

УДК 615.84:616-056.52

Неинвазивная стимуляция мозга в терапии ожирения и метаболического синдрома

Занин С.А., Поляков П.П., Сторожук А.П.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет»
350063, Краснодар, м/р Центральный, ул. Митрофана Седина, д. 4

Целью работы были анализ и обобщение в виде нарративного обзора литературы данных о возможностях применения трёх методов неинвазивной стимуляции головного мозга: транскраниальной стимуляции постоянным током (ТСПТ), транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) и транскраниальной электростимуляции по методике В.П.Лебедева (ТЭС-терапии) при ожирении и метаболическом синдроме. Ожирение и метаболический синдром являются многофакторными, до конца не изученными состояниями как с точки зрения этиологии и патогенеза, так и с точки зрения их последствий, что требует поиска и исследований эффективности новых подходов к их терапии. Среди таковых – методы неинвазивной стимуляции головного мозга, в частности ТСПТ, ТМС и ТЭС-терапия.

Каждый из данных подходов изучался в доклинических работах с многообещающими результатами. На моделях ожирения и метаболического синдрома у грызунов показано влияние подобных воздействий на массу тела, содержание висцерального жира, параметры углеводного и липидного обмена. Помимо этого, дополнительное благоприятное воздействие могут оказать плеiotропные эффекты неинвазивной стимуляции мозга – противовоспалительный, антистрессовый, антиноцицептивный (для чего исходно разрабатывалась ТЭС-терапия), а также модуляция работы коры головного мозга (для чего изначально создавались ТСПТ и ТМС), в частности, исполнительных функций и пищевого поведения.

Клиническое изучение данных методов находится на раннем этапе, хотя уже имеются результаты контролируемых экспериментов, которые показывают благоприятное влияние неинвазивной стимуляции мозга на массу тела и пищевое поведение, наряду с гораздо более подробно изученными эффектами в отношении нейропсихических нарушений.

Таким образом, данные доклинических исследований и клинических испытаний позволяют предположить благоприятное влияние обсуждаемых методов на нейроиммуноэндокринную дисрегуляцию и возможность их применения в комплексном лечении ожирения, метаболического синдрома и патогенетически смежных заболеваний.

Ключевые слова: ожирение; метаболический синдром; транскраниальная стимуляция постоянным током; транскраниальная магнитная стимуляция; транскраниальная электростимуляция

Для цитирования: Занин С.А., Поляков П.П., Сторожук А.П. Неинвазивная стимуляция мозга в терапии ожирения и метаболического синдрома. Патогенез. 2026; 24(2): 14–21

DOI: 10.48612/path/2310-0435.2026.02.14-21

Для корреспонденции: Занин Сергей Александрович, e-mail: zanin77@mail.ru

Финансирование. Исследование не имеет спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 23.01.2026.

Non-invasive brain stimulation for the treatment of obesity and metabolic syndrome

Zanin S.A., Polyakov P.P., Storozhuk A.P.

Kuban State Medical University of the Ministry of Health of Russia
Mitrofana Sedina Str. 4, Krasnodar 350063, Russian Federation

This narrative review **aims** to analyze and synthesize current literature regarding the potential applications of three non-invasive brain stimulation (NIBS) techniques—transcranial direct current stimulation (tDCS), transcranial magnetic stimulation (TMS), and transcranial electrical stimulation (TES therapy or Lebedev current)—in the management of obesity and metabolic syndrome. The multifactorial nature and incompletely understood pathogenesis of obesity and its metabolic consequences necessitate the exploration of novel therapeutic strategies.

Each of these NIBS modalities has demonstrated promising results in preclinical studies; specifically, rodent models of obesity and metabolic syndrome have shown that such interventions can modulate body weight, visceral fat content, and parameters of carbohydrate and lipid metabolism. Furthermore, the therapeutic potential of these methods may be enhanced by their pleiotropic effects, including anti-inflammatory, anti-stress, and antinociceptive actions (the primary objective for TES therapy), as well as the modulation of cortical activity (the original indications of tDCS and TMS), particularly regarding executive functions and eating behavior.

Although clinical investigation of these methods remains in its early stages, available data from controlled trials indicate a favorable impact of NIBS on body mass and dietary patterns, complementing their well-established efficacy in treating neuropsychiatric disorders.

Consequently, evidence from both preclinical and clinical research suggests that these neuromodulation techniques may positively influence neuroimmunoendocrine dysregulation, supporting their integration into comprehensive treatment protocols for obesity, metabolic syndrome, and pathogenetically related conditions.

Key words: obesity; metabolic syndrome; transcranial direct current stimulation; transcranial magnetic stimulation; transcranial electrical stimulation

For citation: Zanin S.A., Polyakov P.P., Storozhuk A.P. [Non-invasive brain stimulation for the treatment of obesity and metabolic syndrome]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2026; 24(2): 14–21 (in Russian)

DOI: 10.48612/path/2310-0435.2026.02.14-21

For correspondence: Zanin Sergey Alexandrovich, e-mail: zanin77@mail.ru

Financing. The study has no sponsorship.

Conflict of interests. Authors declare that there is no conflict of interest.

Received: 23.01.2026.

Введение

В 21 веке ожирение считается пандемией и рассматривается как нарушение тонко настроенной сети взаимодействий между нервной системой, иммунитетом, пищеварительным трактом, микробиомом, эндокринными клетками, жировой тканью разных типов и пр. [1]. Интеграция и регуляция данных взаимодействий осуществляется гипоталамусом, отвечающим за контроль аппетита, потребления пищи и энергетический гомеостаз [2, 3].

Нарушения метаболизма, которые возникают вследствие накопления жировой ткани, особенно висцеральной, приводят к развитию сопутствующих, порой фатальных патологий – гипертонической болезни, дислипидемии, атеросклерозу, заболеваниям печени, поджелудочной железы и т.д. [1, 4]. Механизмы, лежащие в основе этих патологий, многообразны и, среди прочего, включают усиление системного паравоспаления, глюкозо- и липотоксичность, оксидативный стресс [5]. Ожирение сопровождается значительной экспрессией интерлейкинов с преимущественно провоспалительным эффектом, таких как фактор некроза опухоли (ФНО) и интерлейкин 6 (ИЛ-6), с одновременным снижением концентрации преимущественно противовоспалительных цитокинов, например ИЛ-10 [6].

Способы лечения ожирения на современном этапе недостаточно эффективны, ввиду многофакторной, до конца не изученной природы возникновения и последствий избытка жировой ткани [5, 7]. Методы неинвазивной стимуляции головного мозга могут стать еще одним лечебным инструментом в данном контексте, дополняющим используемые подходы (диетотерапию, психотерапию, регулярную физическую активность, фармакотерапию и бариатрические вмешательства), так как непосредственно воздействуют на нервную систему, а также обладают плеiotропными, например противовоспалительными, эффектами [5, 8]. Среди подобных методов следует рассмотреть транскраниальную стимуляцию постоянным током (ТСПТ, transcranial direct current stimulation, tDCS), транскраниальную магнитную стимуляцию (ТМС, transcranial magnetic stimulation, TMS) и транскраниальную электростимуляцию (ТЭС-терапию) по методике В.П.Лебедева [5, 7, 9, 10].

Транскраниальная стимуляция постоянным током

ТСПТ – это использование постоянного слабого тока, который подается в головной мозг, через электроды, уста-

новленные транскраниально. Идея использования ТСПТ в комплексной терапии ожирения заключается, во-первых, в воздействии на «метаболический» и «гедонистический» контуры регуляции пищевого поведения [11]. Эта процедура модулирует возбудимость коры головного мозга, что показало эффективность в комплексном лечении многочисленных неврологических и психиатрических заболеваний [12]. Во-вторых, как было указано выше, неинвазивное воздействие на головной мозг может иметь благоприятные в контексте ожирения и метаболического синдрома плеiotропные эффекты, связанные с модуляцией системного паравоспаления, иммунного ответа, взаимодействия с микробиомом, работы желез внутренней секреции и пр. [13].

На данный момент достигнуты успехи в вопросах использования ТСПТ, но многие механизмы клинической эффективности метода остаются малоизученными. Как полагают исследователи, анодная ТСПТ (положительная стимуляция) вызывает деполяризацию; катодная ТСПТ (отрицательная стимуляция) вызывает гиперполяризацию, увеличивая или уменьшая возбудимость нейронов соответственно [4, 7].

Предполагается, что эффекты ТСПТ могут быть прямо связаны с областями коры головного мозга, которые задействованы в реализации исполнительных функций [4, 14]. Префронтальная дорсолатеральная кора (ПДК) отвечает за принятие решений, которые связаны с насыщением организма посредством когнитивного контроля [10]. Постоянное переключение вызывает нейроэндокринную дисфункцию, которая имеет некоторые нейрохимические характеристики, сходные с таковыми при наркотической зависимости. Так, пациенты с ожирением, у которых выполнена бариатрическая операция, имеют риск рецидива восстановления веса, что наблюдается при зависимости [15].

Эффективность ТСПТ исследовалась на экспериментальных моделях и в клинических работах. Стимуляция в данном режиме, в частности в проекции зоны префронтальной коры, снижает тягу к еде, снижает её потребление у грызунов, способствует снижению массы тела и содержания висцерального жира [4, 16, 17]. Другие потенциально благоприятные эффекты ТСПТ, которые были изучены в экспериментальных работах – это подавление продукции провоспалительных медиаторов (в частности, ИЛ-1β), снижение интенсивности паравоспаления в печени и мозге, уменьшение выраженности липотоксичности и эктопического отложения жира (в частности, стеатоза печени), модуляция иммунного ответа и взаимодействий с микробиомом [4, 7, 13].

Применение ТСПТ (анод/катод слева) на людях показали, что методика снижает тягу к еде у здоровых людей [4, 18], а ТСПТ, где использовали анодную стимуляцию правой ПДК, эффективно снижала проявления психогенного переедания и общее потребление пищи [19]. С другой стороны, трёх сеансов анодной ТСПТ левой префронтальной коры не было достаточно для немедленного влияния на потребление пищи или изменения веса; при этом 15 сеансов процедуры снижали голод и потребность в перекусах при ожирении [19, 20]. По данным метаанализа рандомизированных контролируемых испытаний, проведенного Y.A.Alhindi и соавт. (2023), применение ТПСТ сопровождалось снижением массы тела (на 0,82 кг; 95% доверительный интервал (ДИ) от 1,01 кг до 0,62 кг), но не индекса массы тела, и подавлением тяги к чрезмерному употреблению пищи [21].

Другие наблюдавшиеся у здоровых добровольцев эффекты ТПСП включают снижение уровня глюкозы крови вследствие усиления её инсулиннезависимой утилизации. Также ТПСП нормализует активность контринсулярных эффекторов, в частности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси [22, 23]. С этим же сопряжено стресс-лимитирующее воздействие метода. Данный эффект наряду с анальгетическим также может благоприятно влиять на системную нейроиммунноэндокринную дисрегуляцию, индуцируемую избытком жировой ткани и инсулинорезистентностью, включая автономную дисфункцию, гиперсенситизацию, ноципластическую и нейропатическую боль [24].

Таким образом, ТСПТ демонстрирует многообещающие, но всё ещё предварительные доказательства возможности её использования для лечения нарушений пищевого поведения, ожирения и сопряженных патологий, однако, методика не считается достаточно эффективной, чтобы быть самостоятельным подходом или первой линией клинического лечения. Возможно, она станет полезным дополнением к терапии, особенно для пациентов, которые не полностью реагируют на психотерапию или фармакологическое лечение. Следует подчеркнуть, однако, что необходимы дальнейшие исследования для выяснения долгосрочных эффектов ТСПТ, как на клиническом, так и на клеточном/тканевом уровнях [1].

Транскраниальная магнитная стимуляция

Транскраниальная магнитная стимуляция, основанная на законе электромагнитной индукции Фарадея, может генерировать электрическое поле посредством изменения магнитного [25]. ТМС – это, как показывают предварительные исследования, потенциальный метод модуляции работы нейронов, вовлеченных в регуляцию пищевого поведения, энергетического обмена и других процессов [5]. Три основных вида паттернов ТМС – это ТМС с одиночными импульсами, ТМС с парными импульсами и ритмическая ТМС (рТМС) [24]. Последняя в зависимости от частоты и характеристик пачек импульсов может возбуждать (на

пример, стандартная высокочастотная рТМС (≥ 5 Гц), ин-термитирующие тэта-вспышки) или тормозить (например, низкочастотная рТМС (≤ 1 Гц), постоянные тэта-вспышки) нейрональную активность [5, 25]. Помимо этого, можно классифицировать ТМС в зависимости от характеристик индуктора, обуславливающих «глубину проникновения» воздействия. При стандартной рТМС, использующей индуктор типа «восьмерки», данный показатель, как правило, не превышает 1,5 см (следовательно, в данном случае стимулируется кора мозга). Также существуют методики глубокой ТМС, при которой повышаются как «глубина» (до 5,5 см), так и область воздействия [5]. В настоящее время ТМС довольно широко используется для лечения различных неврологических и психиатрических болезней [26]. Её эффективность изучалась также в контексте ожирения и метаболического синдрома в экспериментальных и клинических работах.

ТМС эффективно воздействует на динамику массы тела и тягу к еде у грызунов, наряду с улучшением когнитивных функций, хотя точный механизм действия до сих пор неизвестен. У грызунов с моделью сахарного диабета 2-го типа воздействие магнитным полем способствует нормализации массы тела, снижает выраженность гипергликемии инсулинорезистентности, липотоксичности и оксидативного стресса [25, 27]. Также ТМС оказывает влияние на интенсивность паравоспаления, включая нейровоспаление при метаболических патологиях. В частности, рТМС подавляет гиперпродукцию ФНО, ИЛ-1 β , ИЛ-6 и значительно ослабляет М1-поляризацию микроглии в гиппокампе и префронтальной коре [27]. В клинических исследованиях ТМС также показывает многообещающие результаты. По данным метаанализа рандомизированных контролируемых испытаний, проведенного Y.A.Alhindi и соавт. (2023), применение данного метода сопряжено со снижением индекса массы тела ($-0,74$; 95% ДИ от $-1,17$ до $-0,31$) и тяги к чрезмерному употреблению пищи [21].

Таким образом, ТМС является перспективным подходом, который может изучаться в дальнейших работах, посвященных лечению нарушений пищевого поведения, ожирения и сопутствующих расстройств путем неинвазивной нейромодуляции [5].

Транскраниальная электростимуляция (ТЭС-терапия)

ТЭС-терапия, разработанная научным коллективом под руководством В.П.Лебедева, совмещает стимуляцию постоянным током (сходную с ТПСП) и импульсным током (с частотой импульсов 77,5 Гц), соотношение которых составляет 2:1 [9, 28]. В исследованиях В.П.Лебедева и соавт. внимание было преимущественно сосредоточено на влиянии ТЭС-терапии на антиноцицептивные структуры и медиаторы головного мозга, в первую очередь, опиоидергическую систему и продукцию β -эндорфина, а также дофамин-, серотонин- и ГАМК-опосредованные механизмы. Активацией данных структур объясняется антиноцицептивное дей-

ствие ТЭС-терапии, и с этим же, по-видимому, связаны многочисленные другие плейотропные эффекты, в частности противовоспалительный и стресс-лимитирующий, которые были описаны позднее [29 – 32]. Известно, что функции β-эндорфина напоминают скорее гормональные, нежели исключительно нейромедиаторные, и выходят далеко за рамки эндогенного обезболивания [33]. Например, одним из эффектов β-эндорфина является подавление продукции провоспалительных цитокинов и прочих процессов, регулируемых ядерным фактором транскрипции κB [33, 34]. Накопившиеся данные о благоприятных эффектах ТЭС-терапии при разных соматических патологиях позволили предположить перспективность её использования при ожирении, МС и смежных заболеваниях [35]. Косвенно о возможном влиянии ТЭС-терапии на патогенез этих нарушений свидетельствуют описанные выше результаты исследований других методов неинвазивной стимуляции мозга – ТСПТ и ТМС в данном контексте.

Применение ТЭС-терапии сопряжено со снижением количества висцерального жира, концентрации провоспалительных медиаторов (ФНО, ИЛ-19), влиянием на обмен липидов и адипокиновый баланс у крыс, получающих высококалорийную диету [36 – 38]. На моделях аллоксанового диабета у грызунов использование данного метода благоприятно действует на лабораторные показатели углеводного обмена и жизнедеятельность поврежденных β-клеток поджелудочной железы [39, 40].

В клиническом контексте применение ТЭС-терапии также было ассоциировано с положительными эффектами. В работе Н.Ю.Барыльник и соавт. (2012) показано благоприятное влияние данного вмешательства на результаты

психометрических опросов, вегетативные функции и выраженность оксидативного стресса у пациентов с ожирением и сопутствующими артериальной гипертензией и атеросклерозом [41]. У пациентов с сахарным диабетом 2-го типа использование ТЭС-терапии благоприятно действовало на лабораторные показатели углеводного обмена, массу тела и снижало потребность в пероральных сахароснижающих препаратах [42, 43].

Заключение

Применение неинвазивной стимуляции мозга потенциально способно ослаблять негативные последствия ожирения, МС и смежных нарушений. Данный эффект среди прочего может быть обусловлен влиянием на дисбаланс углеводного и липидного обмена, системное паравоспаление, нарушенную регуляцию пищевого поведения, гиперактивацию стресс-реализующих систем и другие патогенетические звенья этих нарушений.

Авторский вклад

Занин С.А. – разработка концепции, анализ и интерпретация данных, написание текста, оформление результатов, утверждение окончательного варианта публикации; Поляков П.П. – разработка концепции, анализ и интерпретация данных, написание текста, оформление результатов, утверждение окончательного варианта публикации; Сторожук А.П. – анализ и интерпретация данных, написание текста, оформление результатов, утверждение окончательного варианта публикации.

Список литературы

1. Piana K., Ziomber-Lisiak A., Surowka A.D., Czyzycki M., Wrobel P., Ruszczycki B., Talaga-Ćwiertnia K., Szczerbowska-Boruchowska M. Influence of electric transcranial direct current stimulation (tDCS) on the elemental and molecular composition of brain reward system structures in obese rats. *Neuroscience*. 2025; 591: 129 – 139. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2025.11.016
2. Ziomber A., Rokita E., Kaszuba-Zwoinska J., Romańska I., Michaluk J., Antkiewicz-Michaluk L. Repeated Transcranial Direct Current Stimulation Induces Behavioral, Metabolic and Neurochemical Effects in Rats on High-Calorie Diet. *Front. Behav. Neurosci.* 2018; 11: 262. DOI: 10.3389/fnbeh.2017.00262
3. Ziomber A., Surowka A.D., Antkiewicz-Michaluk L., Romanska I., Wrobel P., Szczerbowska-Boruchowska M. Combined brain Fe, Cu, Zn and neurometabolite analysis – a new methodology for unraveling the efficacy of transcranial direct current stimulation (tDCS) in appetite control. *Metallomics*. 2018; 10(3): 397 – 405. DOI: 10.1039/c7mt00329c
4. de Oliveira C., de Freitas J.S., Macedo I.C., Scarabelot V.L., Ströher R., Santos D.S., Souza A., Fregni F., Caumo W., Torres I.L.S. Transcranial direct current stimulation (tDCS) modulates biometric and inflammatory parameters and anxiety-like behavior in obese rats. *Neuropeptides*. 2019; 73: 1 – 10. DOI: 10.1016/j.npep.2018.09.006
5. Naomi R., Teoh S.H., Embong H., Balan S.S., Othman F., Bahari H., Yazid M.D. The Role of Oxidative Stress and Inflammation in Obesity and Its Impact on Cognitive Impairments-A Narrative Review. *Antioxidants (Basel)*. 2023; 12(5): 1071. DOI: 10.3390/antiox12051071
6. La Marra M., Monda A., Monda M., Villano I., Chieffi S., Ricci M., Sapuppo W., De Pascale G., Allocca S., Casillo M., Moscatelli F., Messina A., Monda V., Di Maio G. Transcranial Magnetic Stimulation: A New Possibility in Obesity Treatment. *Open Neurol. J.* 2024; 18: e1874205X309047. DOI: 10.2174/011874205X309047240503104533
7. Longo L., de Souza V.E.G., Stein D.J., de Freitas J.S., Uribe-Cruz C., Torres I.L.S., Álvares-da-Silva M.R. Transcranial direct current stimulation (tDCS) has beneficial effects on liver lipid accumulation and hepatic inflammatory parameters in obese rats. *Sci. Rep.* 2021; 11(1): 11037. DOI: 10.1038/s41598-021-90563-2
8. Forcano L., Castellano M., Cuenca-Royo A., Goday-Arno A., Pastor A., Langohr K., Castañer O., Pérez-Vega K.A., Serra C., Ruffini G., Alonso-Alonso M., Soria-Frisch A., de la Torre R. Prefrontal Cortex Neuromodulation Enhances Frontal Asymmetry and Reduces Caloric Intake in Patients with Morbid Obesity. *Obesity (Silver Spring)*. 2020; 28(4): 696 – 705. DOI: 10.1002/oby.22745
9. Lebedev V.P., Malygin A.V., Kovalevski A.V., Rychkova S.V., Sisoev V.N., Kropotov S.P., Krupitski E.M., Gerasimova L.I., Glukhov D.V., Kozłowski G.P. Devices for noninvasive transcranial electrostimulation of the brain endorphinergic system: application for improvement of human psycho-physiological status. *Artif. Organs*. 2002; 26(3): 248 – 251. DOI: 10.1046/j.1525-1594.2002.06944.x
10. Bolotova N.V., Filina N.Yu., Kurdiyan M.S., Kompaniets O.V., Garifulina L.M., Meshcheryakova I.Yu. Using transcranial magnetic

- therapy in combination with electrostimulation for correcting neuroendocrine-immune disorders in obese boys. *Russian Open Medical Journal*. 2022; 11(1): 111. DOI: 10.17116/kurort20219804162
11. Ghobadi-Azbari P., Malmir N., Vartanian M., Mahdavi-far-Khayati R., Robotmili S., Hadian V., Derafsheh S., Nitsche M.A., Nosratabadi M., Farhoudian A., Ekhtiari H. Transcranial direct current stimulation to modulate brain reactivity to food cues in overweight and obese adults: study protocol for a randomized controlled trial with fMRI (NeuroStim-Obesity). *Trials*. 2022; 23(1): 297. DOI: 10.1186/s13063-022-06234-8
 12. Kang J., Lee H., Yu S., Lee M., Kim H.J., Kwon R., Kim S., Fond G., Boyer L., Rahmati M., Koyanagi A., Smith L., Nehs C.J., Kim M.S., Sánchez G.F.L., Dragioti E., Kim T., Yon D.K. Effects and safety of transcranial direct current stimulation on multiple health outcomes: an umbrella review of randomized clinical trials. *Mol. Psychiatry*. 2024; 29(12): 3789 – 3801. DOI: 10.1038/s41380-024-02624-3
 13. Ziomber-Lisiak A., Talaga-Ćwiertnia K., Sroka-Oleksiak A., Surówka A.D., Juszczak K., Szczerbowska-Boruchowska M. Repetitive transcranial direct current stimulation modulates the brain-gut-microbiome axis in obese rodents. *Pharmacol. Rep.* 2022; 74(5): 871 – 889. DOI: 10.1007/s43440-022-00401-z
 14. Montenegro R.A., Okano A.H., Cunha F.A., Gurgel J.L., Fontes E.B., Farinatti P.T. Prefrontal cortex transcranial direct current stimulation associated with aerobic exercise change aspects of appetite sensation in overweight adults. *Appetite*. 2012; 58(1): 333 – 338. DOI: 10.1016/j.appet.2011.11.008
 15. Goldman R.L., Borckardt J.J., Frohman H.A., O'Neil P.M., Madan A., Campbell L.K., Budak A., George M.S. Prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS) temporarily reduces food cravings and increases the self-reported ability to resist food in adults with frequent food craving. *Appetite*. 2011; 56(3): 741 – 746. DOI: 10.1016/j.appet.2011.02.013
 16. Macedo I.C., de Oliveira C., Vercelino R., Souza A., Laste G., Medeiros L.F., Scarabelot V.L., Nunes E.A., Kuo J., Fregni F., Caumo W., Torres I.L.S. Repeated transcranial direct current stimulation reduces food craving in Wistar rats. *Appetite*. 2016; 103: 29 – 37. DOI: 10.1016/j.appet.2016.03.014
 17. Surowka A.D., Ziomber A., Czyzycki M., Migliori A., Kasper K., Szczerbowska-Boruchowska M. Molecular and elemental effects underlying the biochemical action of transcranial direct current stimulation (tDCS) in appetite control. *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2018; 195: 199 – 209. DOI: 10.1016/j.saa.2018.01.061
 18. Lapenta O.M., Sierve K.D., de Macedo E.C., Fregni F., Boggio P.S. Transcranial direct current stimulation modulates ERP-indexed inhibitory control and reduces food consumption. *Appetite*. 2014; 83: 42 – 48. DOI: 10.1016/j.appet.2014.08.005
 19. Chmiel J., Kurpas D., Rybakowski F., Leszek J. The Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) in Binge Eating Disorder (BED)-Review and Insight into the Mechanisms of Action. *Nutrients*. 2024; 16(10): 1521. DOI: 10.3390/nu16101521
 20. Heintz S., Reinhardt M., Piaggi P., Weise C.M., Diaz E., Stinson E.J., Venti C., Votruba S.B., Wassermann E.M., Alonso-Alonso M., Krakoff J., Gluck M.E. Neuromodulation directed at the prefrontal cortex of subjects with obesity reduces snack food intake and hunger in a randomized trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 2017; 106(6): 1347 – 1357. DOI: 10.3945/ajcn.117.158089
 21. Alhindi Y.A., Khalifa N., Al-Khyatt W., Idris I. The use of non-invasive brain stimulation techniques to reduce body weight and food cravings: A systematic review and meta-analysis. *Clin. Obes.* 2023; 13(6): e12611. DOI: 10.1111/cob.12611
 22. Kistenmacher A., Manneck S., Wardzinski E.K., Martens J.C., Gohla G., Melchert U.H., Jauch-Chara K., Oltmanns K.M. Persistent blood glucose reduction upon repeated transcranial electric stimulation in men. *Brain Stimul.* 2017; 10(4): 780 – 786. DOI: 10.1016/j.brs.2017.03.011
 23. Wardzinski E.K., Friedrichsen L., Dannenberger S., Kistenmacher A., Melchert U.H., Jauch-Chara K., Oltmanns K.M. Double transcranial direct current stimulation of the brain increases cerebral energy levels and systemic glucose tolerance in men. *J. Neuroendocrinol.* 2019; 31(4): e12688. DOI: 10.1111/jne.12688
 24. Ferreira C.M., de Carvalho C.D., Gomes R., Bonifácio de Assis E.D., Andrade S.M. Transcranial Direct Current Stimulation and Mirror Therapy for Neuropathic Pain After Brachial Plexus Avulsion: A Randomized, Double-Blind, Controlled Pilot Study. *Front. Neurol.* 2020; 11: 568261. DOI: 10.3389/fneur.2020.568261
 25. Chen X., Wang R., Wang X., Liu M., Liu Z., Yin T., Li C. Repetitive transcranial magnetic stimulation elicits weight loss and improved insulin sensitivity in type 2 diabetic rats. *Animal Model. Exp. Med.* 2025; 8(4): 739 – 749. DOI: 10.1002/ame2.12483
 26. Sabé M., Hyde J., Cramer C., Eberhard A., Crippa A., Brunoni A.R., Aleman A., Kaiser S., Baldwin D.S., Garner M., Sentissi O., Fiedorowicz J.G., Brandt V., Cortese S., Solmi M. Transcranial Magnetic Stimulation and Transcranial Direct Current Stimulation Across Mental Disorders: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis. *JAMA Netw. Open*. 2024; 7(5): e2412616. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2024.12616
 27. Jin K., Chen B., Han S., Dong J., Cheng S., Qin B., Lu J. Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) Improves Cognitive Impairment and Intestinal Microecological Dysfunction Induced by High-Fat Diet in Rats. *Research (Wash. D. C.)*. 2024; 7: 0384. DOI: 10.34133/research.0384
 28. Zaghi S., Acar M., Hultgren B., Boggio P.S., Fregni F. Noninvasive brain stimulation with low-intensity electrical currents: putative mechanisms of action for direct and alternating current stimulation. *Neuroscientist*. 2010; 16(3): 285 – 307. DOI: 10.1177/1073858409336227
 29. Токарев А.Р., Паньшина М.В., Хадарцева К.А., Хабаров С.В. Сочетанное применение транскраниальной электростимуляции в восстановительной и спортивной медицине *Клиническая медицина и фармакология*. 2019; 5(2): 48 – 52. DOI: 10.12737/article_5d6620b28bd391.73091301
 30. Bikson M., Esmaeilpour Z., Adair D., Kronberg G., Tyler W.J., Antal A., Datta A., Sabel B.A., Nitsche M.A., Loo C., Edwards D., Ekhtiari H., Knotkova H., Woods A.J., Hampstead B.M., Badran B.W., Peterchev A.V. Transcranial electrical stimulation nomenclature. *Brain Stimul.* 2019; 12(6): 1349 – 1366. DOI: 10.1016/j.brs.2019.07.010
 31. Занин С.А., Каде А.Х., Кадомцев Д.В., Пасечникова Е.А., Голубев В.Г., Плотникова В.В., Шаров М.-Д.А., Азаркин Е.В., Кочарян В.Э. ТЭС-терапия. Современное состояние проблемы. *Современные проблемы науки и образования*. 2017; 1: 58.
 32. Трофименко А.И., Каде А.Х., Лебедев В.П., Занин С.А., Туровая А.Ю., Вчерашнюк С.П., Алсаямова С.О., Левичкин В.Д., Порублев И.В. Влияние ТЭС-терапии на исходы острого адреналинового повреждения сердца у крыс. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2013; 5(140): 174 – 180.
 33. Pilozi A., Carro C., Huang X. Roles of β -Endorphin in Stress, Behavior, Neuroinflammation, and Brain Energy Metabolism. *Int. J. Mol. Sci.* 2020; 22(1): 338. DOI: 10.3390/ijms22010338
 34. Каркищенко В.Н., Помыткин И.А., Скворцова В.И. Опиоид-эргическая система иммунных клеток: новая фармакологическая мишень в терапии «цитокинового шторма». *Биомедицина*. 2020; 16(4): 14 – 23. DOI: 10.33647/2074-5982-16-4-14-23
 35. Болотова Н.В., Филина Н.Ю., Черединова К.А., Логачева О.А., Тимофеева С.В., Николаева Н.В., Новикова Е.П. Использование современных методов активации мозговых функций у пациентов с ожирением (обзор литературы). *Вопросы куртологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2024; 101(6): 54 – 61. DOI: 10.17116/kurort202410106154
 36. Чабанец Е.А., Каде А.Х., Цымбалов О.В., Трофименко А.И., Ким Г.Г. Эффекты транскраниальной электростимуляции на системное воспа-

- ление при высококалорийной диете, обогащенной фруктозой и жиром. *Вестник СурГУ. Медицина*. 2023; 16(2): 87 – 94. DOI: 10.35266/2304-9448-2023-2-87-94
37. Чабанец Е.А., Каде А.Х., Трофименко А.И., Ким Г.Г., Крутова В.А. Антиатерогенный потенциал транскраниальной электростимуляции при высококалорийной диете, обогащенной фруктозой и жиром: экспериментальное рандомизированное исследование. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2023; 30(3): 65 – 75. DOI: 10.25207/1608-6228-2023-30-3-65-75
 38. Занин С.А., Поляков П.П., Цымбалов О.В. Влияние транскраниальной электростимуляции на концентрацию адипонектина у животных с моделью метаболического синдрома и малоподвижного образа жизни. *Человек и его здоровье*. 2025; 28(2): 45 – 62. DOI: 10.21626/vestnik/2025-2/06
 39. Lebedev V.P., Bilichenko S.V., Malygin A.V., Nechiporenko S.P., Kolbasov S.E., Melikhova M.V. Transcranial stimulation normalizes blood sugar levels in alloxan diabetes in rats. *Neurosci. Behav. Physiol.* 2006; 36(1): 35 – 37. DOI: 10.1007/s11055-005-0160-8
 40. Lebedev V.P., Bilichenko S.V., Ordyan N.E., Pivina S.G., Nechiporenko S.P., Puzyrev A.A., Mikheeva E.A., Kubacheva K.K. Transcranial electrostimulation activates reparative regeneration and the insulin-producing function of pancreatic B-cells in alloxan diabetes in rats. *Neurosci. Behav. Physiol.* 2007; 37(4): 341 – 347. DOI: 10.1007/s11055-007-0019-2
 41. Барыльник Ю.Б., Болотова Н.В., Левит С.В., Райгородский Ю.М., Черевашенко Л.А., Черевашенко И.А. Психические, вегетативные и нейрофизиологические нарушения у больных с ожирением и их коррекция с помощью транскраниальной электростимуляции. *Журнал неврологии и психиатрии имени С.С. Корсакова*. 2012; 112(9): 52 – 56.
 42. Рогова Н.В., Лукасик О.В. Влияние транскраниальной электростимуляции эндорфинергических структур мозга на уровень инсулина у больных сахарным диабетом 2-го типа. *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. 2007; 22(2): 81 – 85.
 43. Токарева С.В., Прилепа С.А., Купеев Р.В. Перспективы применения транскраниальной электростимуляции в лечении сахарного диабета 2 ст. с ожирением (краткое сообщение). *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2021; 15(2): 6 – 9. DOI: 10.24412/2075-4094-2021-2-1-1

References

1. Piana K., Ziomber-Lisiak A., Surowka A.D., Czyzycki M., Wrobel P., Ruszczycki B., Talaga-Ćwiertnia K., Szczerbowska-Boruchowska M. Influence of electric transcranial direct current stimulation (tDCS) on the elemental and molecular composition of brain reward system structures in obese rats. *Neuroscience*. 2025; 591: 129 – 139. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2025.11.016
2. Ziomber A., Rokita E., Kaszuba-Zwoinska J., Romańska I., Michaluk J., Antkiewicz-Michaluk L. Repeated Transcranial Direct Current Stimulation Induces Behavioral, Metabolic and Neurochemical Effects in Rats on High-Calorie Diet. *Front. Behav. Neurosci.* 2018; 11: 262. DOI: 10.3389/fnbeh.2017.00262
3. Ziomber A., Surowka A.D., Antkiewicz-Michaluk L., Romanska I., Wrobel P., Szczerbowska-Boruchowska M. Combined brain Fe, Cu, Zn and neurometabolite analysis – a new methodology for unraveling the efficacy of transcranial direct current stimulation (tDCS) in appetite control. *Metallomics*. 2018; 10(3): 397 – 405. DOI: 10.1039/c7mt00329c
4. de Oliveira C., de Freitas J.S., Macedo I.C., Scarabelot V.L., Ströher R., Santos D.S., Souza A., Fregni F., Caumo W., Torres I.L.S. Transcranial direct current stimulation (tDCS) modulates biometric and inflammatory parameters and anxiety-like behavior in obese rats. *Neuropeptides*. 2019; 73: 1 – 10. DOI: 10.1016/j.npep.2018.09.006
5. Naomi R., Teoh S.H., Embong H., Balan S.S., Othman F., Bahari H., Yazid M.D. The Role of Oxidative Stress and Inflammation in Obesity and Its Impact on Cognitive Impairments-A Narrative Review. *Antioxidants (Basel)*. 2023; 12(5): 1071. DOI: 10.3390/antiox12051071
6. La Marra M., Monda A., Monda M., Villano I., Chieffi S., Ricci M., Sapuppo W., De Pascale G., Allocca S., Casillo M., Moscatelli F., Messina A., Monda V., Di Maio G. Transcranial Magnetic Stimulation: A New Possibility in Obesity Treatment. *Open Neurol. J.* 2024; 18: e1874205X309047. DOI: 10.2174/011874205X309047240503104533
7. Longo L., de Souza V.E.G., Stein D.J., de Freitas J.S., Uribe-Cruz C., Torres I.L.S., Álvares-da-Silva M.R. Transcranial direct current stimulation (tDCS) has beneficial effects on liver lipid accumulation and hepatic inflammatory parameters in obese rats. *Sci. Rep.* 2021; 11(1): 11037. DOI: 10.1038/s41598-021-90563-2
8. Forcano L., Castellano M., Cuenca-Royo A., Goday-Arno A., Pastor A., Langohr K., Castañer O., Pérez-Vega K.A., Serra C., Ruffini G., Alonso-Alonso M., Soria-Frisch A., de la Torre R. Prefrontal Cortex Neuromodulation Enhances Frontal Asymmetry and Reduces Caloric Intake in Patients with Morbid Obesity. *Obesity (Silver Spring)*. 2020; 28(4): 696 – 705. DOI: 10.1002/oby.22745
9. Lebedev V.P., Malygin A.V., Kovalevski A.V., Rychkova S.V., Sisoiev V.N., Kropotov S.P., Krupitski E.M., Gerasimova L.I., Glukhov D.V., Kozłowski G.P. Devices for noninvasive transcranial electrostimulation of the brain endorphinergic system: application for improvement of human psycho-physiological status. *Artif. Organs*. 2002; 26(3): 248 – 251. DOI: 10.1046/j.1525-1594.2002.06944.x
10. Bolotova N.V., Filina N.Yu., Kurdiyan M.S., Kompaniets O.V., Garifulina L.M., Meshcheryakova I.Yu. Using transcranial magnetic therapy in combination with electrostimulation for correcting neuroendocrine-immune disorders in obese boys. *Russian Open Medical Journal*. 2022; 11(1): 111. DOI: 10.17116/kurort2019804162
11. Ghobadi-Azbari P., Malmir N., Vartanian M., MahdaviFar-Khayati R., Robatmili S., Hadian V., Derafsheh S., Nitsche M.A., Nosratabadi M., Farhoudian A., Ekhtiari H. Transcranial direct current stimulation to modulate brain reactivity to food cues in overweight and obese adults: study protocol for a randomized controlled trial with fMRI (NeuroStim-Obesity). *Trials*. 2022; 23(1): 297. DOI: 10.1186/s13063-022-06234-8
12. Kang J., Lee H., Yu S., Lee M., Kim H.J., Kwon R., Kim S., Fond G., Boyer L., Rahmati M., Koyanagi A., Smith L., Nehs C.J., Kim M.S., Sánchez G.F.L., Dragioti E., Kim T., Yon D.K. Effects and safety of transcranial direct current stimulation on multiple health outcomes: an umbrella review of randomized clinical trials. *Mol. Psychiatry*. 2024; 29(12): 3789 – 3801. DOI: 10.1038/s41380-024-02624-3
13. Ziomber-Lisiak A., Talaga-Ćwiertnia K., Sroka-Oleksiak A., Surówka A.D., Juszczak K., Szczerbowska-Boruchowska M. Repetitive transcranial direct current stimulation modulates the brain-gut-microbiome axis in obese rodents. *Pharmacol. Rep.* 2022; 74(5): 871 – 889. DOI: 10.1007/s43440-022-00401-z
14. Montenegro R.A., Okano A.H., Cunha F.A., Gurgel J.L., Fontes E.B., Farinatti P.T. Prefrontal cortex transcranial direct current stimulation associated with aerobic exercise change aspects of appetite sensation in overweight adults. *Appetite*. 2012; 58(1): 333 – 338. DOI: 10.1016/j.appet.2011.11.008
15. Goldman R.L., Borckardt J.J., Frohman H.A., O’Neil P.M., Madan A., Campbell L.K., Budak A., George M.S. Prefrontal cortex transcranial direct

- current stimulation (tDCS) temporarily reduces food cravings and increases the self-reported ability to resist food in adults with frequent food craving. *Appetite*. 2011; 56(3): 741 – 746. DOI: 10.1016/j.appet.2011.02.013
16. Macedo I.C., de Oliveira C., Vercelino R., Souza A., Laste G., Medeiros L.F., Scarabelot V.L., Nunes E.A., Kuo J., Fregni F., Caumo W., Torres I.L.S. Repeated transcranial direct current stimulation reduces food craving in Wistar rats. *Appetite*. 2016; 103: 29 – 37. DOI: 10.1016/j.appet.2016.03.014
 17. Surowka A.D., Ziomber A., Czyzycki M., Migliori A., Kasper K., Szczerbowska-Boruchowska M. Molecular and elemental effects underlying the biochemical action of transcranial direct current stimulation (tDCS) in appetite control. *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2018; 195: 199 – 209. DOI: 10.1016/j.saa.2018.01.061
 18. Lapenta O.M., Sierve K.D., de Macedo E.C., Fregni F., Boggio P.S. Transcranial direct current stimulation modulates ERP-indexed inhibitory control and reduces food consumption. *Appetite*. 2014; 83: 42 – 48. DOI: 10.1016/j.appet.2014.08.005
 19. Chmiel J., Kurpas D., Rybakowski F., Leszek J. The Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) in Binge Eating Disorder (BED)-Review and Insight into the Mechanisms of Action. *Nutrients*. 2024; 16(10): 1521. DOI: 10.3390/nu16101521
 20. Heinitz S., Reinhardt M., Piaggi P., Weise C.M., Diaz E., Stinson E.J., Venti C., Votruba S.B., Wassermann E.M., Alonso-Alonso M., Krakoff J., Gluck M.E. Neuromodulation directed at the prefrontal cortex of subjects with obesity reduces snack food intake and hunger in a randomized trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 2017; 106(6): 1347 – 1357. DOI: 10.3945/ajcn.117.158089
 21. Alhindi Y.A., Khalifa N., Al-Khyatt W., Idris I. The use of non-invasive brain stimulation techniques to reduce body weight and food cravings: A systematic review and meta-analysis. *Clin. Obes.* 2023; 13(6): e12611. DOI: 10.1111/cob.12611
 22. Kistenmacher A., Manneck S., Wardzinski E.K., Martens J.C., Gohla G., Melchert U.H., Jauch-Chara K., Oltmanns K.M. Persistent blood glucose reduction upon repeated transcranial electric stimulation in men. *Brain Stimul.* 2017; 10(4): 780 – 786. DOI: 10.1016/j.brs.2017.03.011
 23. Wardzinski E.K., Friedrichsen L., Dannenberger S., Kistenmacher A., Melchert U.H., Jauch-Chara K., Oltmanns K.M. Double transcranial direct current stimulation of the brain increases cerebral energy levels and systemic glucose tolerance in men. *J. Neuroendocrinol.* 2019; 31(4): e12688. DOI: 10.1111/jne.12688
 24. Ferreira C.M., de Carvalho C.D., Gomes R., Bonifácio de Assis E.D., Andrade S.M. Transcranial Direct Current Stimulation and Mirror Therapy for Neuropathic Pain After Brachial Plexus Avulsion: A Randomized, Double-Blind, Controlled Pilot Study. *Front. Neurol.* 2020; 11: 568261. DOI: 10.3389/fneur.2020.568261
 25. Chen X., Wang R., Wang X., Liu M., Liu Z., Yin T., Li C. Repetitive transcranial magnetic stimulation elicits weight loss and improved insulin sensitivity in type 2 diabetic rats. *Animal Model. Exp. Med.* 2025; 8(4): 739 – 749. DOI: 10.1002/ame2.12483
 26. Sabé M., Hyde J., Cramer C., Eberhard A., Crippa A., Brunoni A.R., Aleman A., Kaiser S., Baldwin D.S., Garner M., Sentissi O., Fiedorowicz J.G., Brandt V., Cortese S., Solmi M. Transcranial Magnetic Stimulation and Transcranial Direct Current Stimulation Across Mental Disorders: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis. *JAMA Netw. Open*. 2024; 7(5): e2412616. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2024.12616
 27. Jin K., Chen B., Han S., Dong J., Cheng S., Qin B., Lu J. Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) Improves Cognitive Impairment and Intestinal Microecological Dysfunction Induced by High-Fat Diet in Rats. *Research (Wash. D. C.)*. 2024; 7: 0384. DOI: 10.34133/research.0384
 28. Zaghi S., Acar M., Hultgren B., Boggio P.S., Fregni F. Noninvasive brain stimulation with low-intensity electrical currents: putative mechanisms of action for direct and alternating current stimulation. *Neuroscientist*. 2010; 16(3): 285 – 307. DOI: 10.1177/1073858409336227
 29. Tokarev A.R., Panshina M.V., Khadartseva K.A., Khabarov S.V. [The combined use of transcranial electro-stimulation in rehabilitation and sports medicine]. *Klinicheskaya medicina i farmakologiya [Clinical medicine and pharmacology]*. 2019; 5(2): 48 – 52. DOI: 10.12737/article_5d6620b28bd391.73091301 (in Russian)
 30. Bikson M., Esmaeilpour Z., Adair D., Kronberg G., Tyler W.J., Antal A., Datta A., Sabel B.A., Nitsche M.A., Loo C., Edwards D., Ekhtiari H., Knotkova H., Woods A.J., Hampstead B.M., Badran B.W., Peterchev A.V. Transcranial electrical stimulation nomenclature. *Brain Stimul.* 2019; 12(6): 1349 – 1366. DOI: 10.1016/j.brs.2019.07.010
 31. Zanin S.A., Kade A.H., Kadomcev D.V., Pasechnikova E.A., Golubev V.G., Plotnikova V.V., Sharov M.-D.A., Azarkin E.V., Kocharyan V.E. [TEBS-therapy. current state of the problem]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]*. 2017; 1: 58. (in Russian)
 32. Trofimenko A.I., Kade A.Kh., Lebedev V.P., Zanin S.A., Turovaya A.Yu., Vcherachnyuk S.P., Apsalyamova S.O., Levichkin V.D., Porublev I.V. [Influence of tes-therapy on outcomes of sharp adrenergic damage of heart at rats]. *Kubanskiy nauchnyy meditsinskiy vestnik [Kuban Scientific Medical Bulletin]*. 2013; 5(140): 174 – 180. (in Russian)
 33. Pillozzi A., Carro C., Huang X. Roles of β -Endorphin in Stress, Behavior, Neuroinflammation, and Brain Energy Metabolism. *Int. J. Mol. Sci.* 2020; 22(1): 338. DOI: 10.3390/ijms22010338
 34. Karkischenko V.N., Pomytkin I.A., Skvortsova V.I. [The opioidergic system of immune cells: a new pharmacological target in the therapy of « cytokine storm»]. *Biomedicina [Journal Biomed]*. 2020; 16(4): 14 – 23. DOI: 10.33647/2074-5982-16-4-14-23 (in Russian)
 35. Bolotova N.V., Filina N.Yu., Cherednikova K.A., Logacheva O.A., Timofeeva S.V., Nikolaeva N.V., Novikova E.P. [Application of modern methods for activation of brain functions in obese patients (literature review)]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury [Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy]*. 2024; 101(6): 54 – 61. DOI: 10.17116/kurort202410106154 (in Russian)
 36. Chabanets E.A., Kade A.Kh., Tsymbalov O.V., Trofimenko A.L., Kim G.G. [Effects of transcranial electrical therapy on systemic inflammation in a high-fat fructose diet]. *Vestnik SurGU. Meditsina [Bulletin of Surgut State University. The Medicine]*. 2023; 16(2): 87 – 94. DOI: 10.35266/2304-9448-2023-2-87-94 (in Russian)
 37. Chabanets E.A., Kade A.Kh., Trofimenko A.I., Kim G.G., Krutova V.A. [Antitherogenic Potential of Transcranial Electrical Stimulation in a High-Fructose/High-Fat Diet: Experimental Randomized Trial]. *Kubanskiy nauchnyy meditsinskiy vestnik [Kuban Scientific Medical Bulletin]*. 2023; 30(3): 65-75. DOI: 10.25207/1608-6228-2023-30-3-65-75 (in Russian)
 38. Zanin S.A., Polyakov P.P., Tsymbalov O.V. [Effect of transcranial electrical stimulation on adiponectin concentration in animals with a model of metabolic syndrome and sedentary lifestyle]. *Chelovek i ego zdorov'e [Humans and their health]*. 2025; 28(2): 45-62. DOI: 10.21626/vestnik/2025-2/06 (in Russian)
 39. Lebedev V.P., Bilichenko S.V., Malygin A.V., Nechiporenko S.P., Kolbasov S.E., Melikhova M.V. Transcranial stimulation normalizes blood sugar levels in alloxan diabetes in rats. *Neurosci. Behav. Physiol.* 2006; 36(1): 35-7. DOI: 10.1007/s11055-005-0160-8
 40. Lebedev V.P., Bilichenko S.V., Ordyan N.E., Pivina S.G., Nechiporenko S.P., Puzyrev A.A., Mikheeva E.A., Kubacheva K.K. Transcranial electrostimulation activates reparative regeneration and the insulin-producing function of pancreatic B-cells in alloxan diabetes in rats. *Neurosci. Behav. Physiol.* 2007; 37(4): 341-7. DOI: 10.1007/s11055-007-0019-2

-
41. Baryl'nik Yu.B., Bolotova N.V., Levit S.V., Raigorodsky Yu.M., Cherevashchenko L.A., Cherevashchenko I.A. [Mental, autonomic and neurophysiological disturbances in patients with obesity and their treatment with transcranial stimulation] *Zhurnal nevrologii i psikiatrii imeni S.S.Korsakova* [S.S.Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry]. 2012; 112(9): 52 – 56. (in Russian)
42. Rogova N.V., Lukasik O.V. [Effect of transcranial electrical stimulation on the blood insulin level in patients suffering from diabetes mellitus]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta* [Journal of Volgograd State Medical University]. 2007; 22(2): 81 – 85. (in Russian)
43. Tokareva S.V., Prilepa S.A., Kupeev R.V. [Prospects for the application of transcranial electrical stimulation in treatment of diabetes mellitus stage 2 with obesity (brief report)]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoye izdaniye* [Journal of New Medical Technologies. eEdition]. 2021; 15(2): 6 – 9. DOI: 10.24412/2075-4094-2021-2-1-1 (in Russian)

Сведения об авторах:

Занин Сергей Александрович — кандидат медицинских наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой общей и клинической патологической физиологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства Здравоохранения Российской Федерации; <https://orcid.org/0000-0002-5667-0623>

Поляков Павел Павлович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей и клинической патологической физиологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства Здравоохранения Российской Федерации; <https://orcid.org/0000-0002-9532-0626>

Сторожук Александр Петрович — доктор медицинских наук, профессор кафедры фундаментальной и клинической биохимии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства Здравоохранения Российской Федерации; <https://orcid.org/0000-0003-1843-6518>