

DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER63542>

Оценка функционального состояния головного мозга методом нейроэнергокартирования как способ оптимизации реабилитационных мероприятий: опыт применения

© П. Прадхан, Д.А. Шуненков, В.С. Воронцова

Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Российская Федерация

Обоснование. Нейрореабилитация пациентов с повреждениями головного мозга является сложной междисциплинарной системой, направленной на восстановление и выработку компенсаторных механизмов, а также психологическую и социальную реадaptацию пациентов. Важным вопросом является построение персонализированной программы реабилитации для каждого конкретного пациента. Одним из методов, который поможет в решении этой проблемы, является нейроэнергокартирование (НЭК).

Цель — анализ метода НЭК как способа оптимизации реабилитационных мероприятий в условиях Федерального научно-клинического центра реаниматологии и реабилитологии.

Материал и методы. В анализ включены протоколы НЭК в период с 20.06.2019 по 14.09.2020, согласно электронному архиву медицинских записей. Все анализируемые исследования (НЭК) выполнены пациентам, находившимся на лечении и реабилитации в ФНКЦ РР.

Результаты. Большинство обследованных пациентов находилось в непомрачённом сознании (71,1%), примерно в 1/3 случаев отмечалось то или иное снижение уровня сознания. В вегетативном состоянии находились 9,3% пациентов, в состоянии минимального сознания «минус» — 7,5%, в состоянии минимального сознания «плюс» — 5,6%, в оглушении — 4,7%, в состоянии сопора — 0,9%, комы 1–2-й степени — 0,9%. Повторное обследование проведено в 23,4% случаев, при этом у 4,6% пациентов динамическое обследование было проведено более 1 раза. В среднем повторное обследование проводилось на 15-й день (Me) после первого обследования (Q1–Q3 8–30 дней). На основании результатов определения функциональной активности головного мозга формулировались заключения, содержащие рекомендации по оптимизации реабилитационных мероприятий.

Заключение. НЭК может рассматриваться в качестве эффективного метода оптимизации реабилитационных мероприятий путём оценки уровня метаболизма головного мозга.

Ключевые слова: реабилитация; нейрореабилитация; нейроэнергокартирование; поражение головного мозга.

Как цитировать

Прадхан П., Шуненков Д.А., Воронцова В.С. Оценка функционального состояния головного мозга методом нейроэнергокартирования как способ оптимизации реабилитационных мероприятий: опыт применения // *Медино-социальная экспертиза и реабилитация*. 2021. Т. 24, № 1. С. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER63542>

DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER63542>

Assessment of the functional state of the brain by neuroenergy mapping as a way to optimize neurological rehabilitation

© P. Pradhan, D.A. Shunenkov, V.S. Vorontsova

Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow, Russian Federation

BACKGROUND: Neurological rehabilitation of patients with brain injuries is a complex interdisciplinary system aimed at restoring and producing compensatory mechanisms, as well as psychological and social readaptation of patients. An important issue is a personalized rehabilitation program for each individual patient. One method that can help solve this problem is neuroenergy mapping.

AIM: Analysis of the method of neuroenergocarting (NEC) as a way to optimize rehabilitation measures in the conditions of the scientific and clinical center of resuscitation and rehabilitation.

MATERIALS AND METHODS: The analysis includes the NEC protocols for the period from 20.06.2019 to 14.09.2020, according to the electronic archive of medical records. All the analyzed studies (NEC) were performed in patients who were undergoing treatment and rehabilitation in the FNCC PP.

RESULTS: The majority of the examined patients were in an unclouded state of consciousness (71.1%), approximately 1/3 of the patients had some kind of decrease in the level of consciousness. In the vegetative state were 9.3% of patients, in the state of minimal consciousness “minus” – 7.5%, in the state of minimal consciousness “plus” – 5.6%, in stun – 4.7%, in the state of spoor – 0.9%, coma 1–2-th degree – 0.9%. Repeated examination was carried out in 23.4% of cases, while in 4.6% of patients the dynamic examination was carried out more than once. On average, the second examination was performed on the 15th day (lu) after the first examination (Q1–Q3 8–30 days). Based on the results of determining the functional activity of the brain, conclusions were formulated containing recommendations for optimizing rehabilitation measures.

CONCLUSION: NEC can be considered as an effective method of optimizing rehabilitation measures by assessing the level of brain metabolism.

Keywords: rehabilitation; neurological rehabilitation; brain injuries.

To cite this article

Pradhan P, Shunenkov DA, Vorontsova VS. Assessment of the functional state of the brain by neuroenergy mapping as a way to optimize neurological rehabilitation. *Medical and Social Expert Evaluation and Rehabilitation*. 2021;24(1):13–21. DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER63542>

Received: 17.03.2021

Accepted: 02.04.2021

Published: 29.07.2021

ОБОСНОВАНИЕ

Вопросы нейрореабилитации пациентов были и остаются одними из наиболее сложных проблем в медицине, социальной работе и здравоохранении. В.М. Шкловский объяснял этот факт большим количеством неврологических заболеваний с крайне тяжёлыми последствиями, приводящими к инвалидизации. Учёный отмечал, что наибольшую актуальность нейрореабилитация представляет для категории пациентов с очаговыми поражениями головного мозга, которые ранее считались неизлечимыми [1]. Нейрореабилитация таких пациентов является сложной междисциплинарной системой, направленной на восстановление и выработку компенсаторных механизмов, а также психологическую и социальную реадaptацию пациентов [1].

Рост распространённости инвалидности вследствие неврологических заболеваний наблюдается во всём мире. Неврологические расстройства требуют предоставления специализированных реабилитационных услуг, особенно лечения, направленного на восстановление нейропластичности мозга [2].

За последнее время в области нейрореабилитации произошли значительные изменения, которые характеризуются тремя переходами: во-первых, переходом от интуитивных и идеологических подходов к практике доказательной терапии; во-вторых, переходом к автоматизированной терапии под контролем специалистов, которые обладают знаниями о моторной реорганизации и моторном обучении; и, наконец, переходом от индивидуальной терапии к групповым методикам [3].

Технологическое развитие привело к появлению и внедрению новых форм и методов реабилитационных вмешательств, таких как использование виртуальной реальности [4]; интерфейсов мозг–компьютер [5], например технологии «Нейрочат», при исследовании которой обнаружилось, что пациенты не просто осваивают набор текста посредством фокусирования внимания на экранных символах, но и показывают постепенное улучшение точности и скорости ввода команд, а также общего количества вводимых за сессию букв [6]. Кроме того, также имеется ряд доказательств эффективности использования транскраниальной магнитной стимуляции в нейрореабилитации, которая оказывает нейропротекторное действие на модуляцию нейропластичности, улучшая способность мозга «переобучать» нейронные сети и способствуя восстановлению и приобретению новых компенсаторных навыков [7].

В когнитивной нейрореабилитации используется и неврологическая музыкальная терапия. Звуки, являющиеся исходным материалом для музыки, участвуют в формировании временных паттернов когнитивных функций и составляют структуру, которая облегчает обучение последовательной обработке информации, что лежит в основе формирования памяти [8].

Активно развивается сфера так называемого мобильного здравоохранения, определяемого как предоставление медицинской информации и медицинских услуг с помощью мобильных устройств или планшетов с установленными приложениями. Приложение — это программа со специальными характеристиками, установленная на мобильном устройстве, планшете или смартфоне, с которым пользователь взаимодействует через сенсорный интерфейс. Существует в том числе множество приложений с потенциалом использования в области нейрореабилитации [9].

Несмотря на то что многие вмешательства в области нейрореабилитации имеют скудные доказательства, в целом можно судить о том, что физическая терапия и ряд методов психологических вмешательств являются эффективными. Влияние других реабилитационных вмешательств не является полностью доказанным в силу недостаточности исследований надлежащего качества. Необходимы дополнительные исследования для улучшения доказательной базы многих перспективных реабилитационных мероприятий [2].

Важным вопросом является построение персонализированной программы реабилитации для каждого конкретного пациента. Одним из методов, который поможет в решении этой проблемы, является нейрорезервокартирование (НЭК). Это чувствительный, информативный и доступный метод оценки функциональной активности головного мозга [10]. В основе применения этого метода лежит регистрация и оценка уровня постоянных потенциалов (УПП), характеризующих кислотно-основное состояние на границе гематоэнцефалического барьера [11]. Данная методика, как и позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), оценивает утилизацию глюкозы мозгом, на основании чего мы можем судить об энергетической активности мозга [10, 12]. При этом важно отметить, что в отличие от ПЭТ, при которой оценивается аэробный катаболизм глюкозы, нейрорезервокартирование оценивает состояние и анаэробного гликолиза, катаболизма кетоновых тел и аминокислот, являющегося показателем резервного звена обмена [10].

Ценность данного метода заключается в том, что с его помощью можно изучить функциональное состояние мозга в динамике. Если такие методы нейровизуализации, как магнитно-резонансная или компьютерная томография, выявляют морфологические изменения мозга на стадии, когда уже ничего радикально изменить нельзя, а ПЭТ регистрирует стойкие изменения метаболизма, то НЭК представляет собой более чувствительный метод регистрации функциональных изменений на «доорганическом» этапе, что позволяет наблюдать развитие патологического процесса и оценивать эффективность проводимой терапии [13]. Данная методика успешно используется в комплексном обследовании пациентов с когнитивными расстройствами [13–15], вибрационной болезнью с метаболическими нарушениями [16],

эмоциональными нарушениями при климактерическом синдроме [17]. НЭК применяется также при обследовании здоровых лиц, например для оценки функционального состояния спортсменов [18], школьников [19, 20], молодых людей при адаптации к новым условиям окружающей среды [21], пожилых людей [22]. Изучалось также использование НЭК для оценки влияния коррекционных мероприятий на функциональное состояние головного мозга у детей с синдромом дефицита внимания с гиперактивностью [23]. НЭК являлся одной из основных методик и при проведении ряда диссертационных исследований: например, Н.С. Бедерева изучила особенности нейроэнергетического метаболизма и активационных влияний на кору головного мозга детей 8–10 лет с разным типом темперамента и успешностью обучения [24]; И.В. Князева изучала нейрометаболические аспекты когнитивных нарушений у пациентов с психовегетативным синдромом [25]; Л.А. Соколовой были изучены особенности нейрометаболизма и перфузии головного мозга с позиции механизмов формирования додементных когнитивных расстройств [26].

Множество эмпирических исследований были посвящены изучению поведенческих и когнитивных последствий, связанных с приобретённым повреждением головного мозга, в то же время менее строгие исследования были посвящены изучению их реабилитации. Когнитивная нейрореабилитация обычно является методом выбора для лечения нарушения когнитивных функций и сопутствующих поведенческих нарушений. Основной целью таких вмешательств является максимальное функциональное восстановление, восстановление трудоспособности, достижение функциональной продуктивности и улучшение общего качества жизни [27]. Так, ранее было показано, что метод нейроэнергетического картирования способен выявлять функциональные нарушения различных зон мозга при когнитивных расстройствах, что позволяет подбирать когнитивную нагрузку для каждого конкретного пациента [28].

Цель исследования — провести анализ использования метода оценки функционального состояния головного мозга (нейроэнергетического картирования) как способа оптимизации реабилитационных мероприятий в условиях научно-клинического центра реаниматологии и реабилитологии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведён ретроспективный анализ всех протоколов НЭК, выполненных научными сотрудниками лаборатории изучения коморбидности и вегетативной дисфункции пациентам, находившимся на лечении и реабилитации в условиях отделений Федерального научно-клинического центра реаниматологии и реабилитологии (ФНКЦ РР), и соответствующих электронных историй болезни.

Собрана информация о половой принадлежности, возрасте пациентов, отделении, в котором находился пациент на момент проведения исследования. Учитывалось, на какой день госпитализации было проведено НЭК; проводилось ли исследование в динамике, через какой период времени; характер изменений в показателях НЭК. Учитывался основной диагноз и сопутствующий психиатрический диагноз пациента согласно действующей Международной классификации болезней Десятого пересмотра (МКБ-10). Кроме того, ретроспективно проводилась оценка уровня сознания пациентов на момент проведения исследования на основании динамических осмотров лечащим врачом, консультаций врача-невролога и врача-психиатра. Оценивались также заключения и рекомендации по оптимизации реабилитационных мероприятий по результатам проведения НЭК.

В анализ включены все протоколы выполнения НЭК, согласно электронному архиву медицинских записей. Все анализируемые исследования (НЭК) выполнены пациентам, находившимся на лечении и реабилитации в ФНКЦ РР. Проведён анализ всех протоколов НЭК, выполненных в период с 20.06.2019 по 14.09.2020.

Всем пациентам было выполнено НЭК в 5 стандартных отведениях. При этом регистрировался УПП, который в свою очередь отражает состояние кислотно-основного равновесия на границе гематоэнцефалического барьера и оценивает состояние утилизации (метаболизма) глюкозы мозгом, а следовательно, и состояние энергетической активности мозга [11]. Активность метаболизма оценивалась по фоновому уровню УПП, который регистрировался в течение 5 мин [10].

НЭК трансформирует цифровые показатели состояния кислотно-основного баланса в цвет. Сдвиг в сторону ацидоза (понижение pH и повышение УПП) выражается в жёлто-красно-коричневой окраске. Соответственно, чем больше используется резервный механизм энергообмена, тем более в красные цвета окрашивается мозг на карте, а сдвиг кислотно-основного состояния в сторону алкалоза (повышение pH, понижение УПП) выражается в окрашивании карты в голубые и синие тона. Нормальный уровень метаболизма мозга окрашен в зелёный цвет, при этом нормативные значения прибор рассчитывает с учётом возраста, пола и доминирующего полушария пациента [13].

В результате выполнения НЭК регистрировался уровень постоянных потенциалов в 5 зонах мозга — лобной, центральной, правой и левой височных и затылочной. УПП автоматически сравнивались с рассчитанными программой нормативными значениями, в результате чего делался вывод о повышении/понижении уровня метаболизма в определённых зонах головного мозга или соответствия УПП нормативным показателям.

Размер выборки соответствовал количеству всех протоколов НЭК, выполненных в период с 20.06.2019 по 14.09.2020.

Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием программы STATISTICA 10.0 (разработчик StatSoft Inc). Совокупности количественных показателей описывались при помощи значений медианы (Me), минимума, максимума, нижнего и верхнего квартилей (Q1–Q3), поскольку данные не соответствовали нормальному распределению. Номинальные данные описывали с указанием абсолютных значений или процентных долей. Учитывая дескриптивный характер данного исследования, специальные статистические критерии не использовали.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Объектами исследования явились источники данных (электронные медицинские карты, протоколы НЭК). Всего было проанализировано 107 карт, содержащих результаты 138 протоколов проведения НЭК.

Среди пациентов, которым проводилось НЭК, было 60,7% лиц мужского пола и 39,3% лиц женского пола в возрасте от 19 до 88 лет (Me 58, Q1–Q3 41–66). После поступления пациента на лечение и реабилитацию НЭК выполнялось в различные временные промежутки — от первого до 106-го дня госпитализации. В среднем НЭК проводилось на 12-й день (Me) пребывания пациента в центре (Q1–Q3 6–29 дней). В качестве основного диагноза у большинства пациентов (28,9%) определялись последствия инфаркта мозга (I69.3), у 12,1% — последствия внутримозгового кровоизлияния (I69.1), нередко встречались пациенты с последствиями внутричерепной травмы (T90.5) и аноксическим поражением головного мозга (G93.1) — 23,4 и 9,3% соответственно. Остальные нозологии встречались реже (табл. 1).

Все пациенты были осмотрены врачом-психиатром и имели верифицированный диагноз психического расстройства. Все психические расстройства были вызваны основным заболеванием и, соответственно, относились к группе F00–F09 согласно МКБ-10 (органические, включая симптоматические, психические расстройства). Наиболее часто встречались расстройства подгруппы F06 (другие психические расстройства, обусловленные повреждением и дисфункцией головного мозга или соматической болезнью) (87,6%), среди которых наиболее частыми были неуточнённые непсихотические расстройства в связи с сосудистым заболеванием головного мозга (F06.921) и неуточнённые непсихотические расстройства в связи с травмой головного мозга (F06.920) — 40,2 и 20,55% соответственно. В единичных случаях встречались другие органические психические расстройства, такие как органический амнестический синдром, не вызванный алкоголем или другими психоактивными веществами (F04), и органические расстройства личности, такие как расстройство личности в связи со смешанными заболеваниями в связи с травмой головного мозга, эпилепсией (F07).

Таблица. Основной диагноз пациентов, которым проведено нейроэнергетическое картирование

Диагноз согласно МКБ-10	Частота встречаемости, абс. (%)
I69.3	31 (28,9)
T90.5	25 (23,4)
I69.1	13 (12,1)
G93.1	10 (9,3)
I69.2	7 (6,5)
D32.0	4 (3,7)
T94.0	3 (2,8)
D33.1	2 (1,9)
I69.0	2 (1,9)
G93.4	1 (0,9)
D33.3	1 (0,9)
S06.90	1 (0,9)
C71.6	1 (0,9)
I67.1	1 (0,9)
I67.2	1 (0,9)
D42.1	1 (0,9)
D33.0	1 (0,9)
T06.8	1 (0,9)
I70.9	1 (0,9)

Большинство исследований проводилось в условиях отделений реанимации и интенсивной терапии (78,5%), реже — в отделении нейрореабилитации (15,9%) и паллиативном психиатрическом отделении (5,6%).

Большинство обследованных пациентов находилось в непомрачённом сознании (71,1%), примерно у 1/3 пациентов отмечалось то или иное снижение уровня сознания. В вегетативном состоянии находились 9,3% пациентов, в состоянии минимального сознания «минус» — 7,5%, в состоянии минимального сознания «плюс» — 5,6%, в оглушении — 4,7%, в состоянии сопора — 0,9%, комы 1–2-й степени — 0,9%.

Повторное обследование было проведено в 23,4% случаев, при этом у 4,6% пациентов динамическое обследование было проведено более 1 раза. В среднем повторное обследование проводилось на 15-й день (Me) после первого обследования (Q1–Q3 8–30 дней).

На основании результатов определения функциональной активности головного мозга формулировались заключения, содержащие рекомендации по оптимизации реабилитационных мероприятий.

Рассмотрим несколько конкретных примеров.

Клинический пример 1. Пациентке в возрасте 50 лет с диагнозом I69.3 по МКБ-10, находящейся на госпитализации в отделении нейрореабилитации в непомрачённом сознании, в 1-й день после поступления проведено

НЭК. В результате обнаружено, что метаболизм головного мозга значительно снижен в лобной и правой височной областях. Метаболизм в центральной, левой височной и затылочной областях в пределах возрастной нормы. Межполушарная асимметрия энергетического обмена значительно изменена с преобладанием в левом полушарии. Средний уровень энергетического обмена мозга умеренно понижен. Сформулированы следующие рекомендации:

- 1) растормаживание правого полушария:
 - путём визуальной стимуляции: просмотр семейных фотографий и обсуждение того, кто на них изображён, что это был за день, было ли грустно или весело; коротких фильмов о природе, искусстве, про то, что интересовало пациентку до болезни; просмотр знакомых и любимых фильмов, которые могут вызвать эмоциональный отклик;
 - путём звуковой стимуляции: предъявление музыкальных произведений; их обсуждение; предъявление речи с просьбой описать вызываемые эмоции и впечатления;
- 2) стимуляция функциональной активности мозга в лобной и правой височной областях (возможно использование транскраниальной магнитной стимуляции).

Через 14 дней проведено динамическое обследование и скорректированы рекомендации: в динамике наблюдается значительное повышение метаболизма головного мозга. Склонность к ацидозу, который может провоцировать эпилепсию. Метаболизм в лобной области в пределах возрастной нормы, в центральной и затылочной областях — умеренно повышен, в височных областях (правая и левая) — значительно повышен. Межполушарная асимметрия энергетического обмена в пределах нормы. Не рекомендована стимуляция функциональной активности мозга во избежание эпилепсии.

С учётом данных сведений мультидисциплинарной бригадой по нейрореабилитации проведена работа в необходимом объёме, пациентка выписана из стационара в удовлетворительном состоянии.

Клинический пример 2. Пациенту мужского пола в возрасте 66 лет с диагнозом I69.3, согласно МКБ-10, НЭК выполнено на 32-й день госпитализации в условиях отделения реанимации и интенсивной терапии. По результатам анализа УПП головного мозга сформулированы следующие рекомендации: стимуляция функциональной активности мозга с упором на растормаживание лобных отделов головного мозга; ежедневные занятия с нейропсихологом по 10–15 мин, включая когнитивную тренировку: упражнения на удержание внимания, счёт и контроль за движением (осознанный праксис). Через 14 дней было проведено динамическое обследование, показавшее нормализацию функциональной активности головного мозга.

В целом данные НЭК позволяют корректировать и индивидуализировать характер психокоррекционных

вмешательств. Пример рекомендации: создавать неудобное для пациента положение в постели, для того чтобы сам пациент пробовал преодолеть неудобство и испытывал эмоции по этому поводу; рассказывать эмоционально заряженные истории из прошлого больного; пригласить в Центр значимых для больного людей; провести работу с зеркалом и с разночастотными звуками колоколов (медицинский психолог).

С помощью НЭК можно определять также интенсивность нагрузки: например, пациенту были даны следующие рекомендации: избегать чрезмерных нагрузок, время когнитивных тренировок не более 15 мин, использование БОС-тренинга (использование биологической обратной связи) на расслабление. Кроме того, при помощи данного метода можно судить об эффективности проводимой терапии. Пример заключения: средний уровень энергетического обмена мозга во всех областях мозга в пределах нормы. Метаболизм активный, что может указывать на хороший восстановительный потенциал мозга и/или положительное влияние медикаментозной и немедикаментозной коррекции. Межполушарная асимметрия энергетического обмена в пределах нормы. Без патологических отклонений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, НЭК может рассматриваться эффективным методом оптимизации реабилитационных мероприятий путём оценки уровня метаболизма головного мозга. Данная методика практически не имеет противопоказаний и может применяться у пациентов обоего пола, разных возрастных и нозологических категорий, в условиях как отделений реанимации и интенсивной терапии, так и отделений реабилитации.

Путём НЭК возможно определение функционального нарушения различных зон мозга при его органических поражениях, что позволяет разрабатывать индивидуальные программы нейрореабилитации: подбирать когнитивную нагрузку (её частоту, интенсивность, содержание), оптимизировать психокоррекционные мероприятия. Возможно (в совокупности с данными функциональной магнитно-резонансной томографии, ПЭТ) определять также зоны для стимуляции путём транскраниальной магнитной стимуляции. Кроме того, по результатам НЭК можно судить об эффективности проводимой терапии, оценивать динамические изменения метаболизма на фоне активных реабилитационных мероприятий.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шкловский В.М. Нейрореабилитация больных с последствиями инсульта и черепно-мозговой травмы // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2015. Т. 115, № 3. С. 75–81. doi:10.17116/jnevro20151153275-81
2. Khan F., Amatya B., Galea M.P., et al. Neurorehabilitation: applied neuroplasticity // J Neurol. 2017. Vol. 264, N 3. P. 603–615. doi: 10.1007/s00415-016-8307-9
3. Hömberg V. Neurorehabilitation approaches to facilitate motor recovery // Handb Clin Neurol. 2013. N 110. P. 161–173. doi: 10.1016/B978-0-444-52901-5.00014-9
4. O'Neil O., Fernandez M.M., Herzog J., et al. Virtual reality for neurorehabilitation: Insights From 3 European Clinics // PM R. 2018. Vol. 10, N 9 (Suppl 2). S198–S206. doi: 10.1016/j.pmrj.2018.08.375
5. Lebedev M.A., Nicolelis M.A. Brain-machine interfaces: from basic science to neuroprostheses and neurorehabilitation // Physiol Rev. 2017. Vol. 97, N 2. P. 767–837. doi: 10.1152/physrev.00027.2016
6. Ганин И.П., Ким С.А., Либуркина С.П., и др. Набор текста пациентами с постинсультной афазией в комплексе «НейроЧат» на основе технологии интерфейсов мозг-компьютер на волне P300 // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2020. Т. 70, № 4. С. 435–445. doi: 10.31857/S0044467720040036
7. León Ruiz M., Rodríguez Sarasa M.L., Sanjuán Rodríguez L., et al. Current evidence on transcranial magnetic stimulation and its potential usefulness in post-stroke neurorehabilitation: Opening new doors to the treatment of cerebrovascular disease. Evidencias actuales sobre la estimulación magnética transcraneal y su utilidad potencial en la neurorrehabilitación postictus: Ampliando horizontes en el tratamiento de la enfermedad cerebrovascular // Neurologia. 2018. Vol. 33, N 7. P. 459–472. doi: 10.1016/j.nrl.2016.03.008
8. Jauset-Berrocal J.A., Soria-Urios G. Neurorehabilitación cognitiva: fundamentos y aplicaciones de la musicoterapia neurológica [Cognitive neurorehabilitation: the foundations and applications of neurologic music therapy]. Rev Neurol. 2018. Vol. 67, N 8. P. 303–310.
9. Sánchez Rodríguez M.T., Collado Vázquez S., Martín Casas P., et al. Neurorehabilitation and apps: A systematic review of mobile applications. Apps en neurorrehabilitación. Una revisión sistemática de aplicaciones móviles // Neurologia. 2018. Vol. 33, N 5. P. 313–326. doi: 10.1016/j.nrl.2015.10.005
10. Шмырев В.И., Витько Н.К., Миронов Н.П., и др. Нейроэнергокартирование — высокоинформативный метод оценки функционального состояния мозга. Данные нейроэнергокартирования при когнитивных нарушениях и снижении умственной работоспособности. Методические рекомендации. Москва, 2010.
11. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Энергетическая физиология мозга. Москва: Антидор, 2003.
12. Sokoloff L. Energetics of functional activation in neural tissues // Neurochem Res. 1999. Vol. 24. P. 321–329.
13. Соколова Л.П., Шмырев В.И., Витько Н.К. Метаболизм мозга по данным нейроэнергокартирования при когнитивных расстройствах различного генеза // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2012. № 2. С. 18–22.
14. Михеев Н.Н., Борисова Ю.В. Инструментальная диагностика нейрометаболизма при додементных когнитивных расстройствах у пациентов молодого и среднего возраста // Медицинский вестник МВД. 2010. № 6. С. 30–33.
15. Борисова Ю.В., Шмырев В.И., Витько Н.К., Соколова Л.П. Современные методы диагностики легких и умеренных когнитивных расстройств различного генеза // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2010. № 4. С. 7–11.
16. Шевченко О.И., Лахман О.Л. Особенности распределения уровня постоянного потенциала у пациентов с вибрационной болезнью в сочетании с метаболическими нарушениями // Экология человека. 2020. № 10. С. 38–44.
17. Лебедев Д.А., Черноситов А.В., Боташева Т.Л., Степанова Т.А. Нейроэнергетические корреляты психоэмоциональных феноменов (проявлений) климактерического синдрома // Российский психологический журнал. 2019. Т. 16, № 1. С. 14–31.
18. Брук Т.М., Стрельчева К.А., Осипова Н.В., и др. Комплексный подход в оценке функционального состояния высококвалифицированных спортсменов циклических видов спорта в подготовительный период // Спортивная медицина: наука и практика. 2017. Т. 7, № 1. С. 24–28.
19. Бедерева Н.С. Особенности энергетического метаболизма и активационных влияний на кору головного мозга детей 8–10 лет г. Красноярск // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 2, № 3. С. 132–136.
20. Антонова И.В., Сидорова Е.Ю., Панков М.Н., Подплекин А.Н. Сравнительный анализ показателей агрессивности и характера распределения постоянных потенциалов головного мозга у детей младшего школьного возраста // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. С. 8.
21. Аникина Н.Ю., Грибанов А.В., Кожевникова И.С., и др. Характеристика церебральных энергетических процессов у молодых людей при адаптации к условиям Арктического региона // Человек. Спорт. Медицина. 2019. Т. 19, № 2. С. 7–13.
22. Депутат И.С., Грибанов А.В., Большевидцева И.Л. Особенности энергетического обмена головного мозга у жительниц европейского севера России в пожилом возрасте (на примере Архангельской области) // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2016. № 4. С. 5–12.

23. Муллер Т.А., Шилев С.Н. Нейрометаболизм головного мозга у детей с синдромом дефицита внимания с гиперактивностью при тренировках гиперкапнической гипоксией // *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*. 2016. Т. 6, № 1. С. 106–109.
24. Бедерева Н.С. Особенности нейроэнергетического метаболизма и активационных влияний на кору головного мозга детей 8–10 лет с разным типом темперамента и успешностью обучения: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Челябинск, 2017.
25. Князева И.В. Когнитивные нарушения у пациентов с психовегетативным синдромом (нейрометаболические аспекты): Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2016.

REFERENCES

1. Shklovskii VM. Neurorehabilitation of patients after stroke and brain injury. *S.S. Korsakov journal of neurology and psychiatry*. 2015;115(3):75–81 (In Russ). doi: 10.17116/jnevro20151153275-81
2. Khan F, Amatya B, Galea MP, et al. Neurorehabilitation: applied neuroplasticity. *J Neurol*. 2017;264(3):603–615. doi: 10.1007/s00415-016-8307-9
3. Hömberg V. Neurorehabilitation approaches to facilitate motor recovery. *Handb Clin Neurol*. 2013;110:161–173. doi: 10.1016/B978-0-444-52901-5.00014-9
4. O'Neil O, Fernandez MM, Herzog J, et al. Virtual reality for neurorehabilitation: Insights From 3 European Clinics. *PM R*. 2018;10(9 Suppl 2):S198–S206. doi: 10.1016/j.pmrj.2018.08.375
5. Lebedev MA, Nicoletis MA. Brain-machine interfaces: from basic science to neuroprostheses and neurorehabilitation. *Physiol Rev*. 2017;97(2):767–837. doi: 10.1152/physrev.00027.2016
6. Ganin IP, Kim SA, Liburkina SP. Text typing in patients with post-stroke afasia in the p300 brain-computer interface based "Neurochat" complex. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*. 2020;70(4):435–445. (In Russ). doi: 10.31857/S0044467720040036
7. León Ruiz M, Rodríguez Sarasa ML, Sanjuán Rodríguez L, et al. Current evidence on transcranial magnetic stimulation and its potential usefulness in post-stroke neurorehabilitation: Opening new doors to the treatment of cerebrovascular disease. Evidencias actuales sobre la estimulación magnética transcraneal y su utilidad potencial en la neurorehabilitación postictus: Ampliando horizontes en el tratamiento de la enfermedad cerebrovascular. *Neurología*. 2018;33(7):459–472. doi: 10.1016/j.nrl.2016.03.008
8. Jauset-Berrocal JA, Soria-Urios G. Neurorehabilitación cognitiva: fundamentos y aplicaciones de la musicoterapia neurológica [Cognitive neurorehabilitation: the foundations and applications of neurologic music therapy]. *Rev Neurol*. 2018;67(8):303–310.
9. Sánchez Rodríguez MT, Collado Vázquez S, Martín Casas P, et al. Neurorehabilitation and apps: A systematic review of mobile applications. Apps en neurorehabilitación. Una revisión sistemática de aplicaciones móviles. *Neurología*. 2018;33(5):313–326. doi: 10.1016/j.nrl.2015.10.005
10. Shmyrev VI, Vit'ko NK, Mironov NP, et al. Neuro-energy mapping is a highly informative method for assessing the functional state of the brain. Neuroenergetic mapping data for cognitive impairment and reduced mental performance. Methodological recommendations [Neuroenergokartirovanie – vysokoinformativnyi metod otsenki funktsional'nogo sostoyaniya mozga. Dannye neuroenergokartirovaniya pri kognitivnykh narusheniyakh i snizhenii umstvennoi rabotosposobnosti. Metodicheskie rekomendatsii]. Moscow; 2010. (In Russ).
11. Fokin VF, Ponomareva NV. Energy physiology of the brain [Energeticheskaya fiziologiya mozga]. Moscow: Antidor; 2003. (In Russ).
12. Sokoloff L. Energetics of functional activation in neural tissues. *Neurochem Res*. 1999;24:321–329.
13. Sokolova LP, Shmyrev VI, Vit'ko NK. Brain metabolism according to neuroenergetic data in cognitive disorders of various origins. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskii vestnik*. 2012;(2):18–22. (In Russ).
14. Miheev NN, Borisova YuV. Instrumental'naya diagnostika neirometabolizma pri dodementnykh kognitivnykh rasstroistvakh u patsientov molodogo i srednego vozrasta. *Meditsinskii vestnik MVD*. 2010;(6):30–33. (In Russ).
15. Borisova YuV, Shmyrev VI, Vit'ko NK, Sokolova LP. Sovremennye metody diagnostiki legkikh i umerennykh kognitivnykh rasstroistv razlichnogo geneza. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskii vestnik*. 2010;(4):7–11. (In Russ).
16. Shevchenko OI, Lahman OL. Features of the distribution of the level of constant potential in patients with vibration disease in combination with metabolic disorders. *Ehkologiya cheloveka*. 2020;(10):38–44. (In Russ).
17. Lebedev DA, Chernositov AV, Botasheva TL, Stepanova TA. Neuroenergetic correlates of psychoemotional phenomena (manifestations) of menopausal syndrome. *Rossiiskii psikhologicheskii zhurnal*. 2019;16(1):14–31. (In Russ).
18. Bruk TM, Strelycheva KA, Osipova NV, et al. Kompleksnyi podkhod v otsenke funktsional'nogo sostoyaniya vysokokvalifitsirovannykh sportsmenov tsiklicheskiikh vidov sporta v podgotovitel'nyi period. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika*. 2017;7(1):24–28. (In Russ).
19. Bedereva NS. Features of energy metabolism and activation effects on the cerebral cortex of children aged 8–10 years in Krasnoyarsk. *Uspekhi sovremennoi nauki i obrazovaniya*. 2017;2(3):132–136. (In Russ).
20. Antonova IV, Sidorova EYu, Pankov MN, Podoplekin AN. Comparative analysis of indicators of aggressiveness and the nature of the distribution of constant brain potentials in primary school children. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015;(2):8. (In Russ).
21. Anikina NYu, Gribov AV, Kozhevnikova IS, et al. Characteristics of cerebral energy processes in young people when adapting to the conditions of the Arctic region. *Chelovek. Sport. Medicina*. 2019;19(2):7–13. (In Russ).

22. Deputat IS, Gribanov AV, Bol'shevidceva IL. Features of the energy exchange of the brain in the residents of the European north of Russia in old age (on the example of the Arkhangelsk region). *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta*. Seriya: Mediko-biologicheskie nauki. 2016;(4):5–12. (In Russ).

23. Muller TA, Shilov SN. Neurometabolism of the brain in children with attention deficit hyperactivity disorder during training hypercapnic hypoxia. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*. 2016;6(1):106–109. (In Russ).

24. Bedereva NS. Osobennosti neuroehnergometabolizma i aktivatsionnykh vliyaniy na koru golovnogogo mozga detei 8–10 let s raznym tipom temperamenta i uspeshnost'yu obucheniya [dissertation abstract]. Chelyabinsk; 2017. (In Russ).

25. Knyazeva IV. Kognitivnye narusheniya u patsientov s psikhovegetativnym sindromom (neirometabolicheskie aspekty) [dissertation abstract]. Moscow; 2016. (In Russ).

26. Sokolova LP. Osobennosti neirometabolizma i perfuzii golovnogogo mozga s pozitsii patogeneticheskikh mekhanizmov formirovaniya dodementnykh kognitivnykh rasstroistv razlichnogo geneza [dissertation abstract]. Moscow; 2012. (In Russ).

27. Messinis L, Kosmidis MH, Nasios G, et al. Cognitive neuro-rehabilitation in acquired neurological brain injury. *Behav Neurol*. 2019;2019:8241951. doi: 10.1155/2019/8241951

28. Frai AV, Vorontsova VS, Pichugina IM. Using neuroenergy mapping to build a personalized approach to cognitive rehabilitation of patients with vascular lesions of the brain. *Medical and social expert evaluation and rehabilitation*. 2020;23(1):5–8. (In Russ). doi: 10.17816/MSER34232

ОБ АВТОРАХ

Автор, ответственный за переписку:

Прадхан Пранил, м.н.с.;

адрес: Россия, 107031, Москва, ул. Петровка, 25, стр. 2;

e-mail: praniopr@gmail.com

Соавторы:

Воронцова Виктория Сергеевна, м.н.с.;

e-mail: vvorontsova@fnkcrr.ru

Шуенков Денис Андреевич, н.с.;

e-mail: dshunenkov@fnkcrr.ru

AUTHORS' INFO

The author responsible for the correspondence:

Pradhan PraniL, Junior Research Associate;

address: 25-2, Petrovka street, Moscow, 107031, Russia;

e-mail: praniopr@gmail.com

Co-authors:

Viktoriya S. Vorontsova, Junior Research Associate;

e-mail: vvorontsova@fnkcrr.ru

Denis A. Shunenkov, Researcher;

e-mail: dshunenkov@fnkcrr.ru