

# Транскраниальная стимуляция постоянным током при болезни Паркинсона

С.П. Бордовский<sup>✉1</sup>, С.С. Андреев<sup>2</sup>, Р.Т. Муртазина<sup>1</sup>, Т.О. Меинова<sup>1</sup>, А.Д. Таранова<sup>1</sup>, Ю.И. Горлова<sup>1</sup>, В.Д. Котенко<sup>1</sup>, О.О. Зинченко<sup>2</sup>, К.В. Шевцова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет) Минздрава России, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Российская Федерация

## Аннотация

**Актуальность.** Транскраниальная стимуляция постоянным током (ТСПТ) обсуждается как перспективный неинвазивный метод нейромодуляции для коррекции симптомов болезни Паркинсона (БП). Мало данных об эффективности ТСПТ при БП в нашей стране.

**Цель.** Оценить влияние курса неинвазивной анодной ТСПТ на моторные симптомы, когнитивные функции и эмоциональное состояние пациентов с БП.

**Материалы и методы.** В исследование включены 29 пациентов с БП I–III стадии (по Хен и Яру) в возрасте 45–80 лет. Всем проведен курс анодной ТСПТ дорсолатеральной префронтальной коры (2 мА, 20 мин, ежедневно 5 раз в неделю в течение 2 нед, всего 10 сеансов). До и после курса оценивали моторные функции (UPDRS-III – Unified Parkinson's Disease Rating Scale), когнитивный статус (MoCA – Montreal Cognitive Assessment, FAB – Frontal Assessment Battery, Trail Making Test A/B – TMT-A, TMT-B) и эмоционально-аффективные показатели (шкала апатии, шкалы тревожности Спилбергера – личностная и ситуативная, шкала депрессии GDS – Geriatric Depression Scale).

**Результаты.** После курса ТСПТ отмечено статистически значимое улучшение когнитивных показателей (увеличение баллов MoCA, сокращение времени выполнения TMT-A и TMT-B), снижение двигательного дефицита (снижение баллов UPDRS-III), уменьшение выраженности апатии и личностной тревожности ( $p < 0,05$ ). Не найдено достоверных изменений по шкале FAB, ситуативной тревожности и шкале депрессии GDS. Не отмечено нежелательных явлений при проведении ТСПТ при БП.

**Заключение.** Курс ТСПТ безопасен и способен улучшать когнитивные функции, аффективные (апатия, тревожность) и моторные симптомы у пациентов с БП. Необходимы дальнейшие рандомизированные контролируемые исследования (с имитацией метода) для подтверждения эффективности ТСПТ при БП и уточнения оптимальных параметров стимуляции.

**Ключевые слова:** болезнь Паркинсона, транскраниальная стимуляция постоянным током, когнитивные нарушения, депрессия, апатия, тревожность, моторные нарушения

**Для цитирования:** Бордовский С.П., Андреев С.С., Муртазина Р.Т., Меинова Т.О., Таранова А.Д., Горлова Ю.И., Котенко В.Д., Зинченко О.О., Шевцова К.В. Транскраниальная стимуляция постоянным током при болезни Паркинсона. *Consilium Medicum*. 2025;27(11):659–664. DOI: 10.26442/20751753.2025.11.203455

## ORIGINAL ARTICLE

# Transcranial direct current stimulation in Parkinson's disease management

Sergey P. Bordovsky<sup>✉1</sup>, Sergey S. Andreev<sup>2</sup>, Renata T. Murtazina<sup>1</sup>, Taisiya O. Meinova<sup>1</sup>, Anna D. Taranova<sup>1</sup>, Luliia I. Gorlova<sup>1</sup>, Valentina D. Kotenko<sup>1</sup>, Oksana O. Zinchenko<sup>2</sup>, Kseniya V. Shevtsova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation

## Abstract

**Background.** Transcranial direct current stimulation (tDCS) is discussed as a promising noninvasive neuromodulation method for alleviating symptoms of Parkinson's disease (PD). However, evidence on the efficacy of tDCS in PD remains limited in our country.

**Aim.** To evaluate the effect of a course of noninvasive anodal tDCS on the motor symptoms, cognitive function, and emotional state of patients with PD.

**Materials and methods.** Twenty-nine patients with PD (Hoehn and Yahr stages I–III), aged 45–80 years, received anodal tDCS over the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) at 2 mA for 20 minutes, once daily, 5 days per week for 2 weeks (10 sessions total). Pre- and post-treatment assessments included motor function (Unified Parkinson's Disease Rating Scale, Part III [UPDRS-III]), cognition (Montreal Cognitive Assessment [MoCA], Frontal Assessment Battery [FAB], Trail Making Test Parts A and B [TMT-A/B]), and affective measures (Apathy Scale; State-Trait Anxiety Inventory-trait and state; Geriatric Depression Scale [GDS]).

**Results.** After the tDCS course, there was a statistically significant improvement in cognitive measures (higher MoCA scores and shorter TMT-A/B completion times), a reduction in motor deficit (lower UPDRS-III scores), and a decrease in apathy and trait anxiety ( $p < 0,05$ ). No significant changes were observed on the FAB, state anxiety, or GDS. No adverse events were reported during tDCS in PD.

**Conclusion.** A course of tDCS appears safe and may improve cognitive, affective (apathy, anxiety), and motor symptoms in PD. Randomized, sham-controlled trials are warranted to confirm efficacy and to determine optimal stimulation parameters.

**Keywords:** Parkinson's disease, transcranial direct current stimulation, cognitive dysfunction, depression, apathy, anxiety, motor symptoms

**For citation:** Bordovsky SP, Andreev SS, Murtazina RT, Meinova TO, Taranova AD, Gorlova IuI, Kotenko VD, Zinchenko OO, Shevtsova KV. Transcranial direct current stimulation in Parkinson's disease management. *Consilium Medicum*. 2025;27(11): 659–664. DOI: 10.26442/20751753.2025.11.203455

## Введение

Болезнь Паркинсона (БП) – второе по распространенности дегенеративное заболевание нервной системы после болезни Альцгеймера и наиболее быстро растущее по числу случаев среди неврологических расстройств в мире. В среднем в популяции распространенность БП составляет от 120 до 180 случаев на 100 тыс. человек и достигает ~1% среди лиц старше 60 лет [1]. По данным глобальных эпидемиологических исследований, в 2019 г. численность пациентов с БП превысила 8,5 млн (на 39% больше, чем в 2016 г.), а к 2021 г. достигла ~11,8 млн [2]. Рост обусловлен старением населения и другими факторами, и по прогнозам к 2050 г. число пациентов с БП во всем мире превысит 25 млн [3]. Эта тенденция превращает БП в серьезный вызов для системы здравоохранения во всем мире. В России по оценкам насчитывается порядка 210–220 тыс. пациентов с БП [4]. Клиническая картина БП характеризуется прогрессирующим ухудшением двигательных функций и широким спектром немоторных нарушений – когнитивным снижением вплоть до деменции, психическими расстройствами (депрессия, тревога, галлюцинации), нарушениями сна, болевым синдромом, расстройствами автономной нервной системы и др. Эти проявления существенно снижают качество жизни пациентов и представляют сложность для терапии. По данным исследований, когнитивные нарушения – одни из самых распространенных немоторных осложнений БП: их испытывают до 1/2 пациентов уже через ~6 лет от начала заболевания, и со временем у значительной части развивается деменция [5]. Таким образом, помимо двигательной инвалидизации, БП сопряжена с нарастающим нейropsychиатрическим бременем для пациентов, их семей и системы здравоохранения.

Современное лечение БП носит в основном симптоматический характер и не останавливает прогрессирование нейродегенерации. Препараты леводопы и другие дофаминергические средства уменьшают моторные симптомы, однако их длительный прием приводит к снижению эффективности, моторным флуктуациям и дискинезиям [6]. Хирургические нейростимуляционные методики, в частности глубокая стимуляция мозга (англ. *deep brain stimulation* – DBS), способны значительно облегчить двигательные проявления БП на поздних стадиях, но связаны с инвазивным вмешательством, рисками хирургических осложнений и высокими затратами. В последние годы ведется активный поиск нейромодуляторных решений, в том числе методов неинвазивной стимуляции мозга [7]. К ним относятся транскраниальная магнитная стимуляция и фокусированный ультразвук, а также транскраниальная стимуляция постоянным током (ТСПТ) – метод воздействия слабыми электрическими токами через волосяную поверхность кожи головы без хирургического вмешательства.

Неинвазивная ТСПТ представляет собой подачу непрерывного низкоинтенсивного тока (обычно 1–2 мА) между 2 электродами, размещенными на коже головы, что приводит к модуляции возбудимости подлежащих корковых нейронов и нейронных сетей [5]. ТСПТ считается безопасной и хорошо переносимой процедурой, способной вызывать нейропластические изменения в мозге. В отличие от транскраниальной магнитной стимуляции, установка для ТСПТ компактная и переносная, что делает метод технически простым и пригодным для повторных сеансов или домашнего применения под наблюдением врача [8]. Ряд клинических работ 2020-х гг. продемонстрировали обнадеживающие результаты применения ТСПТ у пациентов с БП. В частности, показано, что курс повторной ТСПТ способен улучшать походку, равновесие и двойные моторно-когнитивные задачи у людей, живущих с БП, снижать выраженность феномена замирания походки и повышать устойчивость [9]. Отмечено улучшение поструральных рефлексов и

автоматизма движений после многократной стимуляции моторной коры, причем эффект частично сохраняется через месяц после курса стимуляций [10]. Кроме того, ТСПТ может благоприятно влиять на тремор, ригидность и брадикинезию за счет нормализации патологических ритмов в таламокортикальных цепях мозга [11]. Помимо двигательных эффектов, ТСПТ демонстрирует потенциал в коррекции немоторных проявлений БП: улучшении когнитивных функций (в частности, управляющих и языковых навыков) и облегчении симптомов депрессии [5]. Мало данных об эффективности ТСПТ при БП в нашей стране.

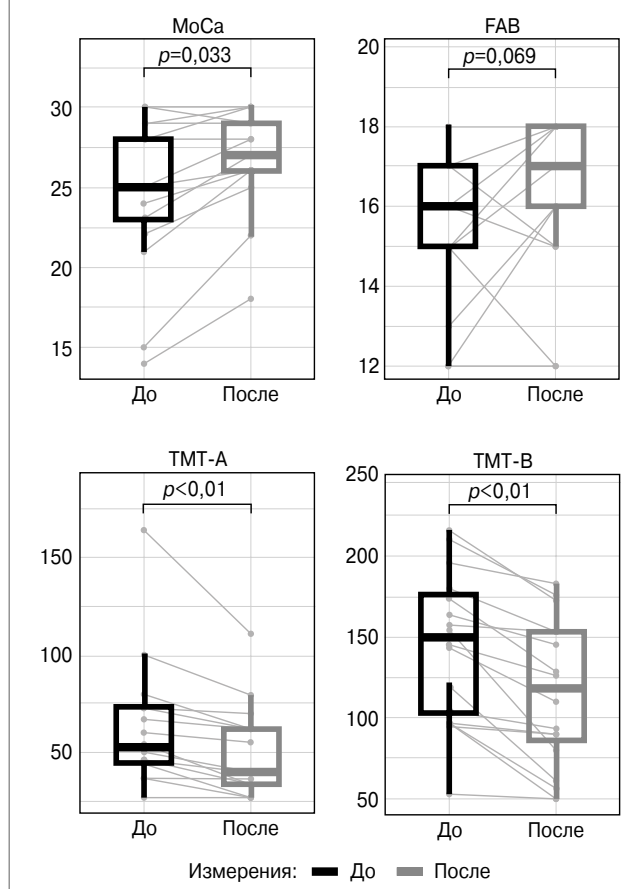
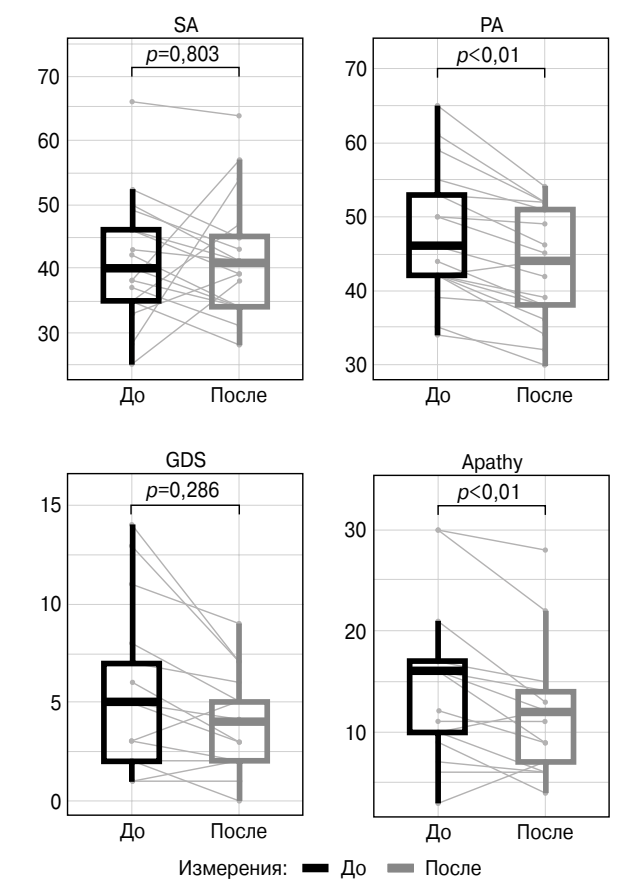
**Цель исследования** – оценить клинический эффект курса неинвазивной ТСПТ на состоянии пациентов с БП, включая моторные симптомы, когнитивные функции и эмоционально-мотивационную сферу.

## Материалы и методы

Проведено одноцентровое проспективное клиническое исследование на базе Университетской клинической больницы №3 ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет). Исследование одобрено этическим комитетом ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет) от 18.05.2023, выписка из протокола №09-23. В него включены 29 пациентов (9 мужчин и 20 женщин) с БП, установленной в соответствии с критериями UK Parkinson's Disease Society Brain Bank. Средний возраст пациентов составил  $62,4 \pm 7,1$  года, средняя длительность заболевания –  $5,8 \pm 2,2$  года; стадии БП I–III по шкале Хена и Яра (медиана – II). Критерии включения: возраст 45–80 лет, наличие легких или умеренных моторных нарушений (I–III стадия), сохраненный когнитивный статус или умеренное когнитивное снижение ( $MoCa \geq 24$ ), стабильная медикаментозная противопаркинсоническая терапия не менее 4–6 нед. Критерии невключения: вторичный паркинсонизм, выраженная деменция или другие тяжелые неврологические заболевания, некомпенсированные соматические болезни, выраженные психические расстройства (тяжелая депрессия, психоз), эпилепсия с частыми приступами, наличие имплантированных устройств нейростимуляции головного мозга или кардиостимулятора, металлических имплантов в черепно-мозговой области, отказ пациента от участия. Все участники подписали информированное согласие.

**Протокол стимуляции.** Каждому пациенту проводили курс анодной ТСПТ с использованием *tes4me* (персональной мобильной системы для транскраниальной электро-стимуляции *tes4me* [ООО «Медицинские компьютерные системы», Зеленоград, Россия (Medical Computer Systems, [www.mks.ru](http://www.mks.ru))], поддерживающей режим постоянного тока. Стимуляция осуществлялась по следующей схеме: анодный электрод размещали над левой или правой дорсолатеральной префронтальной корой (длПФК) [область С3 или С4 по международной системе «10–20» в зависимости от стороны дебюта заболевания], катодный – в правой или левой лобно-орбитальной области (Fp2 или Fp3) контралатерально активному электроду. Сила тока составляла 2 мА, длительность каждого сеанса – 20 мин. Процедуры проводились ежедневно (5 раз в неделю в 1-й половине дня) на протяжении 2 нед, суммарно 10 сеансов на пациента. Во время стимуляции пациенты находились в положении сидя, в бодрствующем расслабленном состоянии. При проведении сеансов ТСПТ использовались электроды диаметром 22 мм (площадь ~380 мм<sup>2</sup>, Ag/AgCl), смоченные физиологическим раствором, и соблюдались меры безопасности (мониторинг самочувствия, контроль за отсутствием раздражения кожи под электродами). Побочных эффектов или нежелательных явлений в ходе курса не отмечено.

**Оценка исходов.** Все участники прошли комплексное клиничко-неврологическое обследование до начала курса

**Рис. 1. Изменение когнитивных функций на фоне ТСПТ у пациентов с БП.****Fig. 1. Changes in cognitive functions during transcranial direct current stimulation (tDCS) in patients with Parkinson's disease (PD).****Рис. 2. Изменение аффективного домена на фоне ТСПТ у пациентов с БП.****Fig. 2. Changes in the affective domain tDCS in patients with PD.**

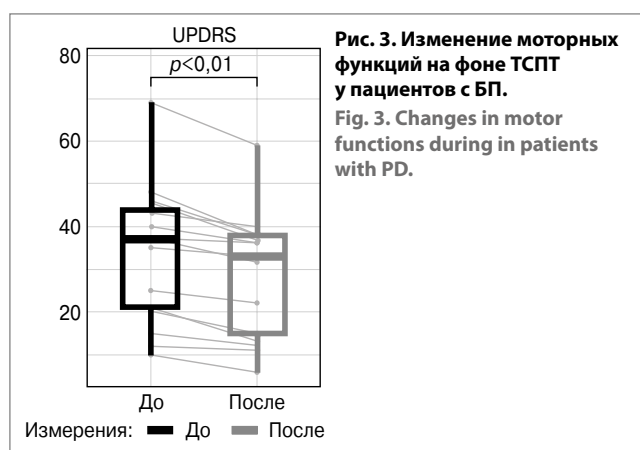
стимуляции (на этапе включения) и повторно после завершения последнего сеанса ТСПТ. Двигательные симптомы оценивали по унифицированной шкале оценки БП [англ. Unified Parkinson's disease rating scale – UPDRS (раздел III, моторные функции)]. Когнитивный статус исследовали с помощью Монреальской шкалы когнитивной оценки (англ. Montreal Cognitive Assessment – MoCA) и фронтальной дисфункции по батарее (англ. Frontal Assessment Battery – FAB). Для углубленной нейропсихологической характеристики исполнительных функций и внимания применяли тесты прохождения пути частей А и В (англ. Trail making test – TMT-A, TMT-B). Эмоциональное состояние пациентов оценивали по шкале тревоги Спилбергера (англ.: State-Trait Anxiety Inventory – STAI: situational anxiety – SA, personal anxiety – PA), гериатрической шкале депрессии (англ. Geriatric depressive scale – GDS) и шкале активности повседневной жизни (англ. Activity of daily living – ADL), а выраженность апатии – по шкале апатии [12]. Все тестирования проводились в утренние часы. Статистический анализ данных проводили в среде R. Для каждого пациента рассчитывали разницу между показателями после и до вмешательства и проверяли распределение этих изменений на нормальность (например, с помощью критерия Шапиро–Уилка). При распределении, близком к нормальному, использовали парный критерий Юена–Уэлча – модификацию *t*-критерия, устойчивую к выбросам и нарушению равенства дисперсий. Если распределение изменений существенно отличалось от нормального, применяли перестановочный вариант этого теста, не требующий предположений о распределении. Критический уровень значимости принят равным  $\alpha=0,05$  (результаты считались статистически значимыми при  $p<0,05$ ). Дополнительно для каждого показателя рассчитывали величину

эффекта (робастное стандартизованное среднее изменение, аналог Cohen's *d*), который интерпретировали как малый при значении  $<0,3$ , средний при  $0,3–0,5$  и большой при  $>0,5$ .

## Результаты

**Когнитивные функции.** Отмечено улучшение по MoCA: медиана увеличилась с 25 баллов [23; 28] до 27 [26; 29], среднее – с  $24,71\pm 4,67$  до  $26,59\pm 3,04$  ( $p=0,033$ ). FAB: медиана с 16 [15; 17] до лечения до 17 [16; 18] после, среднее с  $15,71\pm 1,90$  до  $16,53\pm 2,00$  ( $p=0,069$ ). Тесты прокладывания пути продемонстрировали сокращение времени выполнения. В части TMT-A медиана времени уменьшилась с 52,5 с [44,8; 73,3] до 40 с [33,5; 62,3], среднее – с  $63,0\pm 32,98$  до  $50,38\pm 23,53$  с ( $p<0,01$ ). В TMT-B медиана снизилась со 149,5 с [102,3; 176,3] до 118 с [86; 153], среднее – со  $143,94\pm 46,6$  до  $116,38\pm 44,41$  с ( $p<0,01$ ). Изменения показателей когнитивного домена отображены на рис. 1.

**Аффективные симптомы.** По шкале GDS суммарный балл снизился: медиана с 5 [2; 7] до 4 [2; 5], среднее значение с  $5,35\pm 4,06$  до  $4,00\pm 2,42$ , однако разница оказалась статистически незначимой ( $p=0,286$ ), в отличие от шкалы апатии, где уменьшение достоверно: медиана с 16 [10; 17] до 12 [7; 14], среднее с  $14,59\pm 7,50$  до  $11,88\pm 6,09$  ( $p<0,01$ ). По шкалам тревожности Спилбергера отмечена разница между личностной и ситуативной тревожностью. Личностная тревожность (PA) до лечения: медиана 46 [42; 53], среднее  $47,76\pm 9,00$  балла; после – 44 [38; 51] и  $43,18\pm 7,76$  соответственно ( $p<0,01$ ). Изменения в ситуативной тревожности (SA): до – медиана 40 [35; 46], среднее  $41,35\pm 9,81$ ; после – 41 [34; 45] и  $41,76\pm 9,46$  балла – недостоверны ( $p=0,803$ ). Визуальная интерпретация результатов представлена на рис. 2.



**Рис. 3. Изменение моторных функций на фоне ТСПТ у пациентов с БП.**

**Fig. 3. Changes in motor functions during in patients with PD.**

**Двигательные нарушения.** По шкале UPDRS суммарный балл двигательного дефицита снизился с медианы 37 [21; 44] до 33 [15; 38], а среднее значение – с  $34,47 \pm 15,46$  до  $29,41 \pm 14,00$  ( $p < 0,01$ ), что достоверно отражает уменьшение выраженности моторных симптомов БП (рис. 3).

Таким образом, после курса ТСПТ отмечено статистически значимое улучшение ( $p < 0,05$ ) в следующих компонентах: MoCA, TMT-A, TMT-B, UPDRS, апатии, личностной тревожности, в то время как изменения результатов FAB, ситуативной тревожности и GDS недостоверны.

## Обсуждение

Результаты свидетельствуют о позитивном влиянии ТСПТ на широкий спектр нарушений при БП – когнитивных, аффективных и моторных. После курса стимуляции мы наблюдали улучшение исполнительных функций и общей когнитивной продуктивности (рост баллов MoCA, снижение времени TMT), снижение выраженности депрессивных и апатичных симптомов, а также уменьшение двигательного дефицита (снижение UPDRS). Эти данные согласуются с результатами крупного метаанализа 2025 г., согласно которому отмечены улучшение когнитивных показателей (преимущественно в области речи и исполнительных функций) и уменьшение сопутствующей депрессии у пациентов с БП под воздействием ТСПТ [5]. С другой стороны, некоторые метаанализы (2020 и 2024 гг.) не подтвердили достоверность положительного влияния ТСПТ на когнитивные функции при БП [13, 14].

В нашем исследовании снижение депрессии по GDS не достигло статистической значимости, тенденция к улучшению согласуется с данными об антидепрессивном действии ТСПТ [5]. Недавний обзор выявил, что анодная стимуляция левой длПФК приводила к снижению депрессивных проявлений у пациентов с БП [15]. Метаанализ 2024 г. показал, что ТСПТ над длПФК обладает умеренной эффективностью в облегчении депрессивной симптоматики и потенциально снижает уровень тревожности при различных заболеваниях [16]. В нашем исследовании выраженность апатии достоверно уменьшилась, что особенно важно, учитывая высокую частоту апатии при БП и ограниченность специфической фармакотерапии. Прямых исследований влияния ТСПТ на апатию при БП в настоящий момент недостаточно, однако опосредованно улучшение апатии может быть связано с активацией лобных областей и уменьшением признаков депрессии. Похожие эффекты ранее наблюдались при использовании ритмической транскраниальной магнитной стимуляции, нацеленной на моторную и префронтальную кору: по данным обзоров, неинвазивная стимуляция этих зон способна уменьшать проявления апатии у пациентов с БП [17]. Существенное снижение показателя личностной тревожности в нашей выборке согласуется с тем, что антидепрессивное действие ТСПТ часто сопровождается анксиолитическим эффек-

том [16]. Отсутствие же значимой динамики ситуативной тревожности можно объяснить разной чувствительностью компонентов тревоги к нейромодуляции: фоновые, личностно обусловленные тревожные черты более эффективно поддаются коррекции через длительное усиление активности лобных областей, тогда как ситуативная тревога вариабельна и может требовать иных подходов.

Моторные улучшения под влиянием ТСПТ – предмет дискуссий. В нашем исследовании суммарный балл за двигательные функции по шкале UPDRS достоверно уменьшился, что свидетельствует об облегчении симптомов паркинсонизма. Ряд ранее опубликованных метаанализов фиксировал противоречивые результаты: одни указывали на значимое улучшение двигательного дефицита по UPDRS [18], тогда как другие не находили различий между активной и фиктивной стимуляцией. Последний крупный обзор (12 РКИ, 263 пациента) не выявил статистически значимого эффекта ТСПТ на моторные функции в целом. Тем не менее авторы отметили существенную гетерогенность результатов и получили данные, что молодые пациенты с менее выраженными симптомами лучше отвечают на ТСПТ [14]. Наши испытуемые относились в основном к умеренной стадии БП, и полученный у них эффект может отражать названную выше вариабельность. В литературе подчеркивается, что подбор оптимальных параметров (расположение электродов, сила тока, число сессий) критичен для достижения моторного эффекта [19]. Например, комбинация анодной стимуляции моторной коры с одновременной физической реабилитацией дает более выраженное улучшение походки и равновесия [20]. В нашей работе ТСПТ применялась как самостоятельное вмешательство. Возможно, совмещение ее с тренировками движений усилило бы эффект.

Настоящее исследование имело ряд ограничений: относительно небольшой объем выборки, отсутствие группы плацебо (фиктивная стимуляция) в дизайне исследования, поэтому нельзя исключить влияние эффекта плацебо или других неспецифических факторов на результаты. Кроме того, оценка проводилась сразу после курса ТСПТ, и неизвестно, насколько устойчивыми будут улучшения в более отдаленные сроки.

## Заключение

Перспективы применения ТСПТ при БП представляются обнадеживающими. Это безопасный неинвазивный метод нейромодуляции, который в будущем может рассматриваться как компонент комплексной терапии БП для поддержания когнитивных функций, коррекции депрессивно-апатических нарушений и облегчения двигательных симптомов. Особенно важно отметить потенциальный благоприятный эффект сочетания ТСПТ с программами реабилитации – физической и когнитивной – с целью потенцирования эффектов [20]. Необходимы более масштабные рандомизированные контролируемые исследования (с имитацией метода) для оценки эффективности ТСПТ при БП и уточнения оптимальных параметров стимуляции.

**Раскрытие конфликта интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Disclosure of interest.** The authors declare that they have no competing interests.

**Раскрытие вклада авторов.** Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Концептуализация – С.П. Бордовский, С.С. Андреев, В.Д. Котенко; курация данных – С.С. Андреев, Р.Т. Муртазина, Т.О. Меинова; формальный анализ – С.С. Андреев, Р.Т. Муртазина, В.Д. Котенко; исследование – Р.Т. Муртазина, Т.О. Меинова, В.Д. Котенко; методология – С.П. Бордовский, А.Д. Таранова, В.Д. Котенко; управление проектом –

С.П. Бордовский, К.В. Шевцова; ресурсы – С.С. Андреев, О.О. Зинченко; надзор – С.П. Бордовский, Ю.И. Горлова, К.В. Шевцова; валидация – Р.Т. Муртазина, А.Д. Таранова; визуализация – С.С. Андреев, Ю.И. Горлова, В.Д. Котенко; написание – первоначальный вариант – Р.Т. Муртазина, Т.О. Meinova, Ю.И. Горлова; написание – рецензирование и редактирование – С.П. Бордовский, В.Д. Котенко, К.В. Шевцова.

**Authors' contribution.** The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. Conceptualization – S.P. Bordovsky, S.S. Andreev, V.D. Kotenko; data curation – S.S. Andreev, R.T. Murtazina, T.O. Meinova; formal analysis – S.S. Andreev, R.T. Murtazina, V.D. Kotenko; investigation – R.T. Murtazina, T.O. Meinova, V.D. Kotenko; methodology – S.P. Bordovsky, A.D. Taranova, V.D. Kotenko; project administration – S.P. Bordovsky, K.V. Shevtsova; resources – S.S. Andreev, O.O. Zinchenko; supervision – S.P. Bordovsky, Iu.I. Gorlova, K.V. Shevtsova; visualization – S.S. Andreev, Iu.I. Gorlova, V.D. Kotenko; writing – original draft – R.T. Murtazina, T.O. Meinova, A.D. Taranova, Iu.I. Gorlova; writing – review & editing – S.P. Bordovsky, V.D. Kotenko, K.V. Shevtsova.

**Источник финансирования.** Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

**Funding source.** The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

**Соответствие принципам этики.** Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом [ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет), 18.05.2023, протокол №09-23]. Одобрение и процедуру проведения протокола получали по принципам Хельсинкской декларации.

**Compliance with the principles of ethics.** The study protocol was approved by the local ethics committee [Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 18 May 2023, Minutes No. 09-23]. Approval and protocol procedure was obtained according to the principles of the Declaration of Helsinki.

**Информированное согласие на публикацию.** Пациенты подписали форму добровольного информированного согласия на публикацию медицинской информации.

**Consent for publication.** Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

## Литература/References

1. Reeve A, Simcox E, Turnbull D. Ageing and Parkinson's disease: Why is advancing age the biggest risk factor? *Ageing Res Rev.* 2014;14(100):19-30. DOI:10.1016/j.arr.2014.01.004
2. Luo Y, Qiao L, Li M, et al. Global, regional, national epidemiology and trends of Parkinson's disease from 1990 to 2021: findings from the Global Burden of Disease Study 2021. *Front Aging Neurosci.* 2024;16:1498756. DOI:10.3389/fnagi.2024.1498756

3. Su D, Cui Yu, He C, et al. Projections for prevalence of Parkinson's disease and its driving factors in 195 countries and territories to 2050: modelling study of Global Burden of Disease Study 2021. *BMJ.* 2025;388:e080952. DOI:10.1136/bmj-2024-080952
4. Раздорская В, Воскресенская О, Юдина Г. Болезнь Паркинсона в России: распространенность и заболеваемость (Обзор). *Саратовский научно-медицинский журнал.* 2016;12(3):379-84 [Razdorskaya VV, Voskresenskaya ON, Yudina GK. Parkinson's disease in Russia: prevalence and incidence. *Saratov Journal of Medical Scientific Research.* 2016;12(3):379-84 (in Russian)]. EDN:YGHIPJ
5. Ma S, Zhuang W, Wang X, 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. DOI:10.3389/fnagi.2025.1495492
6. Kwon DK, Kwatra M, Wang J, Ko HS. Levodopa-Induced Dyskinesia in Parkinson's Disease: Pathogenesis and Emerging Treatment Strategies. *Cells.* 2022;11(23):3736. DOI:10.3390/cells11233736
7. Neuromodulation for Parkinson's Disease APDA. Available at: <https://www.apdaparkinson.org/article/neuromodulation-for-parkinsons-disease/> Accessed: 17.09.2025.
8. Wong PL, Yang YR, Huang ShF, et al. Transcranial Direct Current Stimulation on Different Targets to Modulate Cortical Activity and Dual-Task Walking in Individuals With Parkinson's Disease: A Double Blinded Randomized Controlled Trial. *Front Aging Neurosci.* 2022;14:807151.
9. Meira LB, Ferreira AT, Fernandes JVA, Oliveira ASB. Transcranial Direct Current Stimulation in Motor Therapy for Patients With Parkinson's Disease: A Systematic Review. *J Neurol Res.* 2025;15(2):65-70. DOI:10.14740/jnr874
10. Beretta VS, Orcioli-Silva D, Zampier VC, et al. Eight sessions of transcranial electrical stimulation for postural response in people with Parkinson's disease: A randomized trial. *Gait Posture.* 2024;114(1-7).
11. Liu J, Ying Z, Chen B, et al. Common and specific effects in brain oscillations and motor symptoms of tDCS and tACS in Parkinson's disease. *Cell Rep Med.* 2025;6(4):102044. DOI:10.1016/j.xcrm.2025.102044
12. Starkstein SE, Mayberg HS, Preziosi TJ, et al. Reliability, validity, and clinical correlates of apathy in Parkinson's disease. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci.* 1992;4(2):134-9. DOI:10.1176/jnp.4.2.134
13. Suarez-Garcia DMA, Grisales-Cardenas 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. DOI:10.3389/fneur.2020.597955
14. Duan Z, Zhang C. Transcranial direct current stimulation for Parkinson's disease: systematic review and metaanalysis of motor and cognitive effects. *NPJ Parkinsons Dis.* 2024;10(1):214. DOI:10.1038/s41531-024-00821-z
15. 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. DOI:10.3390/jcm13030699
16. Zheng EZ, Wong NML, Yang ASY, Lee TMC. Evaluating the effects of tDCS on depressive and anxiety symptoms from a transdiagnostic perspective: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trial. *Transl Psychiatry.* 2024;14(1):295. DOI:10.1038/s41398-024-03003-w18
17. Wei W, Yi X, Ruan J, et al. The efficacy of repetitive transcranial magnetic stimulation on emotional processing in apathetic patients with Parkinson's disease: A Placebo-controlled ERP study. *J Affect Disord.* 2021;282:776-85. DOI:10.1016/j.jad.2020.12.099
18. Simpson MW, Mak M. The effect of transcranial direct current stimulation on upper limb motor performance in Parkinson's disease: a systematic review. *J Neurol.* 2020;267(12):3479-88. DOI:10.1007/s00415-019-09385-y
19. Liu X, Liu H, Liu Z, et al. Transcranial Direct Current Stimulation for Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Aging Neurosci.* 2021;13:746797. DOI:10.3389/fnagi.2021.746797
20. Almeida D, Wang Y, Pedreiro RCM, et al. Combining Transcranial Direct Current Stimulation with Exercise to Improve Mobility, Stability, and Tremor Management in 25 Individuals with Parkinson's Disease. *Neurol Int.* 2024;16:1223-38. DOI:10.3390/neurolint16060093

## Информация об авторах / Information about the authors

✉ **Бордовский Сергей Петрович** – аспирант каф. нервных болезней и нейрохирургии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет).  
E-mail: sbordoche@gmail.com

**Андреев Сергей Степанович** – стажер-исследователь Центра нейроэкономики и когнитивных исследований Института когнитивных нейронаук ФГАОУ ВО «НИУ „ВШЭ“»

**Муртазина Рената Тимуровна** – стажер-исследователь каф. нервных болезней и нейрохирургии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, ординатор Клиники нервных болезней им. А.Я. Кожевникова ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

✉ **Sergey P. Bordovsky** – Graduate Student, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).  
E-mail: sbordoche@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6928-2355

**Sergey S. Andreev** – Researcher, National Research University Higher School of Economics. ORCID: 0000-0001-9734-7606

**Renata T. Murtazina** – Researcher, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). ORCID: 0009-0005-4971-9651

**Меинова Таисия Олеговна** – студентка Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

**Таранова Анна Дмитриевна** – студентка Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

**Горлова Юлия Игоревна** – студентка Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

**Котенко Валентина Дмитриевна** – ординатор Клиники нервных болезней им. А.Я. Кожевникова ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

**Зинченко Оксана Олеговна** – канд. психол. наук, ст. науч. сотр. Центра нейроэкономики и когнитивных исследований Института когнитивных нейронаук, доц. департамента психологии ФГАОУ ВО «НИУ „ВШЭ“»

**Шевцова Ксения Викторовна** – канд. мед. наук, ассистент каф. нервных болезней и нейрохирургии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

**Taisiya O. Meinova** – Student, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). ORCID: 0009-0006-7816-2300

**Anna D. Taranova** – Student, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). ORCID: 0009-0005-1951-2625

**Iuliia I. Gorlova** – Student, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). ORCID: 0009-0008-3657-0001

**Valentina D. Kotenko** – Clinical Resident, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). ORCID: 0009-0008-7381-9814

**Oksana O. Zinchenko** – Cand. Sci. (Psychol.), National Research University Higher School of Economics. ORCID: 0000-0002-7976-3224

**Kseniya V. Shevtsova** – Cand. Sci. (Med.), Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University). ORCID: 0000-0002-9228-5108

**Статья поступила в редакцию / Submitted: 22.09.2025**

**Поступила после рецензирования / Submitted after peer review: 30.10.2025**

**Принята к печати / Accepted for publication: 24.11.2025**