

ТРАНСЛИНГВАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТИМУЛЯЦИЯ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЧЕВЫХ ФУНКЦИЙ В НЕВРОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ (НАУЧНЫЙ ОБЗОР)

Войтенков В.Б.^{1,2}, Самойлова И.Г.¹, Скрипченко Е.Ю.^{1,3}, Голубева А.В.¹, Ирикова М.А.¹, Васильева Ю.П.¹, Клишкин А.В.¹

¹ Детский научно-клинический центр инфекционных болезней ФМБА России, ул. Профессора Попова, д. 9, Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация

² Академия постдипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Волоколамское шоссе, д. 91, Москва, 125371, Российская Федерация

³ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Литовская ул., д. 2, Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация

Резюме

Введение. Реабилитация речевых функций предполагает использование мультидисциплинарного подхода, включающего фармакотерапию, логопедическую коррекцию и, при необходимости, применение инновационных технологий.

Цель. Проанализировать доступные данные о транслингвальной стимуляции.

Материалы и методы. Применялись поисковые системы РИНЦ, Pubmed и Google scholar.

Результаты. По результатам поиска установлено, что транслингвальная стимуляция является перспективным методом, позволяющим ускорять процессы нейропластичности для восстановления утраченных функций. Транслингвальная стимуляция зарекомендовала себя как перспективное направление в области нейрореабилитации. Хотя механизмы действия транслингвальной стимуляции и оптимальные параметры стимуляции до конца не изучены, доказательства эффективности и безопасности данного метода уже получены в комплексных программах реабилитации цереброваскулярных, нейродегенеративных заболеваний, детского церебрального паралича.

Заключение. В статье представлен литературный обзор международного опыта применения транслингвальной стимуляции при различных неврологических нозологиях. Проведен анализ отечественных и зарубежных публикаций на данную тему, представлены области применения транслингвальной стимуляции в неврологической практике.

Ключевые слова: транслингвальная стимуляция, нейрореабилитация, медицинская реабилитация, нейропластичность, речевые нарушения.

Войтенков В.Б., Самойлова И.Г., Скрипченко Е.Ю., Голубева А.В., Ирикова М.А., Васильева Ю.П., Клишкин А.В. Транслингвальная электрическая стимуляция: международный опыт восстановления речевых функций в неврологической практике (научный обзор) // Физическая и реабилитационная медицина. – 2024. – Т. 6. – № 3. – С. 142-151. DOI: 10.26211/2658-4522-2024-6-3-142-151.

Voitenkov VB, Samoilova IG, Skripchenko EY, Golubeva AV, Irikova MA, Vasilyeva YP, Klimkin AV. Translingvalnaya elektricheskaya stimulyatsiya: mezhdunarodnii opit vosstanovleniya rechevikh funktsii v nevrologicheskoi praktike (nauchnii obzor) [Translingual electrical stimulation: the international experience in restoration of speech functions in neurological practice (research review)]. Fizicheskaya i reabilitacionnaya medicina [Physical and Rehabilitation Medicine]. 2024; 6(3):142-151. DOI: 10.26211/2658-4522-2024-6-3-142-151. (In Russian).

Владислав Борисович Войтенков / Vladislav B. Voitenkov; e-mail: vlad203@inbox.ru

TRANSLINGUAL ELECTRICAL STIMULATION: THE INTERNATIONAL EXPERIENCE IN RESTORATION OF SPEECH FUNCTIONS IN NEUROLOGICAL PRACTICE (RESEARCH REVIEW)

Voitenkov VB^{1,2}, Samoilova IG¹, Skripchenko EY^{1,3}, Golubeva AV¹, Irikova MA¹, Vasilyeva YP¹, Klimkin AV¹

¹ Children's Scientific and Clinical Center of Infectious Diseases of the FMBA,
9 Professora Popova Street, 197022 St. Petersburg, Russian Federation

² Academy of Postgraduate Education of FSBF FRCC of the FMBA,
91 Volokolamskoye Hwy, 125371 Moscow, Russian Federation

³ St. Petersburg State Pediatric Medical University,
2 Litovskaya Street, 194100 St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

Introduction. Rehabilitation of speech functions requires multidisciplinary approach, including pharmacotherapy, speech therapy correction and, if necessary, using of innovative technologies.

Aim. Analyze available data on translingual stimulation.

Materials and methods. Databases RSCI, Pubmed and Google scholar were used.

Results. Based on the search results, it was established that translingual stimulation is a promising method that allows accelerating the processes of neuroplasticity to restore lost functions. Translingual stimulation has established itself as a promising direction in the field of neurorehabilitation. Although the mechanisms of action of translingual stimulation and the optimal parameters of stimulation have not been fully studied, evidence of the effectiveness and safety of this method has already been obtained in complex rehabilitation programs for cerebrovascular, neurodegenerative diseases, and cerebral palsy.

Conclusion. Our article presents a literature review of international experience in the use of translingual stimulation for various neurological conditions. An analysis of domestic and foreign publications on this topic was carried out, and the areas of application of translingual stimulation in neurological practice were presented.

Keywords: translingual stimulation, neurorehabilitation, medical rehabilitation, neuroplasticity, speech disorders.

Publication ethics. The submitted article was not previously published. All borrowings are correct.

Conflict of interest. There is no information about a conflict of interest.

Source of financing. The study had no sponsorship.

Received: 24.05.2024

Accepted for publication: 15.09.2024

Введение / Introduction

Речевые нарушения в неврологической практике представляют собой широкий спектр нарушений, связанных с производством и пониманием речи, при этом их тяжесть может варьироваться от легких изменений до полной потери речевой функции. К основным причинам речевых нарушений относятся цереброваскулярные (инсульты), травмы головного мозга, нейродегенеративные заболевания (например, болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона), инфекционные процессы, травмы и опухоли центральной нервной системы (ЦНС) [1, 2].

Для адекватной диагностики и терапии речевых нарушений необходимо глубокое понимание анатомии и физиологии речевых и языковых путей, а также механизмов взаимодействия между различными областями головного мозга.

Реабилитация речевых функций предполагает использование мультидисциплинарного подхода, включающего фармакотерапию, логопедическую коррекцию и, при необходимости, применение

инновационных технологий, к которым относится транслингвальная электрическая стимуляция.

Цель / Aim

Цель обзора – провести анализ доступных данных о транслингвальной стимуляции (ТЛС).

Материалы и методы / Materials and methods

Применялся поиск научных публикаций в поисковых системах РИНЦ, Pubmed и Google scholar.

Результаты / Results

Транслингвальная стимуляция представляет собой инновационный неинвазивный метод нейромодуляции, который основан на поверхностной электрической стимуляции ядер лицевого и тройничного нервов опосредованно через рецепторы передней части дорсальной поверхности языка. Известно, что при этом также происходит стимуляция языкоглоточного, блуждающего и подъязычного нервов [3]. Метод основан на особенностях строения языка [4, 5], обладающего высокой плотностью рецепторов, соединяемых трактами

с корковыми и подкорковыми центрами головного мозга.

ТЛС реализуется через электроды [5], которые генерируют слабые электрические стимулы. Пациент помещает подобное устройство в рот, где оно воздействует на языковые рецепторы, при этом возникающий поток нервных импульсов устремляется к стволу мозга и мозжечку и увеличивает функциональную активность этих структур [6], а затем усиливает нейронную передачу по трактам, ассоциированным с регуляторными центрами головного мозга. За 20-минутную процедуру ТЛС на поверхность языка поступает приблизительно 27 миллионов электрических импульсов, распространяющихся по различным отделам ЦНС и активизирующих их [7]. Согласно литературным данным, такой эффект может способствовать активации механизмов нейропластичности, модуляции межполушарных взаимодействий [8] и, в конечном итоге, приводить к частичному или полному восстановлению нарушенных в результате неврологических повреждений функций.

Морфологической основой применения метода ТЛС является нейропластичность – ключевой нейробиологический механизм, который обеспечивает функциональное восстановление после церебральных травм различной этиологии [9]. Этот процесс является динамическим, он лежит в основе нормального развития мозга или обучения и включает в себя различные атрофические и трофические процессы, такие как нейрогенез, синаптогенез и удаление неиспользуемых синапсов [10]. Исследования в области нейробиологии указывают на то, что адаптация и модификация поведенческих реакций через механизмы нейропластичности могут быть обусловлены широким спектром стимулов и опыта [9]. Некоторые из самых первых демонстраций нейронной пластичности включали использование электрической стимуляции для усиления синаптической передачи, например, еще в 2003 году Adkins-Muir и Jones подтвердили эффективность сочетания реабилитационной тренировки с кортикальной электростимуляцией для улучшения функциональных исходов и структурной пластичности корковых нейронов после экспериментального поражения коры головного мозга у грызунов [11].

Всплеск фундаментальных исследований и исследований в области нейровизуализации показывает, что именно нейропластичность является краеугольным камнем восстановления познания и речи после повреждения головного мозга [12]. Например, Crosson и соавт., 2019, выяснили, что неинвазивная кортикальная стимуляция способна изменять нервную возбудимость, что может

повысить потенциал пластичности, вызванной тренировкой либо путем облегчения активности в областях, связанных с восстановлением, либо путем подавления дисфункциональных нервных процессов [13]. За последние 20 лет несколько исследований [14-16] показали, что транскраниальная стимуляция постоянным током в сочетании с комплексной речевой терапией способна достоверно улучшить эффективность лечения афазии [17].

Таким образом, нейромодуляция, представляющая собой вмешательство в нервную систему с использованием электрических, электромагнитных или химических методов с целью долгосрочного изменения нервной активности, становится фундаментальным подходом к стимуляции нейропластичности [18-20]. Начиная с 1950-х годов, методы нейромодуляции находят применение в клинической неврологии, особенно в лечении состояний, устойчивых к традиционной терапии. Например, глубокая стимуляция мозга (DBS) была первым методом нейромодуляции, одобренным FDA, и включала в себя хирургическую имплантацию электродов, которые стимулируют глубокие структуры головного мозга для лечения болезни Паркинсона, эссенциального тремора, дистонии и других нервно-психических расстройств [21].

В последние годы зарубежные и отечественные исследователи активно изучают потенциал ТЛС в качестве реабилитационной методики.

В отличие от других способов нейростимуляции, которые работают через модуляцию больших нейронных сетей (транскраниальная магнитная стимуляция, транскраниальная стимуляция постоянным током и др.), транслингвальная стимуляция воздействует точно на черепные нервы [21].

В пилотном исследовании Danilov YP et al, 2007, изучено влияние балансирующего устройства BrainPort, основанного на принципе транслингвальной стимуляции, на координаторную функцию пациентов с вестибулопатией различного генеза. Участники продемонстрировали значительно более выраженные успехи в поддержании баланса в сравнении с результатами обычной вестибулярной реабилитации [22]. Эти результаты согласуются с данными исследований, подтверждающими способность электрической стимуляции языка модулировать нейронную активность в структурах мозга, контролирующих баланс и двигательные акты [23].

По данным Tyler ME, 2014; Leonard G et al., 2017, использование неинвазивной лингвальной нейромодуляции приводит к улучшению походки и кратковременной памяти у пациентов с рассеянным склерозом [24, 25]. Также проводились

исследования портативного устройства нейромодуляционной стимуляции (PoNS™), разработанные исследователями (Danilov Y, Tyler M, Kaczmarek K, Bach-y-Rita P) из университета Висконсин-Мэдисон, и его влияния на походку и равновесие у людей, переживших инсульт [5]. Несмотря на то, что Galea MP et al, 2017 не учитывали состояние пациентов по завершении двухнедельного исследования, их данные могут быть интересны из-за эффективного, достоверно значимого ответа на комплексную реабилитационную терапию, сочетающую традиционные методы и ТЛС. При этом стоит отметить, что ни один из пациентов не жаловался на усталость или дискомфорт при удерживании мундштука или ощущении стимуляции на языке [5].

Завершенное в 2016 году отечественное исследование продемонстрировало, что транслингвальная стимуляция оказывает значимое воздействие на стабилизацию постурального контроля, координацию двигательных актов и формирование моторных навыков у детей, страдающих церебральным параличом. В группе пациентов, получавших реабилитационные процедуры с использованием ТЛС неоднократно и в интервалах между лечебными курсами, диагностировали сохранность двигательных умений на более высоком уровне по сравнению с контрольной группой пациентов, в терапии которых данный метод не применялся [26].

В 2019 году была подтверждена способность транслингвальной стимуляции оказывать значительное воздействие на нейронную активность, что было зафиксировано изменениями альфа- и тета-ритмов на электроэнцефалограмме в состоянии покоя, как показали Frehlick и соавт., 2020 [27].

Dier и др., 2020, проанализировали результаты пяти рандомизированных контролируемых исследований, три квазиэкспериментальных исследования и семь клинических наблюдений, которые подтвердили улучшение баланса и походки у пациентов с черепно-мозговыми травмами и рассеянным склерозом [28]. Авторы сделали вывод о перспективности ТЛС как метода, который может быть эффективно и безопасно применен при различных неврологических патологиях. В качестве дополнительного подтверждения эффективности приводится факт одобрения данного метода FDA в Канаде в 2019 году для лечения хронических нарушений равновесия, связанных с черепно-мозговой травмой. В 2020 году метод также был одобрен для применения у пациентов с рассеянным склерозом и сопутствующими нарушениями походки.

В 2021 году было реализовано многоцентровое проспективное исследование, результаты которого продемонстрировали значительные возможности транслингвальной стимуляции в коррекции нарушений походки и поддержания равновесия. В ходе исследования было зафиксировано уменьшение частоты падений у пациентов, урежение частоты и интенсивности посттравматических головных болей, кроме того, метод оказывал положительное влияние на качество ночного сна участников [29]. Tyler и соавторы, 2019 провели другое двойное слепое рандомизированное контролируемое исследование, в ходе которого сравнивались эффекты высокочастотной и низкочастотной транскраниальной низкоинтенсивной нервной стимуляции (TLNS) в сочетании с физиотерапией. По истечении 26 недель терапии у обеих групп, получавших указанное лечение, было зафиксировано снижение показателей инвалидности, связанной с головной болью, на 40%, что свидетельствует о сокращении частоты и уменьшении тяжести головной боли [30]. Таким образом, нейромодуляция может быть эффективным вариантом терапии у пациентов с рефрактерными посттравматическими головными болями [31].

В 2022 году Gaudin-Drouelle и соавт. описали успешный опыт применения транслингвальной стимуляции у семилетнего ребенка с синдромом Ангельмана. Комбинация ТЛС с целенаправленной реабилитацией в течение 4 недель привела к значительному улучшению походки, уменьшению совместных сокращений агонистов и антагонистов нижних конечностей и увеличению дистанции ходьбы с 500 метров до 2 километров. Улучшения сохранялись на протяжении шести месяцев наблюдения [32].

Помимо влияния на постуральные нарушения, существуют данные о нейропротекторном влиянии изолированной стимуляции тройничного нерва [33], ее способности ускорять восстановление когнитивных функций, улучшать сон и настроение [34, 35]. Возможный механизм, объясняющий воздействие на сон, заключается в модуляции восходящей ретикулярной активирующей системы, включающей такие структуры, как голубое пятно и педункулопонтинное ядро, которые участвуют в регуляции внимания и цикла сна – бодрствования. Учитывая, что транслингвальная стимуляция также воздействует через тройничный нерв, ее потенциальное влияние на когнитивные функции и циркадные ритмы требует дополнительного изучения.

В рамках научного исследования, проведенного Смитом СJ и его коллегами, 2020, было исследовано воздействие транслингвальной стимуляции

на когнитивные функции у здоровых лиц в комбинации с когнитивным тренингом. Результаты эксперимента указывают на значительное положительное влияние данной методики: у участников наблюдалось повышение уровня устойчивого внимания и общей когнитивной активности [36].

Учитывая способность транслингвальной стимуляции воздействовать на нейропластичность головного мозга, целесообразно предполагать значимость этого метода в том числе для восстановления речевых функций.

В современной неврологической практике для коррекции речевых нарушений применяются неинвазивные методы нейромодуляции, такие как транскраниальная магнитная стимуляция и транскраниальная электрическая стимуляция постоянным током (tDCS). Эти методы демонстрируют обширный потенциал в восстановлении речевых функций у пациентов с различными неврологическими расстройствами [37, 38]. ТМС может способствовать улучшению речевых функций за счет возбуждения или торможения нейронной активности в определенных областях мозга, что было подтверждено в ряде исследований [29]. Точно так же tDCS, которая воздействует на корковые нейроны, изменяя их мембранный потенциал, может улучшать речевые навыки, как показали некоторые клинические испытания [14, 39]. Например, исследование Alemanno F. et al, 2024 продемонстрировало, что применение tDCS в интактном полушарии может привести к продольным межполушарным функциональным нейропластическим изменениям, способным улучшить восстановление речи [40].

Тем не менее, долговременные нейробиологические и поведенческие исходы применения разнообразных протоколов неинвазивной мозговой стимуляции в контексте реабилитации афазии остаются до конца не раскрытыми. Из существующих данных следует, что результативность этих методов в значительной мере определяется выбранными протоколами стимуляции, конкретной задачей и временем проведения вмешательства. Существует потребность в проведении дополнительных исследований с участием более обширных выборок пациентов для оценки потенциальных долгосрочных эффектов неинвазивной мозговой стимуляции [41, 42].

Транслингвальная стимуляция, хотя и используется в лечении различных неврологических заболеваний, как было описано выше, в настоящее время не является широко применяемым методом для коррекции речевых нарушений. Известно, что ТЛС может оказывать влияние на моторные и сенсорные функции путем нейромодуляции

различных структур головного мозга, однако ее эффективность в отношении речевых расстройств требует дополнительного изучения и подтверждения в клинических исследованиях.

По данным отечественных авторов, применение ТЛС все же позволяет добиться нормализации темпа и ритма речи. Таким образом, обеспечивается плавность и слитность речи, что крайне важно при коррекции заикания, брадилалии, тахилалии. Отмечается эффективное использование ТЛС в комплексе с речевой терапией при афазии (в том числе тотальной), дизартрии, особенно при корковых и мозжечковых её формах [7].

Заключение / Conclusion

Транслингвальная стимуляция представляет собой современный метод, который зарекомендовал себя как перспективное направление в области нейрореабилитации. Хотя механизмы действия ТЛС и оптимальные параметры стимуляции до конца не изучены, доказательства эффективности и безопасности данного метода уже получены в комплексных программах реабилитации цереброваскулярных, нейродегенеративных заболеваний, детского церебрального паралича.

Однако, несмотря на положительные результаты в улучшении моторных и поструральных функций, в зарубежной научной литературе на данный момент недостаточно данных, указывающих на влияние транслингвальной стимуляции на речевые нарушения и ее потенциальную роль в восстановлении речи при неврологических заболеваниях. Это подчеркивает необходимость дальнейших исследований для оценки эффективности данного метода и определения его места в комплексном подходе к лечению и реабилитации пациентов с неврологическими заболеваниями.

Сохраняется необходимость в проведении высококачественных рандомизированных контролируемых испытаний для дальнейшего выяснения эффективности и безопасности метода, разработки оптимальных протоколов стимуляции для лиц различного возраста, определения необходимой продолжительности лечения в целях повышения качества оказания медицинской помощи и улучшения реабилитационного потенциала пациентов [28].

Этика публикации. Представленная статья ранее опубликована не была, все заимствования корректны.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. Olthoff A. Erkrankungen der Sprache und des Sprechens im Alter [Speech and Language Disorders in the Elderly]. *Laryngorhinootologie*. 2018;97(12):846-51. DOI: 10.1055/a-0652-7074.
2. Basilakos A, Fridriksson J. Types of motor speech impairments associated with neurologic diseases. *Handb. Clin. Neurol.* 2022;185:71-9. DOI: 10.1016/B978-0-12-823384-9.00004-9.
3. Boughen K, Neil T, Dullemond S, Lutowicz K, et al. Cranial Nerve Noninvasive Neuromodulation in Adults With Neurological Conditions: Protocol for a Scoping Review. *JMIR Res Protoc*. 2021;10(7):e29965. DOI: 10.2196/29965.
4. Hou J, Mohanty R, Chu D, Nair VA, et al. Translingual neural stimulation affects resting-state functional connectivity in mild-moderate traumatic brain injury. *J. Neuroimaging*. 2022;32(6):1193-200. DOI: 10.1111/jon.13029.
5. Galea MP, Cofré Lizama LE, Bastani A, Panisset MG, et al. Cranial nerve non-invasive neuromodulation improves gait and balance in stroke survivors: A pilot randomised controlled trial. *Brain Stimul*. 2017;10(6):1133-5. DOI: 10.1016/j.brs.2017.08.011.
6. Danilov Y, Kaczmarek K, Skinner K, Tyler M. Chapter 44. Cranial Nerve Noninvasive Neuromodulation: New Approach to Neurorehabilitation. In: Kobeissy FH, editor. *Brain Neurotrauma: Molecular, Neuropsychological, and Rehabilitation Aspects*. Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis; 2015.
7. Жураковская Е.Н., Смирнова О.Л. Транслингвальная нейростимуляция в практике восстановительного обучения при нарушениях речи // КПО. – 2020. – Т. 24. – № 4. – С. 84-91.
8. Андреева Г.О., Наумов К.М. Транслингвальная стимуляция. ФГБВОУ ВПО ВМедА имени С.М. Кирова. Методические рекомендации. СПб.: Издательство ДЕАН, 2021. – 64 с.
9. Kleim JA. Neural plasticity and neurorehabilitation: teaching the new brain old tricks. *J. Commun Disord*. 2011;44(5):521-8. DOI: 10.1016/j.jcomdis.2011.04.006.
10. Farokhi-Sisakht F, Farhoudi M, Sadigh-Eteghad S, Mahmoudi J, et al. Cognitive Rehabilitation Improves Ischemic Stroke-Induced Cognitive Impairment: Role of Growth Factors. *J. Stroke Cerebrovasc Dis*. 2019;28(10):104299. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.07.015.
11. Adkins-Muir DL, Jones TA. Cortical electrical stimulation combined with rehabilitative training: enhanced functional recovery and dendritic plasticity following focal cortical ischemia in rats. *Neurol Res*. 2003;25(8):780-8. DOI: 10.1179/016164103771953853.
12. Papageorgiou G, Kasselimis D, Laskaris N, Potagas C. Unraveling the Thread of Aphasia Rehabilitation: A Translational Cognitive Perspective. *Biomedicines*. 2023;11(10):2856. DOI: 10.3390/biomedicines11102856.
13. Crosson B, Rodriguez AD, Copland D, Fridriksson J, et al. Neuroplasticity and aphasia treatments: new approaches for an old problem. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 2019;90(10):1147-55. DOI: 10.1136/jnnp-2018-319649.
14. Baker JM, Rorden C, Fridriksson J. Using transcranial direct-current stimulation to treat stroke patients with aphasia. *Stroke*. 2010;41(6):1229-1236.
15. Fridriksson J, Richardson JD, Baker JM, Rorden C. Transcranial direct current stimulation improves naming reaction time in fluent aphasia: a double-blind, sham-controlled study. *Stroke*. 2011;42(3):819-21. DOI: 10.1161/STROKEAHA.110.600288.
16. Kang EK, Kim YK, Sohn HM, Cohen LG, et al. Improved picture naming in aphasia patients treated with cathodal tDCS to inhibit the right Broca's homologue area. *Restor. Neurol. Neurosci*. 2011;29(3):141-52. DOI: 10.3233/RNN-2011-0587.
17. Fridriksson J, Rorden C, Elm J, Sen S, et al. Transcranial Direct Current Stimulation vs Sham Stimulation to Treat Aphasia After Stroke: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Neurol*. 2018;75(12):1470-6. DOI: 10.1001/jamaneurol.2018.2287.
18. Johnson MD, Lim HH, Netoff TI, Connolly AT, et al. Neuromodulation for brain disorders: challenges and opportunities. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2013;60(3):610-24. DOI: 10.1109/TBME.2013.2244890.
19. Екушева Е.В. Сенсомоторная интеграция при поражении центральной нервной системы: клинические и патогенетические аспекты: дисс. ... д-ра мед. наук. – Москва: 2016. – 362 с.
20. Войтенков В.Б., Екушева Е.В., Скрипченко Н.В., Дамулин И.В. Транскраниальная магнитная стимуляция в диагностике и терапии болевых синдромов у детей и взрослых // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2019. – Т. 119. – № 4. – С. 93-99. DOI: 10.17116/jnevro201911904193.
21. Elias GJB, Namasivayam AA, Lozano AM. Deep brain stimulation for stroke: Current uses and future directions. *Brain Stimul*. 2018;11(1):3-28. DOI: 10.1016/j.brs.2017.10.005.
22. Danilov YP, Tyler ME, Skinner KL, Hogle RA, et al. Efficacy of electrotactile vestibular substitution in patients with peripheral and central vestibular loss. *J. Vestib. Res*. 2007;17(2-3):119-30.
23. Wildenberg JC, Tyler ME, Danilov YP, Kaczmarek KA, et al. Sustained cortical and subcortical neuromodulation induced by electrical tongue stimulation. *Brain Imaging Behav*. 2010;4(3-4):199-211. DOI: 10.1007/s11682-010-9099-7.
24. Tyler ME, Kaczmarek KA, Rust KL, Subbotin AM, et al. Non-invasive neuromodulation to improve gait in chronic multiple sclerosis: a randomized double blind controlled pilot trial. *J. Neuroeng Rehabil*. 2014;11:79. DOI: 10.1186/1743-0003-11-79.
25. Leonard G, Lapierre Y, Chen JK, Wardini R, et al. Noninvasive tongue stimulation combined with intensive cognitive and physical rehabilitation induces neuroplastic changes in patients with multiple sclerosis: A multimodal neuroimaging study. *Mult. Scler. J. Exp Transl Clin*. 2017;3(1):2055217317690561. DOI: 10.1177/2055217317690561.
26. Игнатова Т.С., Скоромец А.П., Колбин В.Е., Сарана А.М. и др. Транслингвальная нейростимуляция

- головного мозга в лечении детей с церебральным параличом // Вестник восстановительной медицины. — 2016. — № 6. — С.10–16.
27. Frehlick Z, Lakhani B, Fickling SD, Livingstone AC, et al. Human translingual neurostimulation alters resting brain activity in high-density EEG. *J Neuroeng Rehabil.* 2019;16(1):60. DOI: 10.1186/s12984-019-0538-4.
 28. Diep D, Lam ACL, Ko G. A Review of the Evidence and Current Applications of Portable Translingual Neurostimulation Technology. *Neuromodulation.* 2021 Dec;24(8):1377-87. DOI: 10.1111/ner.13260.
 29. Heiss WD, Hartmann A, Rubi-Fessen I, Anglade C, et al. Noninvasive brain stimulation for treatment of right- and left-handed poststroke aphasics. *Cerebrovasc. Dis.* 2013;36(5-6):363-72. DOI: 10.1159/000355499.
 30. Tyler M, Skinner K, Prabhakaran V, Kaczmarek K, et al. Translingual Neurostimulation for the Treatment of Chronic Symptoms Due to Mild-to-Moderate Traumatic Brain Injury. *Arch. Rehabil. Res. Clin. Transl.* 2019;1(3-4):100026. DOI: 10.1016/j.arrct.2019.100026.
 31. Lee MJ, Zhou Y, Greenwald BD. Update on Non-Pharmacological Interventions for Treatment of Post-Traumatic Headache. *Brain Sci.* 2022;12(10):1357. DOI: 10.3390/brainsci12101357.
 32. Gaudin-Drouelle D, Houx L, Lempereur M, Brochard S, et al. Improvement in Gait and Participation in a Child with Angelman Syndrome after Translingual Neurostimulation Associated with Goal-Oriented Therapy: A Case Report. *Children (Basel).* 2022;9(5):719. DOI: 10.3390/children9050719.
 33. Chiluwal A, Narayan RK, Chaung W, Mehan N, et al. Neuroprotective Effects of Trigeminal Nerve Stimulation in Severe Traumatic Brain Injury. *Sci Rep.* 2017;7(1):6792. DOI: 10.1038/s41598-017-07219-3.
 34. Mercante B, Enrico P, Deriu F. Cognitive Functions following Trigeminal Neuromodulation. *Biomedicines.* 2023;11(9):2392. DOI: 10.3390/biomedicines11092392.
 35. De Cicco V, Tramonti Fantozzi MP, Cataldo E, Barresi M, et al. Trigeminal, Visceral and Vestibular Inputs May Improve Cognitive Functions by Acting through the Locus Coeruleus and the Ascending Reticular Activating System: A New Hypothesis. *Front Neuroanat.* 2018;11:130. DOI: 10.3389/fnana.2017.00130.
 36. Smith CJ, Livingstone A, Fickling SD, Tannouri P, et al. Brain Vital Signs Detect Information Processing Differences When Neuromodulation Is Used During Cognitive Skills Training. *Front Hum Neurosci.* 2020;14:358. DOI: 10.3389/fnhum.2020.00358.
 37. Chrysikou EG, Hamilton RH. Noninvasive brain stimulation in the treatment of aphasia: exploring interhemispheric relationships and their implications for neurorehabilitation. *Restor. Neurol. Neurosci.* 2011;29(6):375-94. DOI: 10.3233/RNN-2011-0610.
 38. Hartwigsen G, Siebner HR. Novel methods to study aphasia recovery after stroke. *Front Neurol Neurosci.* 2013;32:101-11. DOI: 10.1159/000346431.
 39. Hamilton RH, Chrysikou EG, Coslett B. Mechanisms of aphasia recovery after stroke and the role of non-invasive brain stimulation. *Brain Lang.* 2011;118(1-2):40-50. DOI: 10.1016/j.bandl.2011.02.005.
 40. Alemanno F, Fedeli D, Monti A, Houdayer E, et al. Increased interhemispheric functional connectivity after right anodal tDCS in chronic non-fluent aphasia: preliminary findings. *Front Neurosci.* 2024;18:1346095. DOI: 10.3389/fnins.2024.1346095.
 41. Hartwigsen G, Saur D. Neuroimaging of stroke recovery from aphasia - Insights into plasticity of the human language network. *Neuroimage.* 2019;190:14-31. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2017.11.056.
 42. Екушева Е.В., Вендрова М.И., Данилов А.Б., Вейн А.М. Вклад правого и левого полушарий головного мозга в полиморфизм и гетерогенность пирамидного синдрома // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2004. – №3. – С. 8-12.

References

1. Olthoff A. Erkrankungen der Sprache und des Sprechens im Alter [Speech and Language Disorders in the Elderly]. *Laryngorhinootologie.* 2018;97(12):846-51. DOI: 10.1055/a-0652-7074.
2. Basilakos A, Fridriksson J. Types of motor speech impairments associated with neurologic diseases. *Handb. Clin. Neurol.* 2022;185:71-9. DOI: 10.1016/B978-0-12-823384-9.00004-9.
3. Boughen K, Neil T, Dullemond S, Lutowicz K, et al. Cranial Nerve Noninvasive Neuromodulation in Adults With Neurological Conditions: Protocol for a Scoping Review. *JMIR Res Protoc.* 2021;10(7):e29965. DOI: 10.2196/29965.
4. Hou J, Mohanty R, Chu D, Nair VA, et al. Translingual neural stimulation affects resting-state functional connectivity in mild-moderate traumatic brain injury. *J. Neuroimaging.* 2022;32(6):1193-200. DOI: 10.1111/jon.13029.
5. Galea MP, Cofré Lizama LE, Bastani A, Panisset MG, et al. Cranial nerve non-invasive neuromodulation improves gait and balance in stroke survivors: A pilot randomised controlled trial. *Brain Stimul.* 2017;10(6):1133-5. DOI: 10.1016/j.brs.2017.08.011.
6. Danilov Y, Kaczmarek K, Skinner K, Tyler M. Chapter 44. Cranial Nerve Noninvasive Neuromodulation: New Approach to Neurorehabilitation. In: Kobeissy FH, editor. *Brain Neurotrauma: Molecular, Neuropsychological, and Rehabilitation Aspects.* Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis; 2015.
7. Zhurakovskaya EN, Smirnova OL. Translingval'naya nejrostimulyaciya v praktike vosstanovitel'nogo obucheniya pri narusheniyah rechi [Translingual neurostimulation in the practice of rehabilitation training for speech disorders]. *KPO [KPO-SCIENCE].* 2020; №4(24): 84-91. (In Russian).
8. Andreeva GO, Naumov KM. Translingval'naya stimulyaciya [Andreeva GO, Naumov KM. Translingual stimulation]. *FGBVOU VPO VMeDA imeni SM Kirova. Metodicheskie rekomendacii [SM Kirov Military Medical Academy. Guidelines].* SPb.: Izdatel'stvo DEAN [St. Petersburg: DEAN Publishing House], 2021. 64 p. (In Russian).

9. Kleim JA. Neural plasticity and neurorehabilitation: teaching the new brain old tricks. *J. Commun Disord.* 2011;44(5):521-8. DOI: 10.1016/j.jcomdis.2011.04.006.
10. Farokhi-Sisakht F, Farhoudi M, Sadigh-Eteghad S, Mahmoudi J, et al. Cognitive Rehabilitation Improves Ischemic Stroke-Induced Cognitive Impairment: Role of Growth Factors. *J. Stroke Cerebrovasc Dis.* 2019;28(10):104299. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.07.015.
11. Adkins-Muir DL, Jones TA. Cortical electrical stimulation combined with rehabilitative training: enhanced functional recovery and dendritic plasticity following focal cortical ischemia in rats. *Neurol Res.* 2003;25(8):780-8. DOI: 10.1179/016164103771953853.
12. Papageorgiou G, Kasselimis D, Laskaris N, Potagas C. Unraveling the Thread of Aphasia Rehabilitation: A Translational Cognitive Perspective. *Biomedicines.* 2023;11(10):2856. DOI: 10.3390/biomedicines11102856.
13. Crosson B, Rodriguez AD, Copland D, Fridriksson J, et al. Neuroplasticity and aphasia treatments: new approaches for an old problem. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2019;90(10):1147-55. DOI: 10.1136/jnnp-2018-319649.
14. Baker JM, Rorden C, Fridriksson J. Using transcranial direct-current stimulation to treat stroke patients with aphasia. *Stroke.* 2010;41(6):1229-1236.
15. Fridriksson J, Richardson JD, Baker JM, Rorden C. Transcranial direct current stimulation improves naming reaction time in fluent aphasia: a double-blind, sham-controlled study. *Stroke.* 2011;42(3):819-21. DOI: 10.1161/STROKEAHA.110.600288.
16. Kang EK, Kim YK, Sohn HM, Cohen LG, et al. Improved picture naming in aphasia patients treated with cathodal tDCS to inhibit the right Broca's homologue area. *Restor. Neurol. Neurosci.* 2011;29(3):141-52. DOI: 10.3233/RNN-2011-0587.
17. Fridriksson J, Rorden C, Elm J, Sen S, et al. Transcranial Direct Current Stimulation vs Sham Stimulation to Treat Aphasia After Stroke: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Neurol.* 2018;75(12):1470-6. DOI: 10.1001/jamaneurol.2018.2287.
18. Johnson MD, Lim HH, Netoff TI, Connolly AT, et al. Neuromodulation for brain disorders: challenges and opportunities. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2013;60(3):610-24. DOI: 10.1109/TBME.2013.2244890.
19. Ekusheva EV. Sensomotornaya integraciya pri porazhenii central'noj nervnoj sistemy: klinicheskie i patogeneticheskie aspekty [Sensorimotor integration in lesions of the central nervous system: clinical and pathogenetic aspects]: diss. ... d-r med. nauk [abstract of the dissertation for the degree of candidate of medical sciences]. Moskva [Moscow]: 2016. 362 p. (In Russian).
20. Vojtenkov VB, Ekusheva EV, Skripchenko NV, Damulin IV. Transkraniyal'naya magnitnaya stimulyaciya v diagnostike i terapii bolevyh sindromov u detej i vzroslyh [Transcranial magnetic stimulation in the diagnostic and treatment of pain syndromes in children and adults]. *Zhurnal nevrologii i psichiatrii im. S.S. Korsakova* [S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry]. 2019;119(4):93-9. DOI: 10.17116/jnevro201911904193. (In Russian).
21. Elias GJB, Namasivayam AA, Lozano AM. Deep brain stimulation for stroke: Current uses and future directions. *Brain Stimul.* 2018;11(1):3-28. DOI: 10.1016/j.brs.2017.10.005.
22. Danilov YP, Tyler ME, Skinner KL, Hogle RA, et al. Efficacy of electro-tactile vestibular substitution in patients with peripheral and central vestibular loss. *J. Vestib. Res.* 2007;17(2-3):119-30.
23. Wildenberg JC, Tyler ME, Danilov YP, Kaczmarek KA, et al. Sustained cortical and subcortical neuromodulation induced by electrical tongue stimulation. *Brain Imaging Behav.* 2010;4(3-4):199-211. DOI: 10.1007/s11682-010-9099-7.
24. Tyler ME, Kaczmarek KA, Rust KL, Subbotin AM, et al. Non-invasive neuromodulation to improve gait in chronic multiple sclerosis: a randomized double blind controlled pilot trial. *J. Neuroeng Rehabil.* 2014;11:79. DOI: 10.1186/1743-0003-11-79.
25. Leonard G, Lapierre Y, Chen JK, Wardini R, et al. Noninvasive tongue stimulation combined with intensive cognitive and physical rehabilitation induces neuroplastic changes in patients with multiple sclerosis: A multimodal neuroimaging study. *Mult. Scler. J. Exp Transl Clin.* 2017;3(1):2055217317690561. DOI: 10.1177/2055217317690561.
26. Ignatova TS, Skoromec AP, Kolbin VE, Sarana AM, et al. Translingval'naya nejrostimulyaciya golovno-gozda v lechenii detej s cerebral'nym paralichom [Translingual neurostimulation of the brain in the treatment of children with cerebral palsy]. *Vestnik vosstanovitel'noj mediciny* [Bulletin of Restorative Medicine]. 2016;6:10-6. (In Russian).
27. Frehlick Z, Lakhani B, Fickling SD, Livingstone AC, et al. Human translingual neurostimulation alters resting brain activity in high-density EEG. *J Neuroeng Rehabil.* 2019;16(1):60. DOI: 10.1186/s12984-019-0538-4.
28. Diep D, Lam ACL, Ko G. A Review of the Evidence and Current Applications of Portable Translingual Neurostimulation Technology. *Neuromodulation.* 2021 Dec;24(8):1377-1387. DOI: 10.1111/ner.13260.
29. Heiss WD, Hartmann A, Rubi-Fessen I, Anglade C, et al. Noninvasive brain stimulation for treatment of right- and left-handed poststroke aphasics. *Cerebrovasc. Dis.* 2013;36(5-6):363-72. DOI: 10.1159/000355499.
30. Tyler M, Skinner K, Prabhakaran V, Kaczmarek K, et al. Translingual Neurostimulation for the Treatment of Chronic Symptoms Due to Mild-to-Moderate Traumatic Brain Injury. *Arch. Rehabil. Res. Clin. Transl.* 2019;1(3-4):100026. DOI: 10.1016/j.arrct.2019.100026.
31. Lee MJ, Zhou Y, Greenwald BD. Update on Non-Pharmacological Interventions for Treatment of Post-Traumatic Headache. *Brain Sci.* 2022;12(10):1357. DOI: 10.3390/brainsci12101357.
32. Gaudin-Drouelle D, Houx L, Lempereur M, Brochard S, et al. Improvement in Gait and Participation in a Child with Angelman Syndrome after Translingual Neurostimulation Associated with Goal-Oriented Therapy:

- A Case Report. *Children* (Basel). 2022;9(5):719. DOI: 10.3390/children9050719.
33. Chilawal A, Narayan RK, Chaung W, Mehan N, et al. Neuroprotective Effects of Trigeminal Nerve Stimulation in Severe Traumatic Brain Injury. *Sci Rep*. 2017;7(1):6792. DOI: 10.1038/s41598-017-07219-3.
 34. Mercante B, Enrico P, Deriu F. Cognitive Functions following Trigeminal Neuromodulation. *Biomedicines*. 2023;11(9):2392. DOI: 10.3390/biomedicines11092392.
 35. De Cicco V, Tramonti Fantozzi MP, Cataldo E, Barresi M, et al. Trigeminal, Visceral and Vestibular Inputs May Improve Cognitive Functions by Acting through the Locus Coeruleus and the Ascending Reticular Activating System: A New Hypothesis. *Front Neuroanat*. 2018;11:130. DOI: 10.3389/fnana.2017.00130.
 36. Smith CJ, Livingstone A, Fickling SD, Tannouri P, et al. Brain Vital Signs Detect Information Processing Differences When Neuromodulation Is Used During Cognitive Skills Training. *Front Hum Neurosci*. 2020;14:358. DOI: 10.3389/fnhum.2020.00358.
 37. Chrysikou EG, Hamilton RH. Noninvasive brain stimulation in the treatment of aphasia: exploring interhemispheric relationships and their implications for neurorehabilitation. *Restor. Neurol. Neurosci*. 2011;29(6):375-94. DOI: 10.3233/RNN-2011-0610.
 38. Hartwigsen G, Siebner HR. Novel methods to study aphasia recovery after stroke. *Front Neurol Neurosci*. 2013;32:101-11. DOI: 10.1159/000346431.
 39. Hamilton RH, Chrysikou EG, Coslett B. Mechanisms of aphasia recovery after stroke and the role of non-invasive brain stimulation. *Brain Lang*. 2011;118(1-2):40-50. DOI: 10.1016/j.bandl.2011.02.005.
 40. Alemanno F, Fedeli D, Monti A, Houdayer E, et al. Increased interhemispheric functional connectivity after right anodal tDCS in chronic non-fluent aphasia: preliminary findings. *Front Neurosci*. 2024;18:1346095. DOI: 10.3389/fnins.2024.1346095.
 41. Hartwigsen G, Saur D. Neuroimaging of stroke recovery from aphasia - Insights into plasticity of the human language network. *Neuroimage*. 2019;190:14-31. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2017.11.056.
 42. Ekusheva EV, Vendrova MI, Danilov AB, Vejn AM. Vklad pravogo i levogo polusharij golovnogo mozga v polimorfizm i geterogennost' piramidnogo sindroma [Contribution of the right and left hemispheres of the brain to the polymorphism and heterogeneity of pyramidal syndrome]. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. SS Korsakova* [SS Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry]. 2004; 3:8-12. (In Russian).

Поступила: 24.05.2024

Принята в печать: 15.09.2024

Авторы

Войтенков Владислав Борисович – кандидат медицинских наук, заведующий отделением функциональных методов диагностики, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней Федерального медико-биологического агентства», ул. Профессора Попова, д. 9, Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация; доцент кафедры нервных болезней Академии постдипломного образования, ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, Волоколамское шоссе, д. 91, Москва, 125371, Российская Федерация; e-mail: vlad203@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0448-7402>.

Самойлова Ирина Геннадьевна – доктор медицинских наук, доцент, главный врач клиники ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней Федерального медико-биологического агентства», ул. Профессора Попова, д. 9, Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация; e-mail: vavavadik@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4004-7482>.

Скрипченко Елена Юрьевна – доктор медицинских наук, доцент, заведующая научно-исследовательским отделом нейроинфекций и органической патологии нервной системы, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней Федерального медико-биологического агентства», ул. Профессора Попова, д. 9, Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация; профессор кафедры неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДП, ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России, ул. Литовская, д. 2, Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация; e-mail: wwave@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0002-8789-4750>.

Голубева Алина Владимировна – лаборант-исследователь научно-исследовательского отдела нейроинфекций и органической патологии нервной системы, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней Федерального медико-биологического агентства», ул. Профессора Попова, д. 9, Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация; e-mail: doc.golubevaav@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-3449-3080>.

Ирикова Мария Алексеевна – младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела нейроинфекций и органической патологии нервной системы, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней Федерального медико-биологического агентства», ул. Профессора Попова, д. 9, Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация; e-mail: dr.bedova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8924-5300>.

Васильева Юлия Петровна — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела нейроинфекций и органической патологии нервной системы, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней Федерального медико-биологического агентства», ул. Профессора Попова, д. 9, Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация; e-mail: vasiliev.yar@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4732-8623>.

Климкин Андрей Васильевич – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела нейроинфекций и органической патологии нервной системы, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней Федерального медико-биологического агентства», ул. Профессора Попова, д. 9, Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация; e-mail: klinkinpark@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6180-4403>.

Authors

Voitenkov Vladislav Borisovich – PhD in Medical sciences (Cand. Med. Sci.), head of the department of clinical neurophysiology and clinical physiology, Children’s Scientific and Clinical Center of Infectious Diseases of the FMBA, 9 Professora Popova Street, 197022 St. Petersburg, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Nervous Diseases, Academy of Postgraduate Education of FSBF FRCC of the FMBA, 91 Volokolamskoye Hwy, 125371 Moscow, Russian Federation; e-mail: vlad203@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0448-7402>.

Samoilova Irina Gennadievna – Grand PhD in Medical sciences (Dr. Med. Sci.), Associate Professor, head of the Clinic of the Children’s Scientific and Clinical Center of Infectious Diseases of the FMBA, 9 Professora Popova Street, 197022 St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: vavavadi@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4004-7482>.

Skripchenko Elena Yurievna – Grand PhD in Medical sciences (Dr. Med. Sci.), Associate Professor, head of the Research Department of Neuroinfections and Organic Pathology of the Nervous System, Children’s Scientific and Clinical Center of Infectious Diseases of the FMBA, 9 Professora Popova Street, 197022 St. Petersburg, Russian Federation; professor of the Department of Neonatology with courses in neurology and obstetrics-gynecology, St. Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya Street, 194100 St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: wwave@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0002-8789-4750>.

Golubeva Alina Vladimirovna – research assistant of the Research Department of Neuroinfections and Organic Pathology of the Nervous System, Children’s Scientific and Clinical Center of Infectious Diseases of the FMBA, 9 Professora Popova Street, 197022 St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: doc.golubevaav@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-3449-3080>.

Irikova Maria Alekseevna – researcher of the Research Department of Neuroinfections and Organic Pathology of the Nervous System, Children’s Scientific and Clinical Center of Infectious Diseases of the FMBA, 9 Professora Popova Street, 197022 St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: dr.bedova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8924-5300>.

Vasilyeva Yulia Petrovna – PhD in Medical sciences (Cand. Med. Sci.), senior researcher of the Research Department of Neuroinfections and Organic Pathology of the Nervous System, Children’s Scientific and Clinical Center of Infectious Diseases of the FMBA, 9 Professora Popova Street, 197022 St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: vasiliev.yar@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4732-8623>.

Klimkin Andrey Vasilievich – PhD in Medical sciences (Cand. Med. Sci.), senior researcher of the Research Department of Neuroinfections and Organic Pathology of the Nervous System, Children’s Scientific and Clinical Center of Infectious Diseases of the FMBA, 9 Professora Popova Street, 197022 St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: klinkinpark@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6180-4403>.