

EDN: <https://elibrary.ru/brfvsc>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-11-709-714>

УДК 613.64:612.822.3

© Коллектив авторов, 2023

Шевченко О.И., Лахман О.А., Русанова Д.В.

Оценка нейрофункциональной активности у пациентов с вибрационной болезнью, связанной с воздействием локальной вибрации

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 12-а микрорайон, 3, а/я 1170, г. Ангарск, 665827

Введение. Стрессовое воздействие локальной вибрации способствует развитию церебральной дисфункции с формированием нейросенсорного дефицита у пациентов с вибрационной болезнью, связанной с воздействием локальной вибрации (ВБ_{лок}).

Цель исследования — выявить особенности изменений показателей соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП), нейроэнергокартирования и нейропсихологического тестирования у пациентов с ВБ_{лок}.

Материалы и методы. Обследованы 103 пациента с ВБ_{лок}. (I группа), 35 здоровых мужчин (группа сравнения). Применяли методы регистрации ССВП, уровня постоянного потенциала (УПП), нейропсихологическое тестирование.

Результаты. В I группе при сопоставлении с группой сравнения выявлено значимое усиление церебрального энергетического обмена в виде повышения УПП в лобных правом и левом (Fd, Fs), центральных (Cd, Cz, Cs), теменных (Pd, Pz, Ps), затылочных (Oz), правом и центральном височных (Td, Tz) отделах мозга, увеличение латентности пиков N10, N11, N13, N30, межпикового интервала N13–N18 при $p < 0,04$, когнитивная дисфункция с лёгкой заинтересованностью префронтальных отделов лобных долей, нижневисочного и нижнетеменного отделов, теменно-височно-затылочной зоны левого полушария, а также подкорковых структур. Данные корреляционного анализа позволяют предполагать, что замедление восходящего соматосенсорного потока от уровня ганглий плечевого сплетения до вентропостеролатерального ядра таламуса способствует возникновению компенсаторного состояния в виде усиления энергетических процессов в лобно-центральных и теменных отделах коры мозга, обуславливающих развитие нарушений в когнитивной сфере.

Ограничения исследования. Ограничениями исследования являлись отсутствие изучения воздействия локальной вибрации на церебральную гемодинамику и состояние эфферентных проводящих путей центральной нервной системы у пациентов с ВБ.

Выводы. Признаками нарушения нейрофункциональной активности при ВБ_{лок} являются увеличение длительности межпиковых интервалов N10–N13 и N11–N13, латентности пика N10, УПП лобного правого и центрального левого отделений, УПП межполушарных отношений по центральному отделу, снижение категориального и понятийного мышления, кратковременной (слухоречевой) памяти, зрительного гнозиса, экспрессивной речи.

Этика. Исследование проведено с соблюдением этических стандартов, разработанных в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утверждёнными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266. От каждого человека было получено информированное согласие на участие в обследовании, одобренное в установленном порядке локальным этическим комитетом.

Ключевые слова: вибрационная болезнь; головной мозг; уровень постоянного потенциала; соматосенсорные вызванные потенциалы; нейропсихологическое тестирование

Для цитирования: Шевченко О.И., Лахман О.А., Русанова Д.В. Оценка нейрофункциональной активности у пациентов с вибрационной болезнью, связанной с воздействием локальной вибрации. *Мед. труда и пром. экол.* 2023; 63(11): 709–714. <https://elibrary.ru/brfvsc> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-11-709-714>

Для корреспонденции: Шевченко Оксана Ивановна, старший научный сотрудник лаборатории профессиональной и экологически обусловленной патологии ФГБНУ ВСИМЭИ, канд. биол. наук. E-mail: oich68@list.ru

Участие авторов:

Шевченко О.И. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста;

Лахман О.А. — редактирование;

Русанова Д.В. — сбор и обработка данных.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Государственного задания.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 26.10.2023 / Дата принятия к печати: 15.11.2023 / Дата публикации: 15.12.2023

Oxana I. Shevchenko, Oleg L. Lakhman, Dina V. Rusanova

Assessment of neurofunctional activity in patients with vibration disease caused of local vibration

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 3, 12-a mikrodistrict, Angarsk, 665827

Introduction. The stressful effect of local vibration contributes to the development of cerebral dysfunction with the formation of a sensorineural deficit in patients with vibration disease associated with exposure to local vibration.

The study aims to identify the features of changes in somatosensory evoked potentials, neuroenergocarting and neuropsychological testing in patients with local vibration.

Materials and methods. Scientists examined 103 patients with local vibration (group one), 35 healthy men (comparison group). We used methods of registration of somatosensory evoked potentials (SSEP), constant potential level (CPL), neuropsychological testing.

Results. The authors revealed in the first group, in comparison with the other group, a significant increase in cerebral energy metabolism in the form of an increase in the level of constant potential in the frontal right and left (Fd, Fs), central (Cd, Cz, Cs), parietal (Pd, Pz, Ps), occipital (Oz), right and central temporal (Td, Tz) brain regions, increased latency of peaks N10, N11, N13, N30, peak interval N13–N18 at $p < 0.04$, cognitive dysfunction with mild damage to prefrontal frontal lobes,

inferior temporal and inferior parietal regions, parietal-temporal-occipital zone of the left hemisphere, as well as subcortical structures. The data of the correlation analysis indicate that the slowing down of the ascending somatosensory flow from the level of the brachial plexus ganglia to the ventroposterolateral nucleus of the thalamus contributes to the emergence of a compensatory state in the form of an increase in energy processes in the frontal-central and parietal parts of the cerebral cortex, causing the development of cognitive disorders.

Limitations. The limitations of the study were the lack of studying the effects of local vibration on cerebral hemodynamics and the state of efferent pathways of the central nervous system in patients with local vibration.

Conclusion. Signs of impaired neurofunctional activity in local vibration are an increase in the duration of peak intervals N10–N13 and N11–N13, the latency of peak N10, the level of constant potential of the frontal right and central left leads, the level of constant potential of interhemispheric relations in the central department, a decrease in categorical and conceptual thinking, short-term (auditory) memory, visual gnosis, expressive speech.

Ethics. The study was conducted in compliance with Ethical standards developed in accordance with the Helsinki Declaration of the World Medical Association "Ethical principles of conducting scientific medical research with human participation" as amended in 2000 and "Rules of Clinical Practice in the Russian Federation" approved by Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 266 dated 06/19/2003. Informed consent was received from each person to participate in the survey, approved in accordance with the established procedure by the Local Ethics Committee.

Keywords: vibration disease; brain; constant potential level; somatosensory evoked potentials; neuropsychological testing

For citation: Shevchenko O.I., Lakhman O.L., Rusanova D.V. Assessment of neurofunctional activity in patients with vibration disease caused of local vibration. *Med. truda i prom. ekol.* 2023; 63(11): 709–714. <https://elibrary.ru/brfvsc> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-11-709-714> (in Russian)

For correspondence: Oksana I. Shevchenko, the senior Researcher at the Laboratory of Professional and Environmentally Conditioned Pathology of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Cand. of Sci. (Biol.). E-mail: oich68@list.ru

Author IDs: Shevchenko O.I. <https://orcid.org/0000-0003-4842-6791>

Lakhman O.L. <https://orcid.org/0000-0002-0013-8013>

Rusanova D.V. <https://orcid.org/0000-0003-1355-3723>

Contribution:

Shevchenko O.I. — the concept and design of the study, data collection and processing, writing the text;

Lakhman O.L. — editing;

Rusanova D.V. — data collection and processing.

Funding. The study was carried out within the Framework of the State task.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 26.10.2023 / Accepted: 15.11.2023 / Published: 15.12.2023

Введение. Известно, что при применении виброактивных ручных машин на производстве организм работников подвергается интенсивному воздействию локальной вибрации, сопровождающемуся формированием нейрогуморальных, нейрогормональных, рефлекторных нарушений с развитием патологического процесса как в периферических, так и центральных отделах нервной системы (ЦНС) [1]. В результате избыточного потока импульсов с экстеро- и интерорецепторов характер реакций организма претерпевает изменения, что проявляется в нарушении равновесия возбуждающих и тормозных процессов в ЦНС [2].

В патогенезе вибрационной болезни, связанной с воздействием локальной вибрации (ВБ_{лок.}), лежит каскад расстройств, приводящих к дестабилизации гомеостаза организма вследствие распространения избыточного возбуждения из спинномозговых и таламокортикальных центров вибрационной чувствительности, вызывающего состояние парабриза из-за прогрессирующего снижения вибрационного восприятия, на анатомически близлежащие отделы температурной, болевой чувствительности, сосудодвигательный центр [2–3]. Рядом автором показано, что у пациентов с ВБ_{лок.} имеют место функциональные нарушения ЦНС в виде неврозоподобного синдрома с вегетативной дисфункцией, снижения познавательных функций, изменения сосудов глазного дна, нарушения церебральной гемодинамики, рассогласования регуляторных механизмов центрального и периферического уровня, а также замедления нейродинамических процессов с признаками лобно-подкорковой недостаточности [1, 4–8].

Механизм стрессового воздействия локальной вибрации на организм многогранен и до конца не известен. Исследования, касающиеся аспектов поражения ЦНС

в патогенезе ВБ_{лок.} [7, 9–11], не рассматривают во взаимосвязи состояние центральных афферентных проводящих структур, церебрального энергетического обмена (ЦЭО) и высшей психической деятельности. Кроме того, отсутствуют диагностические признаки нарушения нейрофункциональной активности, которые позволяли бы судить об особенностях поражения головного мозга (ГМ) при ВБ_{лок.} С точки зрения доказательной медицины, вышеизложенное определяет необходимость поиска объективных, патогенетически обоснованных критериев оценки функционального состояния ГМ у пациентов с ВБ_{лок.}

Цель исследования — выявить особенности изменений показателей соматосенсорных вызванных потенциалов, нейроэнергетического картирования и нейропсихологического тестирования у пациентов с ВБ_{лок.}

Материалы и методы. В исследование включены 103 пациента с ВБ_{лок.} (мужчины, I группа, средний возраст — 46,92±0,64 года, средний стаж в профессии — 18,7±1,6 года). Профессиональная принадлежность пациентов с профессиональным заболеванием представлена следующим образом: сборщики-клепальщики, проходчики и слесари по изготовлению и доводке деталей летательных аппаратов. Условия труда на рабочих местах соответствовали 3.2–3.3. классу вредности и опасности, тяжести и напряженности трудового процесса. На рабочих местах обследованных уровни локальной вибрации превышали 126 дБ. Эквивалентные за смену уровни шума превышали гигиенические нормативы до 4–12,2 дБА. Среди жалоб пациентов I группы ведущими были онемение, зябкость и парестезии в кистях, побеление концевых фаланг 2–5 пальцев на холоде, судорожные стягивания и снижение силы в кистях, раздражительность, общая слабость, головные боли, нарушение сна из-за ноющих болей в руках, сни-

жение внимания. Выделены следующие клинические синдромы: умеренно выраженная вегетативно-сенсорная полиневропатия верхних конечностей, периферический ангиодистонический синдром верхних конечностей, приступы акроангиоспазма пальцев рук, остеоартроз локтевых и лучезапястных суставов, компрессионно-ишемическая невропатия локтевых нервов. В группу сравнения (II группа) вошли 35 здоровых мужчин в возрасте $49,19 \pm 0,84$ года с изучаемых производств без признаков ВБ_{лок.}, которые не имели на момент исследования острых и хронических (в стадии обострения) заболеваний.

Состояние ЦЭО оценивали с помощью метода нейроэнергокартирования (НЭК) путём регистрации уровня постоянного потенциала (УПП) на аппаратно-программном комплексе для топографического картирования электрической активности Нейроэнергокартограф «Нейро-КМ» (г. Москва) [12]. Общепринятая методика регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) проводилась на миографе «Нейро-ЭМГ-Микро» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново) [13]. Для диагностики познавательных процессов применяли шкалу «Батарея лобной дисфункции» (англ. *Frontal Assessment Battery — FAB*) [14], «Краткую шкалу оценки психического статуса» (англ. *Mini-mental State Examination, MMSE*) [15], а также нейропсихологические тесты из схемы А.Р. Лурия, оценивающие состояние интеллекта, памяти, гнозиса, праксиса, речи [16, 17].

Анализ данных осуществлялся посредством пакета прикладных программ *Statistica 6.0 Stat Soft Inc.* (США). Проверка нормальности распределения количественных показателей выполнялась с использованием критерия Шапиро–Уилка. Межгрупповое сравнение количественных показателей осуществлялось с использованием непараметрического метода *U*-критерия Манна–Уитни. Результаты исследований представлены в виде медианы и интерквартильного интервала *Me* (*Q1–Q3*). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Статистическая значимость различий показателей, выраженных в процентах, вычислялась по методу углового преобразования Фишера. Корреляционный анализ проводился методом ранговой корреляции *r*-Спирмена. Для выявления диагностических признаков использовался дискриминантный анализ.

Результаты исследования. У пациентов с ВБ_{лок.} по данным НЭК, зарегистрирован рост усреднённого по всем отведениям показателя УПП в 59,2% случаев, тогда как в группе сравнения — только в 14,3% случаев

($p=0,02$). Сравнительный анализ между группами показал, что у пациентов с ВБ_{лок.} монополярно зарегистрированные значения УПП были умеренно и значительно повышены, а также значимо преобладали во всех отведениях, за исключением центрального лобного (*Fz*) и левого височного (*Ts*), при сопоставлении с таковыми группы сравнения (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, у пациентов с ВБ_{лок.} межполушарный височный градиент (*Td–Ts*) статистически значимо имел большее значение, чем в группе сравнения, что указывало на усиление интенсивности ЦЭО в височной коре правого полушария ГМ [18, 19].

Сопоставление показателей ССВП между группами выявило статистически значимое увеличение латентности пиков *N10*, *N11*, *N13*, *N30*, межпикового интервала *N13–N18* у пациентов с ВБ_{лок.} (10,4 (10,4–10,6) и 9,8 (9,6–10), $p=0,00006$); 12,3 (12,4–13,4) и 11,8 (11,4–12,4), $p=0,000004$; 14,6 (13,8–15,2) и 13,6 (13,6–14,2), $p=0,000009$; 32,4 (30,2–33,8) и 30,8 (29,8–32,0), $p=0,039$; 4,4 (3,4–4,8) и 4,6 (3,8–5,0), $p=0,04$ соответственно), характеризующее замедление проведения афферентного импульса от уровня шейного отдела спинного мозга до соматосенсорной зоны коры ГМ.

Установленные нейрофизиологические нарушения инициировали изучение состояния когнитивной сферы, являющейся функцией ЦНС. С помощью нейропсихологического обследования диагностировано расстройство познавательной сферы у пациентов с ВБ_{лок.} в виде легко выраженных нарушений функций категориального (тест «4-й лишний», 1(0–1) и 0, $p=0,0002$ соответственно) и аналитико-синтетического мышления (тест на арифметический счёт, 1(0–2) и 0, $p=0,0002$ соответственно), слухоречевой кратковременной (тест «10 слов», 1(1–2) и 0, $p=0,006$ соответственно) и долговременной памяти (тест «10 слов», 2,5(2–3) и 1(1–2), $p=0,0004$ соответственно), динамического праксиса (проба «кулак–ребро–ладонь», 1(2–3) и 0(0–1), $p=0,014$ соответственно), реципрокной координации (проба Озерского, 1(0–2) и 0(0–1), $p=0,032$ соответственно), зрительного гнозиса (тест «воспроизведение позы пальцев по образцу», 1(0–1) и 0(0–1), $p=0,014$ соответственно), импрессивной (тест на повторение дизъюнктивных пар звуков и оппозиционных фонем, 0(0–1) и 0, $p=0,022$ соответственно) и экспрессивной речи (тест на повторение скороговорок, 0(0–1) и 0, $p=0,027$ соответственно). Статистически значимые отличия межгрупповых показателей по шкале *MMSE* подтверждали

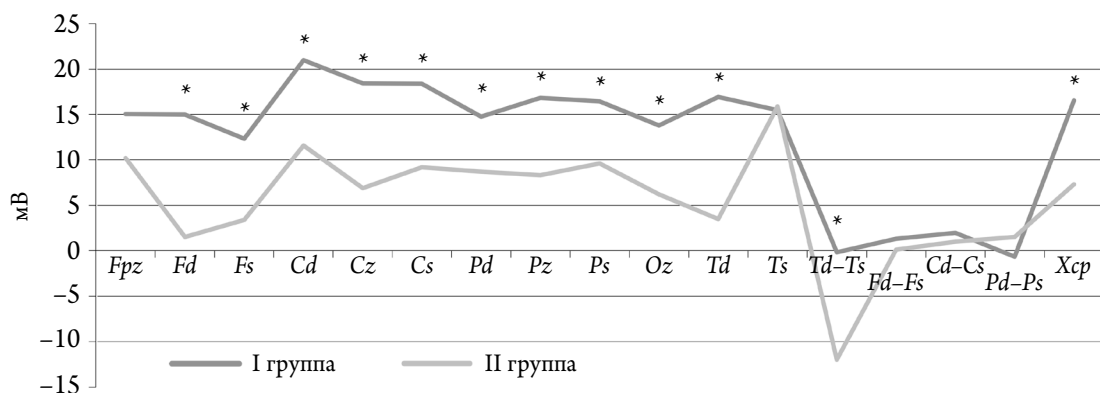


Рис. 1. Профили распределения УПП в исследуемых группах

Примечание: * — различия статистически значимы между I и II группой, $p < 0,001$.

Fig. 1. Distribution profiles of constant potential level (CPL) in the studied groups

Note: * — differences are statistically significant between group I and II, $p < 0,001$.

наличие легко выраженной когнитивной дисфункции у пациентов I группы (26 (22–26) и 28 (27–28), $p=0,0007$ соответственно).

Выявленные корреляционные зависимости, имеющие прямую направленность и умеренно выраженную силу связи, показывают, что повышение УПП в центральном отведении (Cz) сопровождается нарушением реципрокной координации (проба Озерского, $r=0,35$, $p=0,012$), импрессивной (тест на понимание логико-грамматических конструкций, $r=0,30$, $p=0,034$) и экспрессивной речи (тест на повторение слов и фраз, $r=0,37$, $p=0,006$); при нарастании УПП лобного градиента ($Fd-Fs$) снижается деятельность аналитико-синтетического (тест на арифметический счёт, $r=0,33$, $p=0,018$) и понятийного мышления (тест «подбор противоположностей в активном плане», $r=0,30$, $p=0,033$); при увеличении УПП межполушарного центрального градиента $Cd-Cs$ — категориального мышления (тест «4-й лишний», $r=0,36$, $p=0,009$); при увеличении длительности межпикового интервала $N13-N18$ ухудшается состояние понятийного мышления (тест «подбор противоположностей в пассивном плане», $r=0,30$, $p=0,032$).

Применение дискриминантного анализа позволило выделить одиннадцать диагностических признаков: значения показателей межпиковых интервалов $N10-N13$ и $N11-N13$ ($p=0,0004$; $0,0001$ соответственно), латентности пика $N13$ ($p=0,011$), УПП лобного правого отведения (Fd) и центрального левого (Cs) отведений по НЭК ($p=0,011$, $0,032$ соответственно), УПП межполушарных отношений по центральному отделу $Cd-Cs$ по НЭК ($p=0,046$), кратковременной (слухоречевой) памяти ($p=0,0009$), категориального и понятийного мышления ($p=0,017$; $0,021$ соответственно), зрительного (пальцевого) гнозиса ($p=0,004$), экспрессивной речи ($p=0,017$) (рис. 2).

Обсуждение. Проведённое исследование показало, что у пациентов с ВБ_{лок.} состояние ЦЭО характеризуется ростом нейроэнергзатрат в виде умеренно выраженного повышения УПП в центральном (Cz), центральном левом (Cs), теменных (Pz, Pd, Ps), височном правом (Td) отведениях и значительно выраженного повышения — в центральном правом (Cd) отделе. Данный факт может быть объяснён дисфункцией неспецифических ретикуло-лимбико-кортикальных нейронных связей, обусловленной нарушением церебрального кровотока, с преимущественным

переходом механизмов регуляции на подкорковый уровень, с активацией резервного звена катаболизма глюкозы — анаэробного гликолиза [18], усиление которого приводит к нейроэндокринно-обменным, эмоциональным, вегетативным, мотивационным и биоритмологическим расстройствам [19–23].

Анализ состояния центральных проводящих структур по данным ССВП выявил в I группе преимущественные нарушения проведения центростремительного импульса от плечевого сплетения до нижних отделов ствола мозга. Возрастание латентности компонентов $N10$, $N11$ и $N13$, диагностируемое при ВБ_{лок.}, может зависеть от интенсивности афферентного потока по миелинизированным волокнам восходящих структур нервной системы [13].

Расстройство когнитивных функций в виде нарушения категориального и аналитико-синтетического мышления, кратковременной (слухоречевой) и долговременной памяти, динамического праксиса, реципрокной координации, зрительного гнозиса, импрессивной и экспрессивной речи, по данным литературы [16, 24], позволяет говорить о лёгкой заинтересованности префронтальных отделов лобных долей, нижневисочной и нижнетеменной долей, теменно-височно-затылочной зоны (*temporalis-parietalis-occipitalis*, ТРО) левого полушария, а также подкорковых структур, в т. ч. гиппокампа и мозолистого тела.

Повреждающее воздействие, превышающей ПДУ локальной вибрации у пациентов со сформировавшейся ВБ, приводит к расстройству периферической гемодинамики, развитию метаболических изменений в нервно-мышечных и костно-связочных структурах, нарушениям трофической (вегетативной), чувствительной сфер [25]. Поэтому в процессе адаптации к воздействию локальной вибрации, как стрессору, участвуют все органы и системы человека, в том числе и ЦЭО. Что, при обсуждении значимости результатов работы, акцентировало внимание, в продолжение наших исследований, на изучение роли гликолиза и других метаболических путей, сопровождающихся накоплением в мозговых структурах кислых продуктов обмена при ВБ [22, 26, 27].

О содружественных изменениях параметров, характеризующих нейрофункциональную активность, позволяют судить установленные корреляционные связи. Можно предположить, что у пациентов с ВБ_{лок.} возникает состояние компенсаторного усиления энергетических процес-

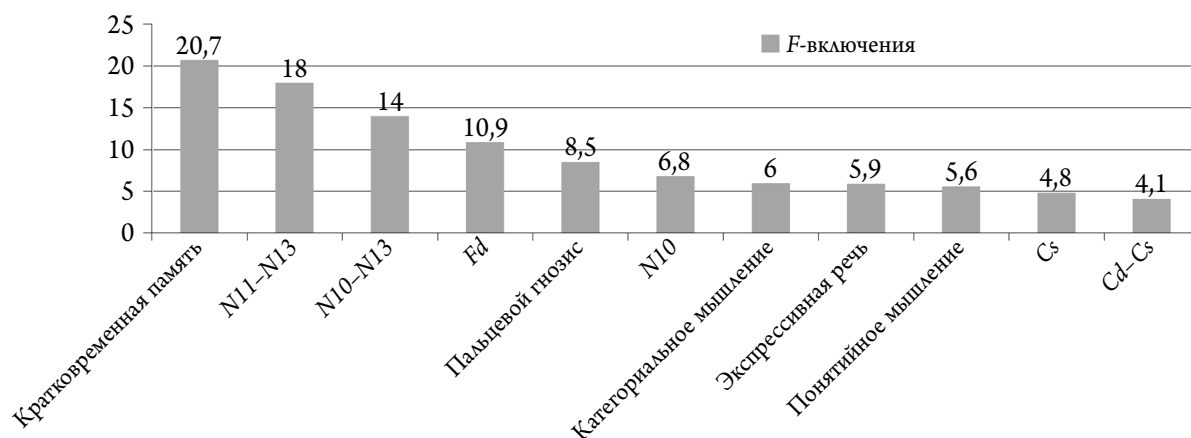


Рис. 2. Информативные показатели дискриминантного анализа для ВБ_{лок.}

Примечание: F-включения — мера вклада переменной в предсказание членства в совокупности.

Fig. 2. Informative indicators of discriminant analysis for local vibration

Note: F — inclusions are a measure of a variable's contribution to predicting membership in a population.

сов в корковых зонах ГМ, в частности, в лобно-центральных и теменных отделах, обуславливающее возникновение когнитивной дисфункции. Близкие по характеру закономерности были описаны нами ранее у пациентов с ВБ, обусловленной комбинированным воздействием локальной и общей вибрации. Однако у них более показательным было увеличение центрального времени проведения афферентного импульса [27]. Результаты дискриминантного анализа отражают закономерности нарушения функциональной активности ГМ при ВБ_{лок.} с высокой степенью точности (98,7%).

Таким образом, авторами определена значимость замедления проведения афферентного импульса и усиления ЦЭО в механизме нарушения когнитивных функций у пациентов с ВБ_{лок.} Полученные результаты, характеризующие нарушения регулирующих влияний со стороны ЦНС, позволяют внести новые объективные знания в понимание патогенеза ВБ_{лок.} а установленные диагностические признаки могут быть полезны при оценке эффективности лечения церебральной дисфункции у пациентов с ВБ_{лок.}

Ограничения исследования. Ограничением исследования является отсутствие изучения воздействия локальной вибрации на церебральную гемодинамику и состояние эфферентных проводящих путей ЦНС у пациентов с ВБ_{лок.}

Выводы:

1. Изменение нейрофункциональной активности у пациентов с вибрационной болезнью, обусловленной воздействием локальной вибрации, проявляется усилением церебрального энергетического обмена во фронтально-теменных отделах, снижением проведения афферентного импульса, когнитивной дисфункцией.

2. У пациентов с ВБ_{лок.} установлено, что усиление нейрорезервозатрат в центральном отделе головного мозга сопровождается нарушением реципрокной координации и речи, в лобном правом отделе — аналитико-синтетического и понятийного мышления. Расстройство кратковременной памяти, речи, понятийного и аналитико-синтетического мышления взаимосвязано с нарушением проведения афферентного импульса от плечевого сплетения до нижних отделов ствола мозга.

3. Диагностическими признаками нарушения нейрофункциональной активности при ВБ_{лок.} являются увеличение длительности межпиковых интервалов N10–N13 и N11–N13, латентности пика N10, уровня постоянного потенциала лобного правого и центрального левого отделений, уровня постоянного потенциала межполушарных отношений по центральному отделу, снижение категориального и понятийного мышления, кратковременной (слухоречевой) памяти, зрительного гнозиса, экспрессивной речи.

Список литературы

1. Трошин В.В., Морозова П.Н. Роль цереброваскулярной патологии и системная профилактика вибрационной болезни у работающих в машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности. *Здоровье населения и среда обитания*. 2015; 1(262): 24–7.
2. Николенко В.Ю., Ласткова Н.Д. От локальной вибрации до вибрационной болезни. *Международный неврологический журнал*. 2011; 1(39): 131–9.
3. Бабанов С.А., Азовскова Т.А., Вакурова Н.В., Бараева Р.А. Модификация классификационных представлений о вибрационной болезни и современные дефиниции. *Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии*. 2019; 3: 44–8.
4. Артамонова В.Г., Колесова Е.Б., Кускова А.В., Швалева О.В. Некоторые современные аспекты патогенеза вибрационной болезни. *Мед. труда и пром. экол.* 1999; 2: 1–4.
5. Малышева С.С., Петров С.А. Связь микроциркуляции сосудов сетчатки органа зрения с общей гемодинамикой у лиц с вибрационной болезнью. *Современные проблемы науки и образования*. 2015; 3. <https://doi.org/10.17513/spno.123-19796> (дата обращения: 01.06.2023).
6. Шпагина А.А., Герасименко О.Н., Новикова И.И., Радоуцкая Е.Ю., Горбунова А.М., Сергеева Я.С. Клинико-функциональная и молекулярная характеристика вибрационной болезни в сочетании с артериальной гипертензией. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(3): 146–58. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-3-146-158>
7. Катаманова Е.В., Нурбаева Д.Ж. Анализ патологической активности ЭЭГ у лиц, подвергающихся воздействию общей и локальной вибрации. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016; 3–4: 570–3. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=8935> (дата обращения: 19.04.2023).
8. Бабанов С.А. Вибрационная профпатология работников: этиология, клиническая картина, лечение и профилактика. *Охрана труда и пожарная безопасность*. 2016; 1, 2. <https://clck.ru/36pKSv> (дата обращения: 31.05.2023)
9. Matoba Ts. Human response to vibration stress in Japanese workers: lessons from our 35-year studies A narrative review. *Ind Health*. 2015; 53(6): 522–32. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2015-0040>
10. Hirata M., Sakakibara H. Visually-evoked P300 and NOGO potentials as indicators of central nervous system function in patients with vibration syndrome. *Int Arch Occup Environ Health*. 2008; 82(1): 79–85. <https://doi.org/10.1007/s00420-008-0309-1>
11. Shavlovskaya O.A. Upper extremity neuromotor dysfunction caused by local vibration. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2015; 7(2): 67–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2015-2-67-74>
12. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Способ оценки энергетического состояния головного мозга: Патент на изобретение RU 2 135077C1. 27.08.1999.
13. Николаев С.Г. *Электромиография: клинический практикум*. Иваново: ИГМА; 2019.
14. Dubois B., Slachevsky A., Litvan I., Pillon B. The FAB: a frontal assessment battery at bedside. *Neurology*. 2000; 55(11): 1621–6.
15. Folstein M.F., Folstein S.E., McHugh P.R. Mini-Mental State: a practical guide for grading the mental state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*. 1975; 12: 189–98.
16. Хомская Е.Д. *Нейропсихология: 4-е издание*. Питер: Санкт-Петербург; 2007.
17. Глозман Ж.М. *Нейропсихологическое обследование: качественная и количественная оценка данных*. М.: НПФ «Смысл»; 2012.
18. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. *Энергетическая физиология мозга*. М.: Антидор; 2003.
19. Котцова О.Н., Аникина Н.Ю., Грибанов А.В., Кожевникова И.С. Половые различия межполушарной асимметрии нейрорезергометаболизма у молодых людей, проживающих в Арктической зоне РФ. *Журн. мед.-биол. исследований*. 2021; 9(3): 275–84. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z065>
20. Агейкин А.В., Мельников В.А., Тычков А.Ю., Алимуратов А.К., Колесова Е.В., Керимова Э.А. и др. Общие сведения о нейропластичности головного мозга и некоторые механизмы ее регуляции. *Психическое здоровье*. 2022; 17(5): 55–61. <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2022.05.55-61>

21. Касьянов Е.Д., Мазо Г.Э. Функционирование гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси при депрессии: актуальное состояние проблемы. *Психическое здоровье*. 2017; 8: 27–34.
22. Неудахин Е.В., Морено И.Г. Углубление представлений о некоторых механизмах формирования хронического стресса. *Вопросы практической педиатрии*. 2016; 11(54): 28–37.
23. Циркин В.И., Трухина С.И., Трухин А.Н. *Нейрофизиология: физиология ЦНС. В 2 частях: учебник для вузов*. М.: Юрайт; 2020.
24. Корсакова Н.К., Москвичуте Л.И. *Клиническая нейропсихология. Учеб. пособие для вузов. — 2-е издание, исправленное и дополненное*. М.: Юрайт; 2018.
25. Рукавишников В.С., Панков В.А., Кулешова М.В., Катаманова Е.В., Картапольцева Н.В., Русанова Д.В., Боденкова Г.М., Титов Е.А. К теории сенсорного конфликта при воздействии физических факторов: основные положения и закономерности формирования. *Мед. труда и пром. экол.* 2015; 4: 1–6.
26. Швалева О.В., Колесова Е.Б., Федорова С.Б. Современные аспекты патогенеза вибрационной болезни. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59(9): 807. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-9-807-808>
27. Шевченко О.И., Русанова Д.В., Лахман О.Л. Оценка нейрорациональной активности у пациентов с вибрационной болезнью, обусловленной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации. *Мед. труда и пром. экол.* 2021; 61(11): 726–33. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-11-726-733>

References

1. Troshin V.V., Morozova P.N. The role of cerebrovascular pathology and systemic prevention of vibration disease in workers in the machine-building and metalworking industries. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2015; 1(262): 24–7 (in Russian).
2. Nikolenko V.Yu., Lastkova N.D. From local vibration to vibration disease. *Mezhdunarodnyj nevrologicheskij zhurnal*. 2011; 1(39): 131–9 (in Russian).
3. Babanov S.A., Azovskova T.A., Vakurova N.V., Baraeva R.A. Modification of classification ideas about vibrational disease and modern definitions. *Vestnik nevrologii, psikiatrii i neirohirurgii*. 2019; 3: 44–8 (in Russian).
4. Artamonova V.G., Kolesova E.B., Kuskova L.V., Shvaleva O.V. Some modern aspects of the pathogenesis of vibration disease. *Мед. труда и пром. экол.* 1999; 2: 1–4 (in Russian).
5. Malysheva S.S., Petrov S.A. Connection of microcirculation of retinal vessels of the organ of vision with general hemodynamics in persons with vibration disease. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015; 3. <https://doi.org/10.17513/spno.123-19796> (Accessed 06/01/2023) (in Russian).
6. Shpagina L.A., Gerasimenko O.N., Novikova I.I., Radoutskaya E.Yu., Gorbunova A.M., Sergeeva Ya.S. Clinical, functional and molecular characteristics of vibration disease in combination with arterial hypertension. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(3): 146–58. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-3-146-158> (in Russian).
7. Katamanova E.V., Nurbaeva D.Zh. Analysis of pathological EEG activity in individuals exposed to general and local vibration. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2016; 3–4: 570–3. <https://clck.ru/36pKSv> (date of access: 04/19/2023) (in Russian).
8. Babanov S.A. Vibration occupational pathology of workers: etiology, clinical picture, treatment and prevention. *Ohrana truda i pozharnaya bezopasnost'*. 2016; 1, 2. (Accessed 31/05/2023) (in Russian).
9. Matoba Ts. Human response to vibration stress in Japanese workers: lessons from our 35-year studies A narrative review. *Ind Health*. 2015; 53(6): 522–32. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2015-0040>
10. Hirata M., Sakakibara H. Visually-evoked P300 and NOGO potentials as indicators of central nervous system function in patients with vibration syndrome. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. 2008; 82(1): 79–85. <https://doi.org/10.1007/s00420-008-0309-1>
11. Shavlovskaya O.A. Upper extremity neuromotor dysfunction caused by local vibration. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2015; 7(2): 67–74 (in Russian). <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2015-2-67-74>
12. Fokin V.F., Ponomareva N.V. Method for assessing the energy state of the brain: Patent for invention RU 2 135 077 C1. 135077C1. 27.08.1999 (in Russian).
13. Nikolaev S.G. *Electromyography: clinical practice*. Ivanovo: IGMA; 2019 (in Russian).
14. Dubois B., Slachevsky A., Litvan I., Pillon B. The FAB: a frontal assessment battery at bedside. *Neurology*. 2000; 55(11): 1621–6 (in Russian).
15. Folstein M.F., Folstein S.E., McHugh P.R. Mini-Mental State: a practical guide for grading the mental state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*. 1975; 12: 189–98.
16. Chomskaia E.D. *Neuropsychology: 4th edition*. Samarskij Dom pechati; 2007 (in Russian).
17. Glozman Zh.M. *Neuropsychological examination: qualitative and quantitative evaluation of data*. M.: NPF "Smysl"; 2012 (in Russian).
18. Fokin V.F., Ponomareva N.V. *Energy physiology of the brain*. M.: Antidor; 2003 (in Russian).
19. Kotsova O.N., Anikina N.Yu., Gribov A.V., Kozhevnikova I.S. Sex differences in interhemispheric asymmetry of neuroenergy metabolism in young people living in the Arctic zone of the Russian Federation. *Zhurn. med.-biol. Issledovanij*. 2021; 9(3): 275–84. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z065> (in Russian).
20. Ageikin A.V., Melnikov V.L., Tychkov A.Yu., Alimuradov A.K., Kolesova E.V., Kerimova E.A. et al. General information about the neuroplasticity of the brain and some mechanisms of its regulation. *Psicheskoe zdorov'e*. 2022; 17(5): 55–61. <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2022.05.55-61> (in Russian).
21. Kasyanov E.D., Mazo G.E. Functioning of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in depression: the current state of the problem. *Psicheskoe zdorov'e*. 2017; 8: 27–34 (in Russian).
22. Neudakhin E.V., Moreno I.G. Deepening of ideas about some mechanisms of chronic stress formation. *Voprosy prakticheskoy pediatrii*. 2016; 11(54): 28–37 (in Russian).
23. Tsirkin V.I., Trukhina S.I., Trukhin A.N. *Neurophysiology: physiology of the CNS. In 2 parts: a textbook for universities*. M.: Yurajt; 2020 (in Russian).
24. Korsakova N.K., Moskvichute L.I. *Clinical neuropsychology. Proc. allowance for universities. 2nd edition, corrected and enlarged*. M.: Yurajt; 2018 (in Russian).
25. Rukavishnikov V.S., Pankov V.A., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., Kartapol'tseva N.V., Rusanova D.V., Bodyenkova G.M., Titov E.A. On the theory of sensory conflict under the influence of physical factors: the main provisions and patterns of formation. *Мед. труда и пром. экол.* 2015; 4: 1–6 (in Russian).
26. Shvalev O.V., Kolesova E.B., Fedorova S.B. Modern aspects of the pathogenesis of vibration disease. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59(9): 807. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-9-807-808> (in Russian).
27. Shevchenko O.I., Rusanova D.V., Lakhman O.L. Assessment of neurofunctional activity in patients with vibration disease caused by combined effects of local and general vibration. *Мед. труда и пром. экол.* 2021; 61(11): 726–33. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-11-726-733> (in Russian).