

Транскраниальная стимуляция постоянным током при болезни Паркинсона: рандомизированное контролируемое исследование (с имитацией метода)



Бордовский С.П.¹, Андреев С.С.², Муртазина Р.Т.¹, Меинова Т.О.¹,
Таранова А.Д.¹, Зинченко О.О.², Шевцова К.В.¹, Парфенов В.А.¹

¹Кафедра нервных болезней Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва; ²Центр нейроэкономики и когнитивных исследований Института когнитивных нейронаук ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва

¹Россия, 119021, Москва, ул. Россолимо, 11, стр. 1; ²Россия, 101000, Москва, Кривоколенный пер., 3

Транскраниальная стимуляция постоянным током (ТСПТ) первичной моторной коры обсуждается как дополнение к терапии при болезни Паркинсона (БП). Эффективность ТСПТ при БП остается дискуссионной, нет данных по оценке эффективности и безопасности ТСПТ при БП в нашей стране.

Цель исследования — оценить клиническую эффективность курсовой анодной ТСПТ первичной моторной коры в составе комплексной терапии у пациентов с БП II–III стадии по Хен и Яру, включая влияние на моторные, когнитивные и аффективные симптомы, а также безопасность и переносимость метода.

Материал и методы. Проведено проспективное рандомизированное контролируемое исследование с участием 46 пациентов с идиопатической БП (25 мужчин и 21 женщина; средний возраст — $63,9 \pm 11,2$ года). Основная группа ($n=24$) получала 10 сеансов анодной ТСПТ области М1 (2 мА, 20 мин, ежедневно, 2 нед), контрольная группа ($n=22$) — имитационную стимуляцию (SHAM). До и после курса оценивали следующие показатели: моторные (Унифицированная шкала оценки болезни Паркинсона — УШОБП; Шкала повседневной активности — Activity of Daily Living, ADL), когнитивные (Монреальская шкала когнитивной оценки — Montreal cognitive assessment, MoCA; батарея лобной дисфункции — БЛД; тесты прохождения пути, части А и В — Trail Making Test, TMT-A, TMT-B; индекс чувствительности к подсказкам теста свободного припоминания с выборочными подсказками — ИЧП) и аффективные (шкала апатии Starkstein; Гериатрическая шкала депрессии — ГШД; Шкала тревоги Спилбергера–Ханина — State-Trait Anxiety Inventory, STAI).

Результаты. После коррекции на ковариаты статистически значимое межгрупповое преимущество активной ТСПТ выявлено по 8 из 11 оцененных показателей: УШОБП-III ($d=-0,49$; $p<0,01$), ADL ($d=-0,59$; $p=0,016$), апатии ($d=-1,07$; $p<0,01$), депрессии по ГШД ($d=-0,63$; $p=0,013$), личностной тревожности по STAI ($d=-0,67$; $p=0,018$), ситуативной тревожности по STAI ($d=-0,58$; $p=0,041$), TMT-A ($d=-1,00$; $p=0,025$) и MoCA ($d=0,52$; $p=0,024$). Наиболее выраженные эффекты отмечены в отношении апатии и TMT-A. Для TMT-B ($d=-0,39$; $p=0,188$), БЛД ($d=-0,25$; $p=0,095$) и ИЧП ($d=0,34$; $p=0,29$) статистически значимых межгрупповых различий после коррекции не получено. Серьезных нежелательных явлений за весь период исследования не зарегистрировано.

Заключение. Курсовая анодная ТСПТ первичной моторной коры имеет высокий профиль безопасности и может рассматриваться как дополнительный метод комплексной реабилитации пациентов с БП II–III стадии, оказывая наиболее выраженный эффект в аффективном домене и по показателю скорости когнитивной обработки.

Ключевые слова: болезнь Паркинсона; транскраниальная стимуляция постоянным током; нейромодуляция; когнитивные нарушения; апатия; депрессия; тревожность, УШОБП.

Контакты: Сергей Петрович Бордовский; sbordoche@gmail.com

Для цитирования: Бордовский С.П., Андреев С.С., Муртазина Р.Т., Меинова Т.О., Таранова А.Д., Зинченко О.О., Шевцова К.В., Парфенов В.А. Транскраниальная стимуляция постоянным током при болезни Паркинсона: рандомизированное контролируемое исследование (с имитацией метода). Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2026;18(2):11–18. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2026-2-11-18>

Transcranial direct current stimulation for Parkinson's disease: a randomized controlled trial (with a sham control)
Bordovsky S.P.¹, Andreev S.S.², Murtazina R.T.¹, Meinova T.O.¹, Taranova A.D.¹, Zinchenko O.O.², Shevtsova K.V.¹, Parfenov V.A.¹

¹Department of Nervous Diseases, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Moscow; ²Centre for Cognition and Decision Making, Institute for Cognitive Neuroscience, HSE University, Moscow

¹11, Rossolimo St., Build. 1, Moscow 119021, Russia; ²3, Krivokolenniy Lane, Moscow 101000, Russia

Transcranial direct current stimulation (tDCS) of the primary motor cortex is being discussed as an adjunct to therapy for Parkinson's disease (PD). The effectiveness of tDCS in PD remains controversial, and there are no data evaluating the efficacy and safety of tDCS in PD in our country.

Objective: to evaluate the clinical efficacy of a course of anodal tDCS applied to the primary motor cortex as part of a comprehensive treatment regimen for patients with stage II–III PD according to the Hoehn and Yahr scale, including its effects on motor, cognitive and affective symptoms, as well as the safety and tolerability of the method.

Material and methods. A prospective, randomised, controlled trial was conducted involving 46 patients with idiopathic PD (25 men and 21 women; mean age 63.9±11.2 years). The main group (n=24) received 10 sessions of anodal tDCS to the M1 region (2 mA, 20 min, daily, for 2 weeks), whilst the control group (n=22) received sham stimulation. The following parameters were assessed before and after the course: motor (Unified Parkinson's Disease Rating Scale – UPDRS; Activity of Daily Living – ADL), cognitive (Montreal Cognitive Assessment – MoCA; Frontal Assessment Battery – FAB; Trail Making Test, Parts A and B – TMT-A, TMT-B; Cue Sensitivity Index of the free recall test with selective cues – CSI) and affective (Starkstein Apathy Scale; Geriatric Depression Scale – GDS; State-Trait Anxiety Inventory – STAI).

Results. After covariate adjustment, a statistically significant between-group advantage of active tDCS was found for 8 of 11 assessed outcomes: UPDRS-III ($d=-0.49$; $p<0.01$), ADL ($d=-0.59$; $p=0.016$), apathy ($d=-1.07$; $p<0.01$), depression according to GDS ($d=-0.63$; $p=0.013$), trait anxiety according to STAI ($d=-0.67$; $p=0.018$), state anxiety according to STAI ($d=-0.58$; $p=0.041$), TMT-A ($d=-1.00$; $p=0.025$), and MoCA ($d=0.52$; $p=0.024$). The most pronounced effects were observed for apathy and TMT-A. No statistically significant between-group differences after adjustment were found for TMT-B ($d=-0.39$; $p=0.188$), FAB ($d=-0.25$; $p=0.095$), and CSI ($d=0.34$; $p=0.29$). No serious adverse events were recorded throughout the study period.

Conclusion. Transcranial direct current stimulation (tDCS) of the primary motor cortex has a high safety profile and may be considered as an adjunctive method in the comprehensive rehabilitation of patients with stage II–III PD, with the most pronounced effects observed in the affective domain and in terms of cognitive processing speed.

Keywords: Parkinson's disease; transcranial direct current stimulation; tDCS; neuromodulation; cognitive impairment; apathy; depression; anxiety; UPDRS.

Contact: Sergey Petrovich Bordovsky; sbordoche@gmail.com

For citations: Bordovsky SP, Andreev SS, Murtazina RT, Meinova TO, Taranova AD, Zinchenko OO, Shevtsova KV, Parfenov VA. Transcranial direct current stimulation for Parkinson's disease: a randomized controlled trial (with a sham control). *Nevrologiya, neiropsikhiatriya, psikhosomatika = Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics* 2026;18(2):11–18. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2026-2-11-18>

Болезнь Паркинсона (БП) – одно из наиболее распространенных нейродегенеративных заболеваний, частота которого неуклонно возрастает по мере старения населения. По данным исследования «Глобальное бремя болезней» (Global Burden of Disease, GBD), к 2021 г. число пациентов с БП в мире превысило 11,8 млн, а к 2050 г. прогнозируется увеличение до значений свыше 25 млн человек [1, 2]. В России распространенность оценивается в 210–220 тыс. пациентов [3, 4]. Заболевание проявляется не только кардинальными двигательными симптомами (брадикинезия, ригидность, тремор, постуральная неустойчивость), но и широким спектром немоторных нарушений – когнитивных, аффективных, вегетативных, расстройств сна. Именно немоторные проявления нередко определяют субъективную тяжесть заболевания и снижают качество жизни пациентов в меньшей степени, чем двигательный дефицит [5].

Современная базисная терапия БП основана на дофаминергической коррекции и со временем сопровождается моторными осложнениями (флюктуации, дискинезии), при этом слабо влияя на немоторные симптомы [6]. Аффективные нарушения – апатия, тревожность, депрессия – ассоциированы со снижением приверженности реабилитации и ухудшением функциональной независимости [5, 7]. Когнитивные расстройства, выявляемые почти у половины пациентов уже на ранних стадиях, ограничивают социальную адаптацию и плохо поддаются фармакотерапии [8].

Современные нейрофизиологические данные свидетельствуют о том, что БП представляет собой расстройство интегрированной соматоконгнитивной сети действия (soma-to-cognitive action network, SCAN), объединяющей моторные, вегетативные и когнитивно-аффективные компоненты [9]. Патологическая гиперсвязанность этой сети с подкорковыми структурами коррелирует с тяжестью как моторных, так и немоторных симптомов, а ее нормализация является общим признаком успешных терапевтических вмешательств [10]. Транскраниальная стимуляция постоянным током (ТСПТ; transcranial direct current stimulation, tDCS), способная модулировать распределенные нейронные сети через корковые узлы, приобретает особый интерес в контексте БП [11].

ТСПТ представляет собой воздействие слабым постоянным электрическим током (1–2 мА) через электроды на поверхности головы. Анодная стимуляция приводит к деполяризации мембран нейронов и повышению возбудимости коры, модулируя синаптическую пластичность без непосредственной генерации потенциалов действия [12]. Метод характеризуется благоприятным профилем безопасности: серьезные побочные эффекты не описаны, а легкие ощущения (покалывание, кратковременная эритема, низкоинтенсивная головная боль) носят преходящий характер [13].

Ряд систематических обзоров и метаанализов указывают на положительное влияние ТСПТ на параметры походки, управляющие функции и аффективные симптомы

[14–17], тогда как другие работы не демонстрируют убедительных доказательств улучшения моторного домена в целом [18]. Расхождения объясняются гетерогенностью протоколов стимуляции (различие мишеней, числа сеансов, характеристик выборок) [19]. Большинство работ выполнены зарубежными авторами; в российской научной литературе комплексные рандомизированные исследования по ТСПТ при БП остаются единичными, статьи носят преимущественно обзорный характер [20, 21].

Цель исследования – оценить клиническую эффективность курсовой анодной ТСПТ первичной моторной коры в составе комплексной терапии пациентов с БП II–III стадии по Хен и Яру, включая влияние на моторные, когнитивные и аффективные симптомы, а также безопасность и переносимость метода.

Материал и методы. Дизайн исследования. Проведено проспективное рандомизированное контролируемое исследование с параллельными группами. Пациенты распределены методом простой рандомизации (таблица случайных чисел) в основную группу (активная ТСПТ) и группу сравнения (имитационная стимуляция, SHAM). Исследователи, оценивающие результаты лечения, не были осведомлены о принадлежности пациента к группе (одинарное ослепление).

Пациенты. В исследование включены 54 пациента с идиопатической БП, наблюдавшихся в Клинике нервных болезней им. А.Я. Кожевникова Сеченовского Университета в 2023–2025 гг. В финальный анализ вошли 46 пациентов (основная группа – $n=24$, группа сравнения – $n=22$). Причины исключения восьми пациентов (четыре человека из основной группы, четыре – из группы сравнения) – добровольный выход из исследования и изменение схемы лекарственной терапии в период проведения курса ($n=3$).

Критерии включения: диагноз идиопатической БП, стадия II–III по модифицированной шкале Хен и Яра, стабильная фаза заболевания на фоне оптимальной медикаментозной терапии не менее 4 нед до включения, отсутствие деменции, способность понимать суть процедуры и предоставить информированное согласие.

Критерии невключения: атипичный паркинсонизм, эпилепсия или судорожные приступы в анамнезе, наличие имплантированных нейростимуляторов или металлических инородных тел в черепе, клинически значимые сердечно-сосудистые или психические заболевания.

Протокол стимуляции. В основной группе применялась анодная ТСПТ с использованием системы tES4me (ООО «Медицинские компьютерные системы», Зеленоград, Россия), поддерживающей режим постоянного тока. Анодный электрод (диаметр 22 мм, площадь ~380 мм², Ag/AgCl, смоченный физиологическим раствором) размещали над первичной моторной корой (M1) контралатерально стороне преобладания двигательных симптомов (область C3 или C4 по международной системе «10–20»). Катодный электрод аналогичного размера устанавливали на контралатеральную лобно-орбитальную область (Fp2 или Fp1). Параметры стимуляции: сила тока – 2 мА, продолжительность сеанса – 20 мин, курс – 10 сеансов (5 раз в неделю, 2 нед). Пациенты находились в положении сидя, в бодрствующем расслабленном состоянии. Контролировали отсутствие раздражения кожи под электродами и общее самочувствие.

В группе имитации электроды размещали идентично. Силу тока плавно повышали до 2 мА, но через 30 с стимуляцию автоматически прекращали (ток не подавался до конца 20-минутной сессии). Данная методика имитации воспроизводит кратковременные ощущения покалывания, обеспечивая «слепоту» пациентов в отношении типа стимуляции.

Клинико-нейропсихологическая оценка проводилась дважды: до начала курса стимуляции (визит 1, базовое обследование) и через 1–3 дня после завершения последней процедуры (визит 2, повторное обследование). Все тестирования выполняли в утренние часы, в состоянии медикаментозного «включения» (через 1–2 ч после утреннего приема леводопы).

Моторный домен: Унифицированная шкала оценки болезни Паркинсона (УШОБП, раздел III – моторные функции, 27 пунктов); шкала повседневной активности (Activity of Daily Living, ADL).

Когнитивный домен: Монреальская шкала когнитивной оценки (Montreal Cognitive Assessment, MoCA; эквивалентные версии на двух визитах для минимизации эффекта обучения); батарея лобной дисфункции (БЛД); тесты прохождения пути частей А и В (Trail Making Test, ТМТ-А, ТМТ-В; регистрировали время выполнения в секундах); индекс чувствительности к подсказкам (ИЧП) теста свободного припоминания с выборочными подсказками (Free and Cued Selective Reminding Test, FCSRT).

Аффективный домен: Гериатрическая шкала депрессии (ГШД-15); шкала тревоги Спилбергера–Ханина (State-Trait Anxiety Inventory, STAI; ситуативная тревожность – СТ, личностная тревожность – ЛТ); шкала апатии Starkstein (14 пунктов, шкала Ликерта 0–3) [22].

Безопасность и переносимость: ежедневный структурированный опрос пациентов на предмет нежелательных явлений (головная боль, головокружение, раздражение кожи, фосфены, дискомфорт, изменения самочувствия).

Статистический анализ. Количественные показатели проверяли на нормальность распределения (критерий Шапиро–Уилка). Исходную сравнимость групп оценивали с использованием t-критерия Стьюдента для независимых выборок (при ненормальном распределении – U-критерия Манна–Уитни), качественных признаков – критерия χ^2 . Внутригрупповые изменения «до–после» оценивали с помощью парного t-критерия или робастного модифицированного критерия Yuen с перестановками. Основной аналитической моделью стали линейные модели смешанных эффектов (Linear Mixed Effects, LME, библиотека lme4) с фиксированными факторами «группа» и «время», их взаимодействием и ковариатами (возраст и длительность заболевания). Ключевой метрикой эффективности вмешательства являлась скорректированная межгрупповая разница изменений. Дополнительно рассчитывали стандартизированный размер эффекта (Cohen's d). Статистическую значимость устанавливали при $p < 0,05$. Обработку данных проводили в программном пакете R (версия 4.2); графическое представление – в среде GraphPad Prism 9.

Характеристика выборки. Среди 46 пациентов финального анализа было 25 (54,3%) мужчин и 21 (45,7%) женщина. Средний возраст – $63,9 \pm 11,2$ года (от 45 до 78 лет), средняя длительность заболевания – $5,9 \pm 3,8$ года. Боль-

шинство пациентов соответствовали II (43%) или III (39%) стадии по Хен и Яру. Все находились на стабильной медикаментозной терапии (100% – леводопа, 65% – агонисты дофаминовых рецепторов, 52% – ингибитор МАО-В). Исходные характеристики групп представлены в табл. 1.

Группы были сопоставимы по полу, возрасту, длительности заболевания, когнитивным и аффективным показателям. Статистически значимые исходные различия зарегистрированы по УШОБП-III ($p=0,035$), ADL ($p=0,016$) и ИЧП ($p=0,02$): пациенты основной группы имели менее выраженный моторный дефицит и лучший функциональный статус. Эти различия учтены при анализе с использованием LME.

Этические аспекты. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (протокол № 09-23 от 18.05.2023). Все пациенты подписали информированное согласие на участие и обработку персональных данных. Исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации.

Результаты. Динамика моторных, когнитивных и аффективных показателей отражена в табл. 2.

Динамика моторных показателей. В основной группе суммарный балл УШОБП-III снизился с $25,2 \pm 12,9$ до $17,9 \pm 14,5$ (медиана – с 25 [17; 32] до 15,5 [7,5; 24]; среднее изменение $-7,3$ балла; $p<0,01$). В группе сравнения динамика была минимальной: с $35,3 \pm 19,7$ до $34,7 \pm 20,3$ (медиана – с 34 [22; 48] до 31,5 [21; 48]; $-1,1$ балла; $p=0,226$). Межгруп-

повая разница изменений статистически значима ($p<0,01$). По шкале ADL средний балл в основной группе снизился с $8,1 \pm 4,5$ до $5,8 \pm 2,9$ ($-2,1$ балла; $p<0,01$); в группе сравнения изменений не наблюдалось ($p=0,818$). Межгрупповая разница по ADL не достигла статистической значимости ($p=0,059$).

Динамика когнитивных показателей. Наиболее выраженная динамика выявлена по тестам ТМТ. В основной группе время выполнения ТМТ-А сократилось с $54,7 \pm 31,0$ до $44,3 \pm 22,5$ с ($-8,9$ с; $p<0,01$), ТМТ-В – с $129,3 \pm 48,8$ до $109,6 \pm 46,6$ с ($-19,7$ с; $p<0,01$). В группе сравнения изменения по ТМТ-А ($p=0,097$) и ТМТ-В ($p=0,356$) были статистически не значимы. Межгрупповые различия изменений значимы для обоих показателей ($p<0,01$). Балл МоСА повысился в обеих группах: в основной – с $25,2 \pm 4,1$ до $26,7 \pm 2,6$ ($+1,5$ балла; $p<0,01$), в контрольной – с $25,7 \pm 2,2$ до $26,4 \pm 2,3$ ($+0,7$ балла; $p=0,01$); межгрупповая разница не достигла уровня статистической значимости ($p=0,18$). По БЛД статистически значимых изменений не выявлено ни в одной из групп ($p>0,14$). По ИЧП значимой внутригрупповой или межгрупповой динамики также не зарегистрировано.

Динамика аффективных показателей. Наиболее отчетливый межгрупповой контраст получен по показателю апатии. В основной группе средний балл по шкале апатии снизился с $14,0 \pm 6,6$ до $12,1 \pm 5,6$ ($-1,9$ балла; $p<0,01$). В группе сравнения отмечалась тенденция к повышению показателя (с $13,6 \pm 4,7$ до $14,1 \pm 3,5$; $p=0,705$); межгрупповое различие статистически значимо ($p=0,022$). Показатели тревожности снижались в обеих группах: СТ в основной – на 4,3 балла ($p<0,01$), в контрольной – на 2,4 балла ($p<0,01$); ЛТ – на 4,1 и 2,4 балла соответственно ($p<0,01$). Межгрупповая разница достигла статистической значимости для ЛТ ($p=0,047$), но не для СТ ($p=0,118$). Снижение ГШД в основной группе было пограничным (с $4,7 \pm 3,7$ до $3,7 \pm 2,4$; $p=0,05$), в контрольной – незначимым ($p=0,451$); межгрупповое различие не подтверждено ($p=0,127$).

Результаты анализа с применением LME (скорректированные оценки). После включения ковариат (возраст и длительность заболевания) в основной группе статистически значимые внутригрупповые изменения подтверждены для УШОБП-III ($-3,37$; $p<0,01$), ADL ($-2,16$; $p<0,01$), апатии ($-2,07$; $p<0,01$), ГШД ($-0,99$; $p<0,01$), СТ ($-4,58$; $p<0,01$), ЛТ ($-4,40$; $p<0,01$), ТМТ-А ($-10,84$; $p<0,01$), ТМТ-В ($-19,58$; $p<0,01$), МоСА ($+1,10$; $p<0,01$). В группе сравнения ряд показателей не достигали уровня статистической значимости (УШОБП: $-0,18$, $p=0,721$; апатия: $+0,51$, $p=0,310$; ТМТ-А: $-1,25$, $p=0,691$). Скорректированная межгрупповая разница изменений – ключевая метрика эффективности – представлена в табл. 3.

После коррекции на ковариаты статистически значимое межгрупповое преимущество активной ТСПТ подтверждено для 8 из 11 оцененных показателей: УШОБП-III, ADL, МоСА, ТМТ-А, апатии, ГШД, ЛТ и СТ. Наибольший размер эффекта зафиксирован для апатии ($d=-1,07$, крупный эффект) и ТМТ-А ($d=-1,00$). Умеренные эффекты получены для ГШД ($d=-0,63$), ЛТ ($d=-0,67$), ADL ($d=-0,59$), СТ ($d=-0,58$), МоСА ($d=0,52$) и УШОБП-III ($d=-0,49$). Для ТМТ-В, БЛД и ИЧП межгрупповые различия после коррекции не достигали статистической значимости.

Таблица 1. *Исходные клинические характеристики пациентов, $M \pm SD$*
Table 1. *Baseline clinical characteristics of patients, $M \pm SD$*

Показатель	Основная группа (n=24)	Группа сравнения (n=22)	p
Пол (жен./муж.), n	13/11	8/14	0,36
Возраст, годы	$61,9 \pm 11,2$	$66,1 \pm 10,9$	0,25
Длительность БП, годы	$5,3 \pm 3,6$	$6,6 \pm 4,0$	0,22
УШОБП-III, баллы	$25,2 \pm 12,9$	$35,3 \pm 19,7$	0,035
ADL, баллы	$8,1 \pm 4,5$	$12,6 \pm 8,1$	0,016
МоСА, баллы	$25,2 \pm 4,1$	$25,7 \pm 2,2$	0,745
БЛД, баллы	$16,1 \pm 1,8$	$16,2 \pm 1,6$	0,84
ТМТ-А, с	$54,7 \pm 31,0$	$64,3 \pm 22,8$	0,10
ТМТ-В, с	$129,3 \pm 48,8$	$172,3 \pm 90,8$	0,06
ИЧП	$0,91 \pm 0,10$	$0,85 \pm 0,09$	0,02
Апатия, баллы	$14,0 \pm 6,6$	$13,6 \pm 4,7$	0,95
СТ (STAI), баллы	$40,8 \pm 9,1$	$40,2 \pm 8,2$	0,85
ЛТ (STAI), баллы	$46,6 \pm 7,9$	$44,8 \pm 6,1$	0,41
ГШД, баллы	$4,7 \pm 3,7$	$4,9 \pm 2,8$	0,51

Примечательно расхождение между нескорректированным и скорректированным анализом по ряду показателей: ADL ($p=0,059 \rightarrow p=0,016$), ГШД ($p=0,127 \rightarrow p=0,013$) и СТ ($p=0,118 \rightarrow p=0,041$) стали значимыми после коррекции, тогда как ТМТ-В, показавший межгрупповую значимость в сырых данных ($p<0,01$), утратил ее после учета ковариат ($p=0,188$). Это подчеркивает чувствительность отдельных показателей к возрасту и длительности заболевания и необходимость использования скорректированных моделей.

Безопасность и переносимость. Серьезных нежелательных явлений за весь период исследования не зарегистрировано. Побочные эффекты ограничивались кратковре-

менным покалыванием или ощущением тепла под электродами, которые самостоятельно разрешались в течение 15–20 мин. Раздражения кожи, головной боли, фосфенов, когнитивных или моторных ухудшений не отмечено. Ни один пациент не прекратил участие по причине нежелательных явлений.

Обсуждение. Результаты настоящего исследования свидетельствуют о мультидоменном терапевтическом потенциале курсовой анодной ТСПТ первичной моторной коры при БП. Использование линейных моделей смешанных эффектов с включением ковариат позволило выделить специфический эффект активной стимуляции от неспецифических влияний (повторное тестирование, ожидания, регрес-

Таблица 2. *Динамика моторных, когнитивных и аффективных показателей до и после курса ТСПТ*
Table 2. *Changes in motor, cognitive and affective indicators before and after the tDCS course*

Показатель	До курса ТСПТ	После курса ТСПТ	Среднее изменение	P ₁	P ₂
УШОБП-III:					
основная группа	25,21±12,86	17,88±14,51	-7,333 [-9,295; -5,372]	<0,01	
группа сравнения	25 [17,0; 31,75] 35,32±19,7 34 [22,25; 48,0]	15,5 [7,5; 24,25] 34,68±20,32 31,5 [20,75; 47,5]	-1,111 [-2,722; 0,667]	0,226	<0,01
ADL:					
основная группа	8,08±4,47	5,79±2,93	-2,05 [-3,15; -0,85]	<0,01	
группа сравнения	12,55±8,13	11,77±7,28	-0,222 [-1,611; 1,222]	0,818	0,059
MoCA:					
основная группа	25,17±4,06	26,71±2,63	1,542 [0,85; 2,233]	<0,01	
группа сравнения	25,68±2,17	26,41±2,34	0,722 [0,222; 1,278]	0,01	0,18
БЛД:					
основная группа	16,12±1,78	16,38±1,79	0,3 [0,0; 0,6]	0,143	
группа сравнения	16,23±1,63	16,82±1,22	0,389 [-0,228; 1,006]	0,201	0,743
ТМТ-А:					
основная группа	54,71±30,98	44,25±22,47	-8,85 [-13,75; -3,95]	<0,01	
группа сравнения	64,32±22,83	63,45±28,36	-2,611 [-5,751; 0,529]	0,097	<0,01
ТМТ-В:					
основная группа	129,33±48,77	109,62±46,55	-19,7 [-33,55; -6,0]	<0,01	
группа сравнения	172,32±90,8 167 [99,75; 191,25]	165±100,24 145 [89,25; 191,75]	-2,5 [-6,944; 1,833]	0,356	<0,01
ИЧП:					
основная группа	0,91±0,1	0,93±0,08	0,016 [-0,012; 0,044]	0,264	
группа сравнения	0,93 [0,88; 1,0] 0,85±0,09 0,85 [0,8; 0,92]	0,94 [0,9; 1,0] 0,85±0,11 0,87 [0,82; 0,93]	0 [-0,004; 0,005]	0,917	>0,05
Апатия:					
основная группа	14,0±6,55	12,12±5,6	-1,875 [-3,149; -0,601]	<0,01	
группа сравнения	13,55±4,72	14,09±3,53	0,222 [-0,994; 1,438]	0,705	0,022
СТ (STAI):					
основная группа	40,79±9,07	36,5±8,23	-4,292 [-5,958; -2,625]	<0,01	
группа сравнения	40,18±8,16	37,77±8,63	-2,409 [-4,15; -0,668]	<0,01	0,118
ЛТ (STAI):					
основная группа	46,58±7,86	42,46±7,54	-4,125 [-5,509; -2,741]	<0,01	
группа сравнения	44,82±6,06	42,45±6,18	-2,389 [-3,667; -1,167]	<0,01	0,047
ГШД:					
основная группа	4,7±3,7	3,7±2,4	-0,8 [-1,601; 0,001]	0,05	
группа сравнения	4,9±2,8	4,7±2,7	-0,222 [-0,389; 0,056]	0,451	0,127

Примечание. Данные представлены в виде M±SD и/или Me [25-го; 75-го перцентилей]. Статистическая значимость: p₁ – внутригрупповые различия; p₂ – межгрупповые различия.

сия к среднему) и подтвердить устойчивость результатов к исходной несопоставимости групп по моторному домену.

Результаты показали преимущество ТСПТ над ее имитацией в группе пациентов с БП по УШОБП-III и ADL. Полученные результаты согласуются с данными V.S. Veretta и соавт. [23], продемонстрировавших улучшение поструральных реакций после 8 сеансов анодной ТСПТ М1 с частичным сохранением эффекта через месяц, и с систематическими обзорами [15, 17], указывающими на положительное влияние ТСПТ на параметры походки и равновесия при БП. В отдельных исследованиях описан также эффект ТСПТ в отношении паркинсонического тремора [24]. Вместе с тем метаанализ Z. Duan и C. Zhang [18], объединивший 12 РКИ (263 пациента), не выявил значимого улучшения УШОБП-III при агрегированном анализе. Данное расхождение может объясняться тем, что наибольшую пользу от ТСПТ получают пациенты с умеренной тяжестью заболевания на развернутой стадии – именно такой профиль преобладал в нашей выборке.

Результаты показали преимущество ТСПТ над ее имитацией в группе пациентов с БП по данным нейропсихологических тестов. Полученные данные согласуются с обзором D.M.A. Suarez-García и соавт. [25], в котором было отмечено улучшение управляющих функций при ТСПТ в большинстве исследований, с метаанализом S. Ma и соавт. [16], показавшим наибольший эффект ТСПТ именно

в отношении исполнительного контроля, а также с систематическим обзором и метаанализом J.J. de Souza Souto и соавт. [26], согласно которому активная ТСПТ у пациентов с БП ассоциирована с улучшением когнитивных функций, в том числе памяти, и уменьшением времени реакции при выполнении когнитивных задач. Примечательно, что улучшение когнитивных показателей получено при стимуляции М1, а не дорсолатеральной префронтальной коры, что может быть опосредовано модуляцией фронтостриарных сетей [27].

Результаты исследования показали преимущество ТСПТ над ее имитацией в группе пациентов с БП в отношении эмоциональных тестов. Данные результаты соответствуют метаанализу Q. Li и соавт. [17], выявившему значимое снижение депрессии и тревоги при ТСПТ у пациентов с БП, и пилотному исследованию D.Y. Kwon и соавт. [28], показавшему параллельное улучшение настроения и двигательных функций. Выраженность влияния на апатию имеет особое клиническое значение: апатия при БП ассоциирована со снижением вовлеченности в реабилитацию, ухудшением повседневной активности и качества жизни, при этом ее фармакологическая коррекция крайне ограничена [5, 7].

Мультидоменный характер эффекта ТСПТ (моторный, когнитивный, аффективный) при стимуляции одной мишени (М1) может быть объяснен сетевым механизмом действия. Согласно концепции SCAN, первичная моторная кора входит в состав интегрированной соматоконгнитивной сети, гиперсвязанность которой с подкорковыми структурами лежит в основе патофизиологии БП [9]. Модуляция кортикального узла данной сети может опосредованно влиять на функциональное состояние лимбических и когнитивных контуров [29]. Кроме того, анодная стимуляция М1 повышает корковую возбудимость, улучшает внутрикоровое облегчение и стимулирует экспрессию нейротрофических факторов, что может обеспечивать накопительный характер курсового эффекта [30].

Ограничения. Настоящее исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, относительно небольшой объем выборки (n=46) ограничивает статистическую мощность, особенно для подгруппового анализа, и повышает риск как ложноположительных, так и ложноотрицательных выводов при множественности конечных точек. Во-вторых, исходная несопоставимость групп по УШОБП-III, ADL и ИЧП, хотя и частично компенсированная ЛМЕ, требует осторожности при интерпретации нескорректированных оценок; в будущих исследованиях целесообразна стратифицированная рандомизация по ключевым показателям. В-третьих, отсутствие отдаленного наблюдения не позволяет оценить стойкость эффектов – по материалам работы можно обсуждать лишь ранний ответ (непосредственно после курса). В-четвертых, фиксированный протокол стимуляции (анод на М1) ограничивает выводы о зависимости доза-эффект и оптимальном выборе мишени. В-пятых, отсутствие инструментальных нейрофизиологических методов (мониторинг с использованием транскраниальной магнитной стимуляции, электроэнцефалография, функциональная магнитно-резонансная томография) не позволяет верифицировать сетевые механизмы непосредственно в данной выборке. В-шестых, не использованы специализированные шкалы качества жизни (PDQ-39).

Таблица 3. *Скорректированная межгрупповая разница изменений (эффект вмешательства), ЛМЕ с ковариатами (возраст, длительность БП)*

Table 3. *Adjusted between-group difference in change (treatment effect), Linear Mixed Effects (LME) with covariates (age, duration of PD)*

Показатель	Разница изменений (95% ДИ)	Cohen's d	p
УШОБП-III	-3,19 (от -5,08 до -1,30)	-0,49	<0,01
ADL	-1,56 (от -2,84 до -0,29)	-0,59	0,016
MoCA	0,68 (0,09–1,28)	0,52	0,024
TMT-A	-9,57 (от -17,94 до -1,19)	-1,00	0,025
TMT-B	-9,35 (от -23,26 до 4,56)	-0,39	0,188
БЛД	-0,25 (от -0,54 до 0,04)	-0,25	0,095
ИЧП	0,001 (от -0,003 до 0,005)	0,34	0,29
Апатия	-2,58 (от -3,96 до -1,19)	-1,07	<0,01
ГШД	-0,88 (от -1,5 до -0,19)	-0,63	0,013
ЛТ (STAI)	-1,94 (от -3,54 до -0,33)	-0,67	0,018
СТ (STAI)	-2,06 (от -4,03 до -0,08)	-0,58	0,041

Примечание. Отрицательные значения разницы для УШОБП, ADL, TMT, апатии, ГШД, STAI указывают на преимущество активной ТСПТ (большее улучшение в сравнении с SHAM). Для MoCA положительное значение отражает большее улучшение в основной группе.

Тем не менее рандомизированный контролируемый дизайн (с имитацией метода), слепой метод клинической оценки, комплексный набор валидированных инструментов и строгая аналитическая рамка (LME с ковариатами) обеспечивают адекватную внутреннюю валидность.

Безопасность метода. Метод продемонстрировал благоприятный профиль безопасности: в ходе курса ТСПТ серьезных нежелательных явлений не зарегистрировано, что свидетельствует о хорошей переносимости вмешательства у пациентов с БП II–III стадии.

Дальнейшие исследования. Требуется дальнейшие исследования для подтверждения полученных результатов, оценки стойкости эффекта и уточнения оптимальных параметров ТСПТ у пациентов с БП.

Заключение. Метод ТСПТ характеризуется высоким профилем безопасности и хорошей переносимостью. Полученные данные обосновывают рассмотрение ТСПТ как

адьювантного нейромодуляционного вмешательства в составе комплексной реабилитации пациентов с БП, преимущественно для коррекции аффективных нарушений и отдельных когнитивных компонентов. Результаты настоящего исследования отражают краткосрочный ответ и не могут быть экстраполированы на отдаленные сроки. Необходимы многоцентровые исследования с расширенными выборками, стратифицированной рандомизацией и отдаленным наблюдением для подтверждения стойкости эффектов и оптимизации индивидуальных протоколов стимуляции.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Клиники нервных болезней им. А.Я. Кожевникова Сеченовского Университета за содействие в организации исследования, а также всем пациентам, принявшим в нем участие.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- 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
- Su D, Cui Y, 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
- Раздорская ВВ, Воскресенская ОН, Юдина ГК. 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 (review). *Saratov Scientific Medical Journal.* 2016;12(3):379-84 (In Russ.).
- Катунина ЕА, Путятин ИА, Дзугаева ФК, Бацова ДЮ. Эпидемиология болезни Паркинсона. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски.* 2025;125(11-2):39-54. doi: 10.17116/jnevro202512511239 Katunina EA, Putyatyn IA, Dzugaeva FK, Batsoeva DO. Epidemiology of Parkinson's disease. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2025;125(11-2):39-54 (In Russ.). doi: 10.17116/jnevro202512511239
- Antonini A, Emmi A, Campagnolo M. Beyond the Dopaminergic System: Lessons Learned from levodopa Resistant Symptoms in Parkinson's Disease. *Mov Disord Clin Pract.* 2023;10:S50-5. doi: 10.1002/MDC3.13786
- Armstrong MJ, Okun MS. Diagnosis and Treatment of Parkinson Disease: A Review. *JAMA.* 2020;323:548-60. doi: 10.1001/JAMA.2019.22360
- Нодель МР. Апатия при болезни Паркинсона. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2014;6(1):80-4. doi: 10.14412/2074-2711-2014-1-80-84 Nodel MR. Apathy in Parkinson's disease patients. *Neurologiya, neiropsikhiatriya, psikhosomatika = Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics.* 2014;6(1):80-4 (In Russ.). doi: 10.14412/2074-2711-2014-1-80-84
- Jellinger KA. Mild cognitive impairment in Parkinson's disease: current view. *Front Cognit.* 2024;3:1369538. doi: 10.3389/FCOGN.2024.1369538
- Ren J, Zhang W, Dahmani L, et al. Parkinson's disease as a somato-cognitive action network disorder. *Nature.* 2026 Feb 4. doi: 10.1038/s41586-025-10059-1. Epub ahead of print.
- De Micco R, Di Nardo F, Siciliano M, et al. Intrinsic brain functional connectivity predicts treatment-related motor complications in early Parkinson's disease patients. *J Neurol.* 2024;271:826-34. doi: 10.1007/S00415-023-12020-6
- Wang Y, Ding Y, Guo C. Assessment of noninvasive brain stimulation interventions in Parkinson's disease: a systematic review and network meta-analysis. *Sci Rep.* 2024;14(1):14219. doi: 10.1038/s41598-024-64196-0
- Stagg CJ, Nitsche MA. Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *Neuroscientist.* 2011;17:37-53. doi: 10.1177/1073858410386614
- Antal A, Aleksehchuk I, Bikson M, et al. Low intensity transcranial electric stimulation: Safety, ethical, legal regulatory and application guidelines. *Clin Neurophysiol.* 2017;128:1774-809. doi: 10.1016/J.CLINPH.2017.06.001
- 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. doi: 10.1186/s12984-024-01311-2
- 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. doi: 10.1186/s40035-021-00245-2
- 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
- Li Q, Ye H, Ye C, Huang M. Effects of transcranial direct current stimulation on non-motor functions in individuals with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Front Neurosci.* 2025;19:1713623. doi: 10.3389/fnins.2025.1713623
- 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;10:1-14. doi: 10.1038/S41531-024-00821-Z
- Ni R, Yuan Y, Yang L, et al. Novel Non-invasive Transcranial Electrical Stimulation for Parkinson's Disease. *Front Aging Neurosci.* 2022;14:880897. doi: 10.3389/fnagi.2022.880897
- Сарычева ТН. Применение транскраниальной электрической стимуляции головного мозга для коррекции немоторных проявлений болезни Паркинсона. *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета.* 2011;(3):36-8. Sarycheva TN. Administration of transcranial electrical stimulation for non-motor symptoms of Parkinson's disease. *Bulletin of the Volgograd State Medical University.* 2011;(3):36-8 (In Russ.).

21. 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):123-30. doi: 10.17116/jnevro2020120121123
Pavlova EL, Menshikova AA, Akzhigitov RG, Guekht AB. Transcranial direct current stimulation in neurology and psychiatry. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2020;120(12):123-30 (In Russ.). doi: 10.17116/jnevro2020120121123
22. Starkstein SE, Mayberg HS, Preziosi TJ, et al. Reliability, validity, and clinical correlates of apathy in Parkinson's disease. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*. 1992;4:134-9. doi: 10.1176/JNP.4.2.134
23. 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. doi: 10.1016/J.GAITPOST.2024.08.076
24. Zhang B, Huang F, Liu J, Zhang D. Bilateral transcranial direct current stimulation may be a feasible treatment of Parkinsonian tremor. *Front Neurosci*. 2023;17:1101751. doi: 10.3389/fnins.2023.1101751
25. 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;11:597955. doi: 10.3389/fneur.2020.597955
26. De Souza Souto JJ, Edite Case de Oliveira M, Silva GM, et al. Transcranial direct current stimulation and cognitive changes in Parkinson's disease, a systematic review with meta-analysis and meta-regression. *Appl Neuropsychol Adult*. 2024 Jul 5:1-11. doi: 10.1080/23279095.2024.2367108
27. Haber SN. Corticostriatal circuitry. *Dialogues Clin Neurosci*. 2016;18:7-21. doi: 10.31887/DCNS.2016.18.1/SHABER
28. Kwon DY, Song JH, Yoon HK. Improvement of depression and motor parameters after application of transcranial direct current stimulation in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. 2025;134:107596. doi: 10.1016/j.parkreldis.2025.107596
29. Beheshti I, Ko JH. Modulating brain networks associated with cognitive deficits in Parkinson's disease. *Mol Med*. 2021;27:24. doi: 10.1186/S10020-021-00284-5
30. Qi S, Cao L, Wang Q, et al. The Physiological Mechanisms of Transcranial Direct Current Stimulation to Enhance Motor Performance: A Narrative Review. *Biology*. 2024;13(10):790. doi: 10.3390/biology13100790

Поступила / отрецензирована / принята к печати

Received / Reviewed / Accepted

14.01.2026 / 23.03.2026 / 24.03.2026

Заявление о конфликте интересов / Conflict of Interest Statement

Исследование не имело спонсорской поддержки. Конфликт интересов отсутствует. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать. Все авторы принимали участие в разработке концепции статьи и написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

The investigation has not been sponsored. There are no conflicts of interest. The authors are solely responsible for submitting the final version of the manuscript for publication. All the authors have participated in developing the concept of the article and in writing the manuscript. The final version of the manuscript has been approved by all the authors.

Бордовский С.П. <https://orcid.org/0000-0002-6928-2355>

Андреев С.С. <https://orcid.org/0000-0001-9734-7606>

Муртазина Р.Т. <https://orcid.org/0009-0005-4971-9651>

Меинова Т.О. <https://orcid.org/0009-0006-7816-2300>

Таранова А.Д. <https://orcid.org/0009-0005-1951-2625>

Зинченко О.О. <https://orcid.org/0000-0002-9228-5108>

Шевцова К.В. <https://orcid.org/0000-0002-9228-5108>

Парфенов В.А. <https://orcid.org/0000-0002-1992-7960>