ уже подтвердила свою эффективность в лечении некоторых заболеваний (например, депрессии, тревожных расстройств и различных видов хронической боли).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящем обзоре представлены результаты клинических исследований, систематических обзоров и мета-анализов (*таблица*).

- **Таблица (начало).** Влияние транскраниальной стимуляции постоянным током на моторный, когнитивный и аффективный компоненты при болезни Паркинсона

- **Table (start).** Effect of transcranial direct current stimulation on motor, cognitive and affective domains in Parkinson's disease

Автор	Год	Тип исследования	№	Вид стимуляции	Монтаж	Длительность	Результаты
P.C.A. de Oliveira et al. [25]	2022	Систематический обзор и метаанализ	405	Анодная (1–4 мА)	M1 или DLPFC – анод; контралатеральная надглазничная зона – катод	7–30 мин от 1 до 10 стимуляций	Убедительных доказательств улучшения двигательной активности нет
X. Liu et al. [26]	2023	Метаанализ	1057	Анодная (2 мА)	Левая DLPFC – анод; правая надбровная дуга – катод	20 мин в течение 5 дней	Необходимы дополнительные исследования. Убедительных доказательств улучшения двигательной активности нет
F. Pol et al. [27]	2021	Систематический обзор	322	Анодная (1–2 мА)	M1, DLPFC, F3 или F4 – анод; контралатеральная надглазничная зона – катод	20 мин (в 1 исследовании 30 мин) от 1 до 10 стимуляций	Продолжительный положительный эффект улучшения походки, улучшение рабочей памяти, снижение субъективного напряжения при умственной нагрузке
D.M.A. Suarez-García et al. [28]	2020	Систематический обзор	168	Анодная (1–2 мА)	L-DLPFC, R-DLPFC, L-TPC, M1 или MFC (FPz) – анод; между инициом и Oz, на контралатеральную надглазничную зону или правую орбитальную лобную кору (Fr2) – катод	6–20 мин от 1 до 10 стимуляций	Улучшение когнитивных функций, высокая сила эффекта в отношении регуляторных функций. Улучшение беглости речи, когнитивной гибкости, управляющих функций
M.J. Begeemann et al. [29]	2020	Метаанализ	30	Анодная (1–2 мА)	L-DLPFC – анод; FP2 – катод	10 мин от 1 до 14 стимуляций	Положительный эффект в отношении внимания, управляющих функций, скорости обработки информации, беглости речи

● **Таблица (окончание).** Влияние транскраниальной стимуляции постоянным током на моторный, когнитивный и аффективный компоненты при болезни Паркинсона

● **Table (ending).** Effect of transcranial direct current stimulation on motor, cognitive and affective domains in Parkinson's disease

Автор	Год	Тип исследования	№	Вид стимуляции	Монтаж	Длительность	Результаты
Z. Duan, C. Zhang [30]	2024	Систематический обзор и метаанализ	263	Анодная (1–2 мА)	M1 или DLPFC – анод; контралатеральная надглазничная зона – катод	20–30 мин от 1 до 10 стимуляций	Улучшение моторных функций у более молодых пациентов с менее тяжелыми симптомами
Y. Chen et al. [31]	2025	Систематический обзор и метаанализ	442	Анодная (1–2 мА)	SMA билатерально	10–20 мин от 1 до 20 стимуляций	Положительный эффект на феномен застывания при ходьбе
X. Zhang et al. [32]	2023	Систематический обзор и метаанализ	1586	Анодная (1–2 мА)	DLPFC или M1 – анод; контралатеральная надглазничная зона – катод	13–20 мин (в 1 исследовании 30 мин) от 1 до 9 стимуляций	Улучшение походки. Необходимы дальнейшие исследования в отношении удержания равновесия
L.R. Nascimento et al. [33]	2021	Систематический обзор	117	Анодная (2 мА)	Cz – анод; надглазничная зона – катод	13–30 мин от 9 до 12 стимуляций	Дополнительная стимуляция первичной моторной коры не обеспечивала значимых преимуществ в улучшении двигательных функций по сравнению с изолированным применением физических упражнений
S. Ma et al. [34]	2025	Систематический обзор и метаанализ	874	Анодная (1–2 мА)	DLPFC – анод; контралатеральная надглазничная зона – катод	10–25 мин от 1 до 84 стимуляций	Высокая эффективность в отношении когнитивных функций с акцентом на исполнительные функции, фонематической беглости речи, а также в отношении депрессивного компонента БП. Отмечена прямая корреляция интенсивности/количества стимуляций с величиной эффекта
H. Lee et al. [35]	2024	Систематический обзор и метаанализ	284	Анодная (1–2 мА)	L-DLPFC или M1 – анод; FP2 – катод	20 мин от 1 до 12 стимуляций	Улучшение и моторного и когнитивного компонента при выполнении двойного задания
D.M. Cammisuli et al. [36]	2022	Систематический обзор	106	Анодная (1–2 мА)	DLPFC – анод; контралатеральная надглазничная зона – катод	20 мин от 2 до 10 стимуляций	Улучшение концентрации внимания и исполнительных функций. Предположение об опосредованном влиянии на моторные навыки через улучшение исполнительных функций
V.S. Beretta et al. [8]	2020	Систематический обзор	338	Анодная (1–2 мА)	DLPFC, M1, SMA, PMC – анод; контралатеральная надглазничная зона – катод	7,5–30 мин от 2 до 16 стимуляций	Тенденции к улучшению показателей исполнительных функций, памяти и внимания при одновременной стимуляции и когнитивном тренинге
C.Z. Burton et al. [37]	2022	Систематический обзор и метаанализ	609	Анодная (1–2 мА)	L-DLPFC – анод; правая супраорбитальная область, правое плечо – катод	20–30 мин от 2 до 28 стимуляций	Небольшой статистически значимый совокупный эффект сочетания ТСПТ и когнитивного тренинга на показатели внимания и рабочей памяти
T.X.D. Nguyen et al. [9]	2024	Систематический обзор и метаанализ	569	Анодная (1–2 мА)	DLPFC, M1, SMA – анод; контралатеральная надглазничная зона – катод	7–30 мин от 1 до 20 стимуляций	Значительное улучшение походки и равновесия вне зависимости от изолированной или комбинированной терапии

Примечание. N – количество участников исследования; DLPFC – dorsolateral prefrontal cortex (дорсолатеральная префронтальная кора); M1 – первичная моторная кора; SMA – supplementary motor area (дополнительная моторная область); PMC – premotor cortex (премоторная кора); Cz – центральная нулевая точка по системе 10–20 (соответствует SMA, M1); БП – болезнь Паркинсона; ТСПТ – транскраниальная стимуляция постоянным током.

ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние транскраниальной стимуляции постоянным током на моторный компонент болезни Паркинсона

Результаты исследований влияния ТСПТ на моторные функции при БП остаются неоднозначными. Метаанализы P.C.A. de Oliveira et al. [25] и X. Liu et al. [26] показали недостаточность доказательств улучшения двигательных функций под воздействием ТСПТ.

В то же время систематический обзор, составленный F. Pol et al. [27], включающий 18 исследований, целью которых было изучение влияния анодной ТСПТ на двигательные функции при БП, продемонстрировал, что стимуляция в области проекции моторной коры (M1) улучшает походку у пациентов с БП. При этом положительный эффект сохранялся от 2 нед. до 3 мес. Подчеркивалось также, что улучшение моторных функций более выражено при выборе протоколов ТСПТ с несколькими анодными электродами, чем протоколов с одним анодом. Стимуляция других участков коры – дорсолатеральной префронтальной коры (длПФК, *англ.* dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC), коры мозжечка – оказалась менее перспективна в качестве возможного метода терапии нарушений походки при БП.

Z. Duan и C. Zhang [30] в своем метаанализе выявили закономерность между тяжестью двигательных симптомов респондента и эффективностью стимуляции: ТСПТ может потенциально принести пользу более молодым пациентам с менее тяжелыми симптомами. Более того, подчеркнули важность персонализированного подхода в выборе терапии, предложив учитывать генетические полиморфизмы (например, LRRK2, PARK2, SNCA, DJ-1, COMT и ALDH2) и социально-культурные факторы у разных людей и этнических групп.

Первый систематический обзор Y. Chen et al. [31], посвященный влиянию стимуляции изолированно на дополнительную моторную область (ДМО, *англ.* supplementary motor area, SMA), демонстрирует улучшение двигательных функций по шкале UPDRS-III. Авторы указывают на недостоверную статистическую значимость роли ТСПТ (по сравнению с ТМС) в своем обзоре в связи с меньшей выборкой электрической стимуляции, однако отмечают положительную тенденцию в ее терапевтическом эффекте, особенно на феномен застывания при ходьбе (*англ.* freezing of gait, FOG).

Согласно метаанализу X. Zhang et al. [32] неинвазивная электрическая стимуляция демонстрирует положительное влияние на параметры походки у пациентов с БП, однако авторы подчеркивают недостаточность данных относительно ее эффективности в улучшении постральной устойчивости. В противоположность этим выводам метааналитическое исследование T.X.D. Nguyen et al. [9] выявило достоверное улучшение как характеристик ходьбы, так и показателей равновесия, причем эти эффекты наблюдались как при изолированном применении электрической стимуляции, так и в составе комбинированных терапевтических подходов.

В систематическом обзоре L.R. Nascimento et al. [33] проведен анализ исследований, оценивающих эффективность комбинированного подхода, сочетающего ТСПТ с физической реабилитацией у пациентов с БП 2–3-й стадии по Хен – Яру. Результаты анализа показали, что дополнительная стимуляция первичной моторной коры не обеспечивала значимых преимуществ в улучшении двигательных функций по сравнению с изолированным применением физических упражнений.

Влияние транскраниальной стимуляции постоянным током на когнитивный компонент болезни Паркинсона

Согласно результатам систематического обзора D.M.A. Suarez-García et al. [28], посвященного изучению влияния транскраниальной электрической стимуляции постоянным током на когнитивную деятельность пациентов с БП, 87,5% исследований продемонстрировали улучшение когнитивных функций, особенно высокая сила эффекта была выделена в отношении регуляторных функций.

По данным метаанализа M.J. Vegemann et al. [29], ТСПТ обладает положительным эффектом на рабочую память и внимание. Однако, согласно этой же работе, ТСПТ не повлияла на другие когнитивные компоненты (беглость речи, исполнительные функции, вербальное обучение и др.).

S. Ma et al. [34] в своем метаанализе изучали влияние ТСПТ постоянным током как на когнитивные функции в целом, так и на отдельные домены и выявили наиболее впечатляющие результаты в отношении исполнительных функций, речи и позитивное влияние на депрессивный компонент при БП. При этом авторы утверждают, что результат весомо улучшается при более интенсивной силе тока в 2 мА и большем количестве сеансов стимуляций (>10).

Согласно метаанализу H. Lee et al. [35], посвященному вопросу когнитивно-моторной интерференции при выполнении нескольких задач одновременно, ТСПТ улучшает как моторную, так и когнитивную составляющую комбинированного действия. В проанализированных исследованиях пациентам во время стимуляции предлагалось выполнять ряд заданий, включающих в себя ходьбу с составлением слов, ходьбу с обратным счетом, ходьбу с чашкой воды в руке, ходьбу во время разговора, написание символов и т. д., что у пациентов с БП может вызывать сложности в связи с нарушением автоматизма ходьбы и потребностью в затрате когнитивных ресурсов на выполнение и контроль движения. Даже однократная (в большинстве исследований) ТСПТ, по заключению авторов, улучшает качество выполнения обеих задач комплексного упражнения.

В систематическом обзоре D.M. Cammisuli et al. [36], подтвердившем благотворное воздействие стимуляции длПФК на когнитивные функции, исследователи выдвинули гипотезу о возможном позитивном влиянии данного метода и на двигательные способности пациентов с БП. Ученые предположили, что улучшение исполнительных функций может косвенно способствовать и оптимизации локомоторных навыков.

Влияние транскраниальной стимуляции постоянным током на аффективный компонент болезни Паркинсона и сон

ТСПТ демонстрирует комплексное влияние на немоторные проявления БП, включая аффективные расстройства и нарушения сна. Многие клинические наблюдения и метааналитические исследования [34, 38, 39] регистрируют уменьшение выраженности депрессивной и тревожной симптоматики под воздействием ТСПТ. Однако следует отметить, что целенаправленному изучению этого аспекта при БП посвящено относительно мало работ. Примечательно, что вторичный метаанализ F. Fregni et al. [40], охватывающий широкий спектр неврологических и психиатрических расстройств, подтвердил эффективность ТСПТ при состояниях, сопровождающихся депрессивной симптоматикой, хотя специфический анализ депрессии при БП не был включен в критерии оценки.

Особый интерес представляют данные о влиянии ТСПТ на регуляцию цикла «сон – бодрствование» у пациентов с БП. В контролируемом исследовании H. Nadoush et al. [41] был зафиксирован достоверный модулирующий эффект двусторонней анодной стимуляции (FC1, FC2, 1мА, 20 мин, 10 сеансов) на показатели мелатониновой секреции и параметры качества сна. Эти результаты согласуются с выводами систематического обзора A. Herrero Babiloni et al. [42], где отмечаются как субъективно регистрируемые улучшения сна, так и объективно подтвержденные положительные изменения у пациентов с различными формами инсомнии, включая связанные с нейродегенеративными заболеваниями. Полученные данные подчеркивают перспективность дальнейшего изучения хронобиологических эффектов ТСПТ при БП.

Транскраниальная стимуляция постоянным током в комбинации с когнитивным тренингом

На фоне когнитивных нарушений при БП возникает интерес к комбинированным немедикаментозным подходам, таким как одновременное применение ТСПТ и когнитивного тренинга. Предполагается, что ТСПТ может усиливать нейропластичность и тем самым повышать эффективность когнитивной реабилитации. Первые контролируемые исследования комбинации ТСПТ с когнитивными упражнениями у пациентов с БП показали обнадеживающие результаты. В частности, в рандомизированном плацебо-контролируемом исследовании R. Manenti et al. [43] группа больных БП, получавших активную ТСПТ во время выполнения компьютеризированных когнитивных задач, продемонстрировала улучшение некоторых когнитивных функций (например, вербальной беглости) сверх эффекта одного лишь тренинга, а также значимое снижение депрессивных симптомов. Авторы сделали вывод, что сочетание ТСПТ с когнитивным тренингом может быть полезным подходом для коррекции когнитивных и эмоциональных нарушений при БП.

В другом крупном исследовании V.J. Lawrence et al. [44] изучалось воздействие стандартного и адаптированного когнитивного тренинга в сочетании с ТСПТ

у пациентов с легкими когнитивными нарушениями при БП. Всего в работе было 6 групп (различные варианты тренинга с/без ТСПТ и контроль). Результаты показали, что по сравнению с контрольной группой во всех группах вмешательства отмечены улучшения в ряде когнитивных доменов – управляющих функциях, внимании, рабочей памяти, речи, а также в повседневной активности. Наибольшее число показателей улучшилось именно в группах, получавших комбинацию ТСПТ и когнитивного тренинга, тогда как отдельное применение только тренинга или только стимуляции давало более ограниченные эффекты. Авторы отмечают, что комбинирование этих методов обеспечило более выраженный терапевтический эффект, чем каждый из них по отдельности.

Хотя приведенные работы демонстрируют высокий потенциал метода, общие данные по БП остаются ограниченными. Систематический обзор литературы V.S. Beretta et al. [8], включивший 17 контролируемых исследований ТСПТ в сочетании с физическими или когнитивными тренировками при БП, указал на то, что комбинированные вмешательства могут давать синергический эффект в отношении когнитивных функций, наряду с улучшением моторных функций. В частности, сообщается о тенденции к улучшению показателей исполнительных функций, памяти и внимания при одновременной стимуляции и тренинге у пациентов с БП, хотя результаты разных работ противоречивы из-за малых выборок и разнородности методик.

Метаанализ C.Z. Burton et al. [37], охватывающий различные нейропсихиатрические состояния, показал лишь небольшой статистически значимый совокупный эффект сочетания ТСПТ и когнитивного тренинга на показатели внимания и рабочей памяти, в то время как по другим когнитивным доменам эффект был мал и статистически незначим. Таким образом, в контексте БП пока рано делать окончательные выводы об эффективности комбинированной терапии, необходимы дальнейшие исследования.

В силу ограниченного числа исследований при самой БП ряд работ с 2019 г. проводился на родственных моделях – у пожилых людей с нейродегенеративными или когнитивными нарушениями. Однако и в этих исследованиях результаты оказались неоднозначными. Например, в пилотном РКИ D.M. Martin et al. [45] с участием пациентов с амнестическими легкими когнитивными нарушениями добавление ТСПТ к курсу когнитивных упражнений не привело к статистически значимому превосходству в улучшении памяти по сравнению с одним лишь когнитивным тренингом. Обе группы – с активной стимуляцией и ее имитацией – через 3 мес. показали достоверное улучшение результатов тестов памяти относительно исходного уровня, причем величина эффекта была сходной, что указывает на ведущую роль самого тренинга. Авторы предполагают, что отсутствие различий могло быть частично связано с тем, что даже низкий «имитационный» ток оказывал минимальное стимулирующее действие.

Напротив, в другом исследовании [46] при легких когнитивных нарушениях, где использовался когнитивный

тренинг (протокол SMART) с ТСПТ, получены данные о небольшом дополнительном эффекте стимуляции на исполнительные функции. В группе с активной ТСПТ отмечаются достоверно значимые улучшения при выполнении теста Струпа по сравнению с группой имитации. Кроме того, функциональная нейровизуализация показала более выраженное повышение мозгового кровотока в правой длПФК под влиянием активной стимуляции.

Отдельного внимания заслуживает крупномасштабное исследование Н. Lu et al. [47], в котором принял участие 201 пожилой пациент с легким когнитивным расстройством. Участникам проводили 4-недельный курс тренинга рабочей памяти в сочетании с ТСПТ левой лобной области; сравнивались комбинированное вмешательство и монорежимы (только ТСПТ или только тренинг). Результаты продемонстрировали улучшение глобальных когнитивных показателей и памяти во всех активных группах без серьезных побочных эффектов. При этом в комбинированной группе наблюдалось более выраженное улучшение памяти (особенно отсроченного воспроизведения) и, что важно, более длительное сохранение эффекта по сравнению с группами одного вида воздействия. Способность удерживать когнитивный эффект в течение нескольких недель после завершения курса была выше при одновременном применении ТСПТ, что позволяет предположить, что стимуляция выступает своего рода «праймером», усилителем нейропластичности для когнитивного тренинга.

Будущие крупномасштабные РКИ на пациентах с БП позволят точнее определить, в каких условиях и для каких когнитивных функций комбинация ТСПТ и когнитивного тренинга наиболее эффективна.

Большинство исследований ТСПТ при БП проведено зарубежными авторами, российская научная литература по этой теме остается менее представленной. Тем не менее в России также проводятся работы, посвященные применению ТСПТ при БП, включая исследования влияния на моторные и немоторные симптомы, а также экспериментальные работы на животных моделях.

Еще в 2011 г. была опубликована работа Т.Н. Сарычевой [48] о влиянии ТСПТ на немоторные симптомы БП. В исследовании приняло участие 70 пациентов, страдающих БП. По заключению автора комплексный подход к терапии продемонстрировал эффективность в отношении таких немоторных симптомов, как утомляемость, вегетативные нарушения, тревожность, и в целом позволил улучшить качество жизни у данной категории пациентов.

В обзорной работе Е.Л. Павловой и соавт. [49] обобщены данные о применении ТСПТ при ряде неврологических и психических заболеваний, включая БП. Отмечено, что, хотя масштабных клинических испытаний при БП немного, многочисленные небольшие исследования продемонстрировали улучшения ряда симптомов. В частности, сообщается о положительном влиянии ТСПТ на когнитивные функции у пациентов с БП. Улучшения отмечались в показателях рабочей памяти и исполнительных функций. Например, в одном из цитируемых исследований применение ТСПТ над длПФК привело к улучшению

результатов тестов на управляющие функции по сравнению с плацебо у пациентов с БП. Кроме того, ТСПТ может облегчать некоторые двигательные проявления. Е.Л. Павлова и соавт. указывают на исследования, где однократная стимуляция приводила к улучшению поструральной устойчивости и мобильности у пациентов с БП, а также на работу, показавшую уменьшение феномена «замирания походки» при курсовом применении ТСПТ (перекрестное исследование). Отдельно отмечается улучшение показателей теста Timed Up and Go (TUG) и других параметров ходьбы после стимуляции. Кроме того, при легких когнитивных нарушениях на фоне БП ТСПТ, по данным некоторых работ, способна улучшать когнитивные функции. Эти результаты согласуются с данными зарубежных метаанализов, указывающих на положительное влияние ТСПТ на ходьбу и равновесие при БП [9].

Интересные результаты получены в российском экспериментальном исследовании с животными, моделирующем паркинсонизм. А.В. Ставровская и соавт. [50] показали, что ТСПТ может улучшать исходы нейротрансплантации клеток у крыс с 6-гидроксидоаминовым индуцированным паркинсонизмом. В этой работе проводили пересадку нейрональных предшественников в стриатум пораженных крыс и ежедневно стимулировали мозг постоянным током в течение 2 нед. Через 3 нед. после процедуры у животных, получавших ТСПТ, отмечалось увеличение двигательной активности и снижение тревожности по сравнению с контрольной группой без стимуляции.

Перспективы применения ТСПТ при БП в России связаны с проведением более масштабных и длительных исследований. Отдельного внимания заслуживают немоторные симптомы: когнитивные нарушения, депрессия, нарушения походки сложного типа. В Российской Федерации начаты проекты, изучающие эффективность ТСПТ в этих направлениях. Например, по сообщению Российского научного фонда, выполняется исследовательский проект по оценке влияния двухнедельных курсов НД-ТСПТ (высокоразрешающей многоканальной стимуляции) на когнитивные функции у пациентов с БП¹.

Выводы

Таким образом, ТСПТ представляет собой перспективный неинвазивный метод нейромодуляции при БП. Благодаря способности модулировать кортикальную возбудимость и способствовать нейропластичности ТСПТ может улучшать моторные и когнитивные функции у пациентов с БП. Однако для оптимизации протоколов стимуляции, понимания механизмов действия и оценки долгосрочной эффективности и безопасности метода необходимы дальнейшие исследования.



Поступила / Received 05.05.2025
Поступила после рецензирования / Revised 22.05.2025
Принята в печать / Accepted 27.05.2025

¹ Брак ИВ (рук.). Изучение эффектов транскраниальной электрической стимуляции (tDCS и tACS) на нейрокогнитивный профиль, осцилляторную активность и функциональную connectivity головного мозга пациентов с болезнью Паркинсона: проект фундаментальных и поисковых научных исследований, поддержанный Российским научным фондом, №18-75-10092. 2021. Режим доступа: <https://www.rscf.ru/project/18-75-10092/>.

Список литературы / References

- Kalia LV, Lang AE. Parkinson's disease. *Lancet*. 2015;386(9996):896–912. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61393-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61393-3).
- Pringsheim T, Jette N, Frolikis A, Steeves TDL. The prevalence of Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Mov Disord*. 2014;29(13):1583–1590. <https://doi.org/10.1002/MDS.25945>.
- de Lau LM, Breteler MM. Epidemiology of Parkinson's disease. *Lancet Neurol*. 2006;5(6):525–535. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(06\)70471-9](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(06)70471-9).
- Бриль ЕВ, Федорова НВ, Кулуа ТК, Зимнякова ОС. Лечение ранних стадий болезни Паркинсона. Различия подходов к выбору терапии в разных странах. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2024;16(3):130–135. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2024-3-130-135>.
- Bril EV, Fedorova NV, Kulua TK, Zimnyakova OS. Treatment of the early stages of Parkinson's disease. Differences in approaches to the choice of therapy in different countries. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2024;16(3):130–135. (In Russ.) <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2024-3-130-135>.
- Dorsey ER, Constantinescu R, Thompson JP, Biglan KM, Holloway RG, Kieburtz K et al. Projected number of people with Parkinson disease in the most populous nations, 2005 through 2030. *Neurology*. 2007;68(5):384–386. <https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000247740.47667.03>.
- Kowal SL, Dall TM, Chakrabarti R, Storm MV, Jain A. The current and projected economic burden of Parkinson's disease in the United States. *Mov Disord*. 2013;28(3):311–318. <https://doi.org/10.1002/MDS.25292>.
- Катунина ЕА, Залялова ЗА, Похабов ДВ, Иванова МЗ, Семенова АМ. Болезнь Паркинсона. Фокус на ранние стадии. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2023;15(3):95–103. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2023-3-95-103>.
- Katunina EA, Zalyalova ZA, Pokhabov DV, Ivanova MZ, Semenova AM. Parkinson's disease. Focus on early stages. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2023;15(3):95–103. (In Russ.) <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2023-3-95-103>.
- Beretta VS, Conceição NR, Nóbrega-Sousa P, Orcoli-Silva D, Dantas LKBF, Gobbi LTB, Vítório R. Transcranial direct current stimulation combined with physical or cognitive training in people with Parkinson's disease: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil*. 2020;17(1):74. <https://doi.org/10.1186/S12984-020-00701-6>.
- Nguyen TXD, Mai PT, Chang YJ, Hsieh TH. Effects of transcranial direct current stimulation alone and in combination with rehabilitation therapies on gait and balance among individuals with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *J Neuroeng Rehabil*. 2024;21(1):27. <https://doi.org/10.1186/S12984-024-01311-2>.
- Talar K, Vetrovsky T, van Haren M, Négyesi J, Granacher U, Váczai M et al. The effects of aerobic exercise and transcranial direct current stimulation on cognitive function in older adults with and without cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2022;81:101738. <https://doi.org/10.1016/J.ARR.2022.101738>.
- Lefaucheur JP, Aleman A, Baeken C, Benninger DH, Brunelin J, Di Lazzaro V et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014–2018). *Clin Neurophysiol*. 2020;131(2):474–528. <https://doi.org/10.1016/J.CLINPH.2019.11.002>.
- Wei YX, Tu LD, He L, Qiu YT, Su W, Zhang L et al. Research hotspots and trends of transcranial magnetic stimulation in Parkinson's disease: a bibliometric analysis. *Front Neurosci*. 2023;17:1280180. <https://doi.org/10.3389/FNINS.2023.1280180>.
- Xie YJ, Gao Q, He CQ, Bian R. Effect of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Gait and Freezing of Gait in Parkinson Disease: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2020;101(1):130–140. <https://doi.org/10.1016/J.APMR.2019.07.013>.
- Zhang W, Deng B, Xie F, Zhou H, Guo JF, Jiang H et al. Efficacy of repetitive transcranial magnetic stimulation in Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *EClinicalMedicine*. 2022;52:101589. <https://doi.org/10.1016/J.ECLINM.2022.101589>.
- Malek N. Deep Brain Stimulation in Parkinson's Disease. *Neural India*. 2019;67(4):968–978. <https://doi.org/10.4103/0028-3886.266268>.
- Woods AJ, Antal A, Bikson M, Boggio PS, Brunoni AR, Celnik P et al. A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools. *Clin Neurophysiol*. 2016;127(2):1031–1048. <https://doi.org/10.1016/J.CLINPH.2015.11.012>.
- Hess CW. Modulation of cortical-subcortical networks in Parkinson's disease by applied field effects. *Front Hum Neurosci*. 2013;7:565. <https://doi.org/10.3389/FNHUM.2013.00565>.
- Brunoni AR, Amadera J, Berbel B, Volz MS, Rizzerio BG, Fregni F. A systematic review on reporting and assessment of adverse effects associated with transcranial direct current stimulation. *Int J Neuropsychopharmacol*. 2011;14(8):1133–1145. <https://doi.org/10.1017/S1461145710001690>.
- Bikson M, Datta A, Elwassif M. Establishing safety limits for transcranial direct current stimulation. *Clin Neurophysiol*. 2009;120(6):1033–1034. <https://doi.org/10.1016/J.CLINPH.2009.03.018>.
- Klem GH, Lüders HO, Jasper HH, Elger C. The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl*. 1999;52:3–6. Available at: <https://media.journals.elsevier.com/content/files/clinph-chapter11-14082757.pdf>.
- Stagg CJ, Nitsche MA. Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *Neuroscientist*. 2011;17(1):37–53. <https://doi.org/10.1177/1073858410386614>.
- Pelletier SJ, Cicchetti F. Cellular and Molecular Mechanisms of Action of Transcranial Direct Current Stimulation: Evidence from In Vitro and In Vivo Models. *Int J Neuropsychopharmacol*. 2015;18(2):pyu047. <https://doi.org/10.1093/IJNP/PYU047>.
- Feng XJ, Huang YT, Huang YZ, Kuo CW, Peng CW, Rotenberg A et al. Early transcranial direct current stimulation treatment exerts neuroprotective effects on 6-OHDA-induced Parkinsonism in rats. *Brain Stimul*. 2020;13(3):655–663. <https://doi.org/10.1016/J.BRS.2020.02.002>.
- Antal A, Alekseeichuk I, Bikson M, Brockmüller J, Brunoni AR, Chen R et al. Low intensity transcranial electric stimulation: Safety, ethical, legal regulatory and application guidelines. *Clin Neurophysiol*. 2017;128(9):1774–1809. <https://doi.org/10.1016/J.CLINPH.2017.06.001>.
- de Oliveira PCA, de Araújo TAB, Machado DGDS, Rodrigues AC, Bikson M, Andrade SM et al. Transcranial Direct Current Stimulation on Parkinson's Disease: Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Neurol*. 2022;12:794784. <https://doi.org/10.3389/FNEUR.2021.794784>.
- Liu X, Li L, Liu Y. Comparative motor effectiveness of non-invasive brain stimulation techniques in patients with Parkinson's disease: A network meta-analysis. *Medicine*. 2023;102(39):e34960. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000034960>.
- Pol F, Salehinejad MA, Baharlouei H, Nitsche MA. The effects of transcranial direct current stimulation on gait in patients with Parkinson's disease: a systematic review. *Transl Neurodegener*. 2021;10(1):22. <https://doi.org/10.1186/S40035-021-00245-2>.
- Suarez-García DMA, Grisales-Cárdenas JS, Zimerman M, Cardona JF. Transcranial Direct Current Stimulation to Enhance Cognitive Impairment in Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Neurol*. 2020;11:597955. <https://doi.org/10.3389/FNEUR.2020.597955>.
- Begemann MJ, Brand BA, Čurčić-Blake B, Aleman A, Sommer IE. Efficacy of non-invasive brain stimulation on cognitive functioning in brain disorders: a meta-analysis. *Psychol Med*. 2020;50(15):2465–2486. <https://doi.org/10.1017/S0033291720003670>.
- Duan Z, Zhang C. Transcranial direct current stimulation for Parkinson's disease: systematic review and meta-analysis of motor and cognitive effects. *NPJ Parkinsons Dis*. 2024;10(1):214. <https://doi.org/10.1038/s41531-024-00821-z>.
- Chen Y, Jiang H, Wei Y, Ye S, Jiang J, Mak MKY et al. Effects of non-invasive brain stimulation over the supplementary motor area on motor function in Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis. *Brain Stimul*. 2025;18(1):1–14. <https://doi.org/10.1016/J.BRS.2024.12.005>.
- Zhang X, Jing F, Liu Y, Tang J, Hua X, Zhu J et al. Effects of non-invasive brain stimulation on walking and balance ability in Parkinson's patients: A systematic review and meta-analysis. *Front Aging Neurosci*. 2023;14:1065126. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.1065126>.
- Nascimento LR, do Carmo WA, de Oliveira GP, Arêas FZDS, Dias FMV. Transcranial direct current stimulation provides no clinically important benefits over walking training for improving walking in Parkinson's disease: a systematic review. *J Physiother*. 2021;67(3):190–196. <https://doi.org/10.1016/J.JPHYS.2021.06.003>.
- Ma S, Zhuang W, Wang X, Zhang D, Wang H, Han Q et al. Efficacy of transcranial direct current stimulation on cognitive function in patients with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Front Aging Neurosci*. 2025;17:1495492. <https://doi.org/10.3389/FNAGI.2025.1495492>.
- Lee H, Choi BJ, Kang N. Non-invasive brain stimulation enhances motor and cognitive performances during dual tasks in patients with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *J Neuroeng Rehabil*. 2024;21(1):205. <https://doi.org/10.1186/S12984-024-01505-8>.
- Cammisuli DM, Cignoni F, Ceravolo R, Bonucelli U, Castelnuovo G. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) as a Useful Rehabilitation Strategy to Improve Cognition in Patients With Alzheimer's Disease and Parkinson's Disease: An Updated Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Front Neurol*. 2022;12:798191. <https://doi.org/10.3389/FNEUR.2021.798191>.
- Burton CZ, Garnett EO, Capellari E, Chang SE, Tso IF, Hampstead BM, Taylor SF. Combined Cognitive Training and Transcranial Direct Current Stimulation in Neuropsychiatric Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging*. 2022;8(2):151–161. <https://doi.org/10.1016/J.BPSC.2022.09.014>.
- Kwon DY, Yoon HK. Improvement of Depression and Daily Activity After Transcranial Direct Current Stimulation in Patients with Parkinson's Disease. *Brain Stimul*. 2025;18(1):377. <https://doi.org/10.1016/J.BRS.2024.12.487>.
- Chmiel J, Rybakowski F, Leszek J. Effect of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Depression in Parkinson's Disease—A Narrative Review. *J Clin Med*. 2024;13(3):699. <https://doi.org/10.3390/JCM13030699>.
- Fregni F, El-Hagrassy MM, Pacheco-Barrios C, Carvalho S, Leite J, Simis M et al. Evidence-Based Guidelines and Secondary Meta-Analysis for the Use

- of Transcranial Direct Current Stimulation in Neurological and Psychiatric Disorders. *Int J Neuropsychopharmacol.* 2020;24(4):256–313. <https://doi.org/10.1093/ijnp/pyaa051>.
41. Hadoush H, Alqudah A, Banihani SA, Al-Jarrah M, Amro A, Aldajah S. Melatonin serum level, sleep functions, and depression level after bilateral anodal transcranial direct current stimulation in patients with Parkinson's disease: a feasibility study. *Sleep Sci.* 2021;14(Spec. 1):25. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20200083>.
 42. Herrero Babiloni A, Bellemare A, Beetz G, Vinet SA, Martel MO, Lavigne GJ, De Beaumont L. The effects of non-invasive brain stimulation on sleep disturbances among different neurological and neuropsychiatric conditions: A systematic review. *Sleep Med Rev.* 2021;55:101381. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2020.101381>.
 43. Manenti R, Cotelli MS, Cobelli C, Gobbi E, Brambilla M, Rusich D et al. Transcranial direct current stimulation combined with cognitive training for the treatment of Parkinson Disease: A randomized, placebo-controlled study. *Brain Stimul.* 2018;11(6):1251–1262. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.07.046>.
 44. Lawrence BJ, Gasson N, Johnson AR, Booth L, Loftus AM. Cognitive Training and Transcranial Direct Current Stimulation for Mild Cognitive Impairment in Parkinson's Disease: A Randomized Controlled Trial. *Parkinsons Dis.* 2018;2018:4318475. <https://doi.org/10.1155/2018/4318475>.
 45. Martin DM, Mohan A, Alonzo A, Gates N, Gbadeyan O, Meinzer M et al. A Pilot Double-Blind Randomized Controlled Trial of Cognitive Training Combined with Transcranial Direct Current Stimulation for Amnesic Mild Cognitive Impairment. *J Alzheimers Dis.* 2019;71(2):503–512. <https://doi.org/10.3233/JAD-190306>.
 46. Das N, Spence JS, Aslan S, Vanneste S, Mudar R, Rackley A et al. Cognitive Training and Transcranial Direct Current Stimulation in Mild Cognitive Impairment: A Randomized Pilot Trial. *Front Neurosci.* 2019;13:307. <https://doi.org/10.3389/FNINS.2019.00307>.
 47. Lu H, Chan SSM, Chan WC, Lin C, Cheng CPW, Linda Chiu Wa L. Randomized controlled trial of TDCS on cognition in 201 seniors with mild neurocognitive disorder. *Ann Clin Transl Neurol.* 2019;6(10):1938–1948. <https://doi.org/10.1002/ACN3.50823>.
 48. Сарычева ТН. Применение транскраниальной электрической стимуляции головного мозга для коррекции немоторных проявлений болезни Паркинсона. *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета.* 2011;(3):36–38. Режим доступа: <https://elibrary.ru/oezwat>. Sarycheva TN. Administration of transcranial electrical stimulation for non-motor symptoms of Parkinson's disease. *Journal of Volgograd State Medical University.* 2011;(3):36–38. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/oezwat>.
 49. Павлова ЕЛ, Меньшикова АА, Акжигитов РГ, Гехт АБ. 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/JNEURO2020120121123>. Pavlova EL, Menshikova AA, Akzhigitov RG, Guekht AB. Transcranial direct current stimulation in neurology and psychiatry. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova.* 2020;120(12):123–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/JNEURO2020120121123>.
 50. Ставровская АВ, Воронков ДН, Потапов ИА, Титов ДС, Ольшанский АС, Павлова АК и др. Опыт применения транскраниальной электростимуляции постоянным током с целью улучшения исходов нейротрансплантации у крыс с паркинсонизмом, индуцированным 6-гидроксидофамином. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2024;18(4):44–54. <https://doi.org/10.17816/ACEN.1199>. Stavrovskaya AV, Voronkov DN, Potapov IA, Titov DS, Olshansky AS, Pavlova AK et al. Transcranial Direct Current Stimulation for Improvement of Neurotransplantation Outcomes in Rats with 6-Hydroxydopamine-Induced Parkinsonism. *Annals of Clinical and Experimental Neurology.* 2024;18(4):44–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/ACEN.1199>.

Вклад авторов:

Концепция статьи – С.П. Бордовский, Р.Т. Муртазина
 Концепция и дизайн исследования – С.П. Бордовский, Р.Т. Муртазина, С.С. Андреев
 Написание текста – С.П. Бордовский, Р.Т. Муртазина
 Сбор и обработка материала – С.С. Андреев, С.С. Муравьева
 Обзор литературы – В.Д. Котенко, Т.О. Меинова, Ю.И. Горлова, А.Д. Таранова
 Анализ материала – С.П. Бордовский, Р.Т. Муртазина
 Статистическая обработка – К.В. Шевцова
 Редактирование – В.Д. Котенко, О.О. Зинченко
 Утверждение окончательного варианта статьи – С.П. Бордовский, Р.Т. Муртазина, К.В. Шевцова

Contribution of authors:

Concept of the article – Sergey P. Bordovsky, Renata T. Murtazina
 Study concept and design – Sergey P. Bordovsky, Renata T. Murtazina, Sergey S. Andreev
 Text development – Sergey P. Bordovsky, Renata T. Murtazina
 Collection and processing of material – Sergey S. Andreev, Svetlana S. Muraveva
 Literature review – Valentina D. Kotenko, Taisiya O. Meinova, Iuliia I. Gorlova, Anna D. Taranova
 Material analysis – Sergey P. Bordovsky, Renata T. Murtazina
 Statistical processing – Kseniya V. Shevtsova
 Editing – Valentina D. Kotenko, Oksana O. Zinchenko
 Approval of the final version of the article – Sergey P. Bordovsky, Renata T. Murtazina, Kseniya V. Shevtsova

Информация об авторах:

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

Муртазина Рената Тимуровна, стажер-исследователь кафедры нервных болезней и нейрохирургии Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, ординатор Клиники нервных болезней имени А.Я. Кожевникова, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0005-4971-9651>; renatamurtazina@mail.ru

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

Меинова Таисия Олеговна, студент Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0006-7816-2300>; meinovataya@gmail.com

Горлова Юлия Игоревна, студент Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0008-3657-0001>; yulya.gorlova.05@inbox.ru

Таранова Анна Дмитриевна, студент Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0005-1951-2625>; anna.taranova0411@gmail.com

Котенко Валентина Дмитриевна, ординатор Клиники нервных болезней имени А.Я. Кожевникова, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0008-7381-9814>; kotenko.tina1@inbox.ru

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

Муравьева Светлана Сергеевна, студент Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0001-2014-2458>; mursvet01@bk.ru

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

Information about the authors:

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

Renata T. Murtazina, Research Intern of the Department of Neurology and Neurosurgery, Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Resident of the Kozhevnikov Clinic of Nervous Diseases, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0005-4971-9651>; renatamurtazina@mail.ru

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

Taisiya O. Meinova, Student, Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0006-7816-2300>; meinovataya@gmail.com

Luliia I. Gorlova, Student, Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0008-3657-0001>; yulya.gorlova.05@inbox.ru

Anna D. Taranova, Student, Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0005-1951-2625>; anna.taranova0411@gmail.com

Valentina D. Kotenko, Resident of the Kozhevnikov Clinic of Nervous Diseases, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0008-7381-9814>; kotenko.tina1@inbox.ru

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

Svetlana S. Muraveva, Student, Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0001-2014-2458>; mursvet01@bk.ru

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