

Оценка нейрофункциональной активности у пациентов с вибрационной болезнью, обусловленной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации

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

Введение. Отмечается недостаточная изученность патофизиологических механизмов, совокупная роль расстройств церебрального функционирования в формировании нейросенсорного дефицита при вибрационной болезни (ВБ).

Цель исследования — выявить изменения показателей, характеризующих нейрофункциональную активность, у пациентов с ВБ, обусловленной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации.

Материалы и методы. Обследованы 42 пациента с ВБ (I группа), 35 здоровых мужчин (группа сравнения). Применяли методы электронейромиографии, нейроэнергетического картирования, нейропсихологического тестирования.

Результаты. В I группе при сопоставлении с группой сравнения выявлено увеличение латентности N9, N10, N11, N13, N25, N30, длительности межпикового интервала N10–N13 ($p=0,002$; $0,0001$; $0,0002$; $0,0001$; $0,0023$; $0,005$; $0,01$ соответственно); увеличение локальных уровней постоянного потенциала (УПП) в лобных, центральных, правом теменном, затылочном, правом височном отделах мозга ($p=0,037$; $0,0007$; $0,0005$; $0,01$; $0,0004$; $0,014$; $0,029$; $0,028$; $0,001$ соответственно).

Когнитивные нарушения у пациентов с ВБ соответствуют легко выраженному расстройству аналитико-синтетического и понятийного мышления, кратковременной (слухоречевой), зрительной образной, долговременной памяти, динамического праксиса, реципрокной координации, импрессивной и экспрессивной речи. Выявленная сопряженность показателей УПП лобного левого отведения и латентности пика N30, длительности N13–N20 и показателя аналитико-синтетического мышления ($r=0,51$, $p=0,004$; $r=0,50$, $p=0,005$ соответственно) свидетельствует о патогенетической значимости в нарушении нейрофункциональной активности снижения корковой активации в результате прихода к коре сенсорной послышки от ствола головного мозга, усиления энергообмена в лобном отделе левого полушария.

Заключение. Признаком нарушения нейрофункциональной активности при ВБ от сочетанного воздействия локальной и общей вибрации является снижение постсинаптической активности нейронов, времени прохождения сигнала по афферентным путям на уровне шейного отдела спинного мозга, динамического праксиса, кратковременной (слухоречевой) памяти, усиление энергетического обмена в височном правом и лобном левом отделах головного мозга.

Этика. Работа соответствует этическим стандартам, разработанным 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», утвержденными 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; нейрофункциональная активность; головной мозг; соматосенсорные вызванные потенциалы; уровень постоянного потенциала; нейропсихологическое тестирование

Для цитирования: Шевченко О.И., Русанова Д.В., Лахман О.Л. Оценка нейрофункциональной активности у пациентов с вибрационной болезнью, обусловленной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации. *Мед. труда и пром. экол.* 2021; 61(11): 726–733. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-11-726-733>

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

Участие авторов:

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

Русанова Д.В. — сбор и обработка материала, редактирование;

Лахман О.Л. — концепция исследования, редактирование.

Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Финансирование. Финансирование осуществлялось в рамках выполнения Государственного задания по фундаментальным и поисковым научным исследованиям.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 22.06.2021 / Дата принятия к печати: 12.11.2021 / Дата публикации: 06.12.2021

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

Assessment of neurofunctional activity in patients with vibration disease caused by combined effects of local and general vibration

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 3, 12A Mikrorayon str., Angarsk, Russia, 665827

Introduction. The authors note insufficient knowledge of pathophysiological mechanisms, the cumulative role of cerebral functioning disorders in the formation of sensorineural deficit in vibration disease (VD).

The study aims to identify changes in indicators characterizing neurofunctional activity in patients with VD due to the combined effects of local and general vibration.

Materials and methods. The study involved 42 patients with VD (group I), 35 healthy men (comparison group). Researchers used methods of electroneuromyography, neuroenergetic mapping, and neuropsychological testing.

Results. In group I, when compared with the comparison group, we have detected an increase in latency N9, N10, N11, N13, N25, N30, the duration of the peak interval N10–N13 ($p=0,002$; $0,0001$; $0,0002$; $0,0001$; $0,0023$; $0,005$; $0,01$ respectively); an increase in local levels of constant potential (LCP) in the frontal, central, right parietal, occipital, right temporal parts of the brain ($p=0,037$; $0,0007$; $0,0005$; $0,01$; $0,0004$; $0,014$; $0,029$; $0,028$; $0,001$ respectively).

Cognitive impairments in patients with VD correspond to an easily expressed disorder of analytical-synthetic and conceptual thinking, short-term (auditory-speech), visual imagery, long-term memory, dynamic praxis, joint coordination, impressive and expressive speech.

The revealed conjugacy of the indicators of the LCP of the frontal left abduction, and the latency of the peak N30, duration N13–N20, and the hand of analytical and synthetic thinking ($r=0.51$, $p=0.004$; $r=0.50$, $p=0.005$, respectively) indicates the pathogenetic significance in the violation of neurofunctional activity of a decrease in cortical activation as a result of the arrival of a sensory message from the brain stem to the cortex, increased energy exchange in the frontal part of the left hemisphere.

Conclusions. A sign of impaired neurofunctional activity in VB from the combined effects of local and general vibration is a decrease in the postsynaptic action of neurons, the time of signal passage through afferent pathways at the level of the cervical spinal cord, dynamic praxis, short-term (auditory-speech) memory, increased energy metabolism in the temporal right and left frontal brain.

Ethics. The work complies with ethical standards developed under the Helsinki Declaration of the World Medical Association "Ethical Principles of conducting Scientific medical research with human participation" as amended in 2000 and the "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. Furthermore, we received informed consent from each person to participate in the survey, approved by the established procedure by the local Ethics Committee.

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

For citation: 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. *Med. truda i prom. ekol.* 2021; 61(11): 726–733. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-11-726-733> (in Russian).

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

Information about the authors: Shevchenko O.I., <https://orcid.org/0000-0003-4842-6791>

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

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

Contribution:

Shevchenko O.I. — research concept and design, material collection and data processing, text writing, editing;

Rusanova D.V. — collection and processing of material, editing;

Lakhman O.L. — research concept, editing.

All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Funding. The funding was carried out within the framework of the State Task on fundamental and Exploratory scientific research.

Conflict of interests. The authors no conflict of interest.

Received: 22.06.2021 / Accepted: 12.11.2021 / Published: 06.12.2021

Введение. В Российской Федерации более 40% трудящихся осуществляют свою профессиональную деятельность в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим требованиям. Неудовлетворительные условия труда по сей день являются базой для развития профессиональных заболеваний, среди которых вибрационная болезнь (ВБ) остается одной из ведущих нозологических форм в структуре заболеваний, связанных с воздействием физических производственных факторов. Возникновение и развитие ВБ сопровождается нейросудистыми, нейромедиаторными, вестибулокоординаторными нарушениями, неизбежно приводящими к патологическим изменениям в функциональной деятельности ЦНС, инициирующих формирование изменений нейропластичности мозга [1–3]. Развитие последних чревато неадекватностью ответных компенсаторно-приспособительных реакций организма факторам воздействия среды, формированием нарушений психической деятельности [4, 5].

Рядом авторов показана взаимосвязь афферентной и моторной составляющей двигательного поведения от рефлекторной дуги до корковых полей [6–10]. По мнению Вахниной Н.В. с соавторов (2017) нарушения походки, изменения постральной устойчивости и сосудистые когнитивные нарушения не только объединены общим патогенезом, но и непосредственно влияют на выраженность друг друга [11]. Соколова Л.П. и соавторы (2020) считают, что одним из механизмов и причиной развития сосудистого когнитивного дефицита следует считать энергетический дефицит мозга [12]. При разработке лечебно-профилактических программ терапии неврологического дефицита рекомендуется учитывать особенности состояния восходящего афферентного потока, биоэлектриче-

ской активности, церебрального энергетического обмена и психической деятельности [13–15].

К настоящему времени в медицине труда накоплены сведения о применении нейрофизиологических и нейропсихологических методов для оценки нейрофункциональной активности при ВБ [16–21]. Вместе с тем данные исследования чаще устанавливают факт нарушений, не всегда объясняя патогенетическую значимость выявленных изменений. Необходимо рассматривать в совокупности роль расстройств церебрального функционирования в формировании нейросенсорного дефицита, разрабатывать новые подходы с выделением наиболее информативных методов исследования ВБ, её диагностических признаков.

Цель исследования — выявить изменения показателей, характеризующих нейрофункциональную активность, у пациентов с вибрационной болезнью, обусловленной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации (ВБ_{соч.}).

Материалы и методы. В клинических условиях обследованы 42 пациента (мужчины, I группа, средний возраст $52,11 \pm 0,33$ года, средний стаж в профессии — $20,1 \pm 1,7$ года), у которых установлен во время работы в контакте с вредным производственным фактором диагноз ВБ_{соч.}, отсутствие воздействия вибрации на момент исследования и коморбидной патологии, которая могла бы повлиять на состояние функциональной активности головного мозга (черепно-мозговые травмы, сахарный диабет, артериальная гипертензия и т. д.). По профессии это водители большегрузного и гусеничного автотранспорта, машинисты буровых станков, занятые при добыче угля открытым способом, условия труда на рабочих местах которых соответствовали 3.2–3.3. классу вредности и опасности, тяжести

и напряжённости трудового процесса. Эквивалентные за смену уровни шума превышали гигиенические нормативы до 4–12,2 дБА; общей вибрации — до 12,3 дБ; локальной вибрации — до 10,9 дБ. Концентрации углеродной пыли на рабочих местах превышали ПДК в 1,1–3,2 раза. Температура и относительная влажность воздуха рабочей зоны водителей и машинистов карьерной техники находились в пределах допустимой нормы как в холодный, так и в тёплый период года. Среди жалоб пациентов I группы ведущими были ноющие боли в мышцах рук и ног, приступообразные парестезии, преимущественно в ночное время, снижение силы в руках, плохой сон из-за болей и онемения, зябкость рук и ног в сырую погоду, болезненность при движениях в локтевых суставах, приступы головокружения, ухудшение памяти. Выделены следующие клинические синдромы: умеренно выраженная вегетативно-сенсорная полиневропатия рук и ног, периферический ангиодистонический синдром рук. Все обследования выполнены при поступлении в клинику, до проведения лечения. II группа представлена 35 здоровыми мужчинами в возрасте $49,19 \pm 0,84$ лет, которые по специфике профессиональной деятельности не подвергались воздействию вибрации и не имели на момент исследования острых и хронических (в стадии обострения) заболеваний (группа сравнения).

Для выявления особенностей энергетического обмена головного мозга (ЭОГМ), регистрации уровня постоянного потенциала (УПП) проводили нейроэнергетическое картирование (НЭК) с определением УПП по 12-ти стандартным отведениям: Fz — лобном центральном, Fd — лобном правом, Fs — лобном левом, Cz — центральном, Cd — центральном правом, Cs — центральном левом, Pz — центральном теменном, Pd — теменном правом, Ps — теменном левом, Oz — затылочном, Td — правом височном, Ts — левом височном. Рассчитывали уровень интенсивности энергетического обмена по всем отделам (Хср.) [22]. Регистрация ССВП проводилась по общепринятой методике с помощью миографа «Нейро-ЭМГ-Микро» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново) при стимуляции срединного нерва в области запястья. Вызванные потенциалы определялись с точки Эрба, с остистого отростка VII шейного позвонка и со скальпа (точки C3, C4, согласно схеме 10–20%) [23]. С целью выявления когнитивных нарушений (КН) и их выраженности применяли шкалу «Батарея лобной дисфункции» (англ. *Frontal Assessment Battery — FAB*) [24] и «Краткую шкалу оценки психического статуса» (англ. *Mini-mental State Examination, MMSE*) [25], нейропсихологические методики, оценивающие состояние интеллекта, памяти, гнозиса, праксиса, речи из схемы А.Р. Лурия [26]. При статистической обработке данных, осуществлённой посредством пакета прикладных программ *Statistica 6.0 Stat Soft Inc.* (США). Проверку нормальности распределения количественных показателей выполняли с использованием критерия Шапиро–Уилка. Межгрупповое сравнение количественных показателей осуществляли с использованием непараметрического метода U-критерия Манна–Уитни. Результаты исследований представлены в виде медианы и интерквартильного размаха Me (Q25–Q75). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Статистическую значимость различий показателей, выраженных в процентах, вычисляли по методу углового преобразования Фишера. Корреляционный анализ проводили методом ранговой корреляции r-Спирмена.

Результаты. В обеих группах зарегистрированы повышенные значения среднего УПП в 54,8% и 14,3% случаев соответственно, при $p = 0,02$. Анализ распределения УПП в I группе выявил его статистически значимое увеличение в лобных, центральных (Fz, Fd, Fs, Cz, Cd, Cs), правом теменном (Pd), затылочном (Oz), правом височном (Td) отделах мозга при сопоставлении с таковыми в группе сравнения. Локальные изменения УПП при ВБ_{соч.} отмечены на фоне его общего повышения во всех исследуемых областях и определенного сглаживания регионарных различий этого показателя, зарегистрированного у лиц группы сравнения (рисунк).

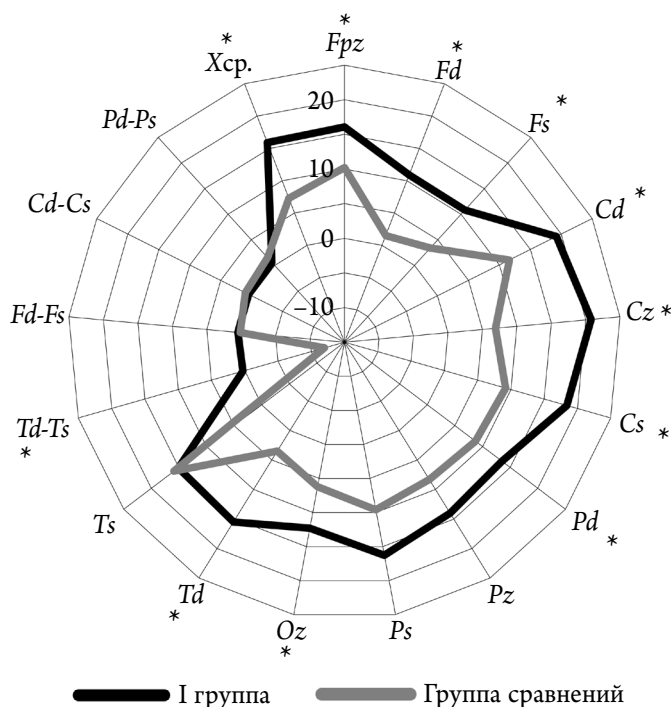


Рисунок. Профили распределения УПП в исследуемых группах

Figure. Distribution profiles of LCP in the study groups.

Примечание: * — различия статистически значимы между I и группой сравнения, $p < 0,05$.

Note: * — the differences are statistically significant between I and the comparison group, $p < 0.05$.

Сравнение показателей ССВП выявило статистически значимое увеличение латентности пиков N9, N10, N11, N13, N25, N30, длительности межпикового интервала N10–N13 у лиц с профессиональным заболеванием (табл. 1).

Изменения в когнитивной сфере у пациентов с ВБ_{соч.} проявлялись в виде легко-выраженных нарушений функций аналитико-синтетического и понятийного мышления, кратковременной (слухоречевой), зрительной образной, долговременной памяти, динамического праксиса, реципрокной координации, импрессивной и экспрессивной речи. Значения по шкалам FAB, MMSE у пациентов I группы характеризовали снижение когнитивных способностей с преимущественной заинтересованностью лобно-височных отделов головного мозга или подкорковых образований мозга (табл. 2).

С помощью корреляционного анализа показаны взаимоотношения между показателями нейропсихологического тестирования, УПП, ССВП. Установлено

Таблица 1 / Table 1

Параметры регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов, Me (Q25–Q75)
Registration parameters of somatosensory evoked potentials, Me (Q25–Q75)

Параметр ССВП, мс	Пациенты с ВБ _{соч.}	Группа сравнения	<i>p</i> *
<i>Длительность латентного периода, мс</i>			
Компонент N9	8,9 (8,6–9,2)	8,1 (7,9–8,5)	0,002
Компонент N10	10,4 (10,2–10,8)	9,8 (9,6–10)	0,0001
Компонент P11	13 (12,4–13,4)	11,8 (11,4–12,4)	0,0002
Компонент N13	14,6 (14,2–15,4)	13,6 (13,6–14,2)	0,0001
Компонент N25	24,6 (24–26,5)	23,4 (22,4–25,2)	0,0023
Компонент N30	32 (31,2–32,6)	30,8 (29,8–32)	0,005
<i>Длительность интервалов, мс</i>			
N10–N13	4,4 (3,8–5)	3,8 (3,4–4,6)	0,01

Примечание: * — приведены точные значения *p*-уровней статистической значимости.

Note: * — the exact values of *p*-levels of statistical significance.

Таблица 2 / Table 2

Нейропсихологические показатели обследованных, Me (Q25–Q75)
Neuropsychological indicators of the surveyed, Me (Q25–Q75)

Показатели, баллы	Пациенты с ВБ _{соч.}	Группа сравнения	<i>p</i> *
аналитико-синтетическое мышление (тест на арифметический счет)	0 (0–1)	0	0,016
понятийное мышление (тест на подбор противоположностей в активном плане)	0 (0–1)	0	0,032
кратковременная (слухоречевая) память (тест «10 слов»)	1 (1–1)	0	0,0003
зрительная образная память	1 (0–2)	0 (0–1)	0,001
долговременная память (тест «10 слов»)	2 (1–3)	1 (1–2)	0,0008
динамический праксис (проба «кулак-ребро-ладонь»)	1,5 (1–3)	0 (0–1)	0,0001
реципрокная координация (проба Озерского)	2 (1–3)	0 (0–1)	0,00001
импрессивная речь (тест на понимание логико-грамматических конструкций)	1 (0–2)	0	0,001
экспрессивная речь (тест на повторение дизъюнктивных пар звуков и оппозиционных фонем)	0 (0–1)	0	0,047
MMSE	25 (22–26)	28 (27–28)	0,000
FAB	15 (14–16)	16 (16–17)	0,001

Примечание: * — приведены точные значения *p*-уровней статистической значимости.

Note: * — the exact values of *p*-levels of statistical significance.

27 корреляционных зависимостей (табл. 3). В том числе из 14 — положительных взаимосвязей — 2 умеренных: между УПП в лобном левом отведении и латентностью пика N30, длительностью N13–N20 и показателем аналитико-синтетического мышления ($r=0,51$, $p=0,004$; $r=0,50$, $p=0,005$ соответственно). Указанные зависимости показывают, что повышение УПП в лобном отведении левого полушария сопровождается увеличением длительности латентного периода компонента N30, а увеличение длительности межпикового интервала N13–N20 ассоциировано со снижением показателя аналитико-синтетического мышления.

С помощью дискриминантного анализа выявлено шесть диагностических признаков: значения показателей латентности пика N13, динамического праксиса, межпикового интервала N11–N13, кратковременной (слухоречевой) памяти, УПП межполушарных отношений по височному отделу Td–Ts, УПП левого лобного отведения (Fs) (табл. 4).

Применение перечисленных показателей позволяет судить о специфике поражений головного мозга, отслеживать изменение нейрофункциональной активности у пациентов с ВБ_{соч.} с высокой степенью точности (95%).

Обсуждение. У пациентов с ВБ_{соч.} в большинстве случаев зарегистрировано умеренно выраженное увеличение показателей УПП в лобном центральном, центральных, теменном левом, височных корковых отделах, что, по данным литературы, может быть объяснено усилением энергетической активности мозга в указанных корковых зонах, инициируемым дисфункцией соответствующих подкорковых регуляторных структур вследствие нарушения кровотока ЦНС [27–30]. Нарушение состояния нервных волокон у пациентов с ВБ_{соч.} на уровне проведения афферентного импульса по задним рогам шейного отдела спинного мозга, а также на периферическом уровне, в отведении с точки Эрба подтверждено зарегистрированным статистически значимым увеличением латентности компонентов N9 и N10; снижение постсинаптической

активности нейронов на уровне соответствующего сегмента спинного мозга — увеличением латентности компонентов $N11$ и $N13$, изменение корковой активности соматосенсорной зоны в виде нарушения распространения возбуждения из зоны генерации в лобные отделы — возрастом латентности пиков $N25$ и $N30$ [31]. Полу-

ченные данные дополняют и согласуются с описанными нами ранее нарушениями функционального состояния структур на стволовом и таламическом уровнях, соматосенсорной зоны головного мозга [32], с исследованиями отечественных [31, 33] и зарубежных [34, 35] авторов.

Таблица 3 / Table 3

Корреляционные коэффициенты между нейропсихологическими признаками, показателями нейроэнергетического картирования и соматосенсорных вызванных потенциалов в группе пациентов с ВБ_{сон.} (r)
Correlation coefficients between neuropsychological signs, indices of neuroenergy mapping and somatosensory evoked potentials in the group of patients with VD, (r)

Переменные	Коэффициент корреляции, r^*	P
$Ts — N30$	0,5	0,004
$Cd-Cs — N13-N18$	-0,3	0,044
$Fpz — MMSE$	-0,3	0,037
Fs — зрительная образная память (тест «запоминание групп картинок при трехкратном воспроизведении»)	-0,4	0,009
Cz — динамический праксис (проба «кулак-ребро-ладонь»)	-0,3	0,047
Cs — экспрессивная речь (тест на повторение дизъюнктивных пар звуков и оппозиционных фонем)	0,3	0,045
Pz — аналитико-синтетическое мышление (тест на арифметический счёт)	0,4	0,012
Pz — зрительная образная память (тест «запоминание групп картинок при трехкратном воспроизведении»)	-0,3	0,045
Pz — динамический праксис (проба «кулак-ребро-ладонь»)	-0,4	0,035
$Td-Ts$ — зрительная образная память (тест «запоминание групп картинок при трехкратном воспроизведении»)	-0,4	0,007
$Fd-Fs$ — зрительная образная память (тест «запоминание групп картинок при трёхкратном воспроизведении»)	0,4	0,017
$N13-N20$ — аналитико-синтетическое мышление (тест на арифметический счёт)	0,5	0,005
$N13-N18$ — аналитико-синтетическое мышление (тест на арифметический счёт)	0,4	0,032
$N18-N20$ — зрительная образная память (тест «запоминание групп картинок при трёхкратном воспроизведении»)	0,3	0,037
$N25$ — пространственный праксис (проба Хэда)	0,3	0,048
$N20$ — предметный гнозис (показ заданного пальца по образцу и по названию)	0,4	0,016
$N25$ — предметный гнозис (показ заданного пальца по образцу и по названию)	0,3	0,037
$N13-N18$ — предметный гнозис (показ заданного пальца по образцу и по названию)	0,3	0,050
$N13-N20$ — предметный гнозис (показ заданного пальца по образцу и по названию)	0,4	0,025
$N20$ — импрессивная речь (тест на понимание логико-грамматических конструкций)	0,4	0,024
$N13-N18$ — импрессивная речь (тест на понимание логико-грамматических конструкций)	0,3	0,044

Примечание: * — представленные значения r соответствуют при $p < 0,05$.

Note: * — the presented values of r correspond at $p < 0.05$.

Таблица 4 / Table 4

Информативные показатели дискриминантного анализа у пациентов обследованных групп
Informative indicators of discriminant analysis in patients of the examined groups

Дискриминационные (независимые) переменные	F-включения	P
a_1 , показатель латентности пика $N13$, мс	35,322	0,008
a_2 , показатель динамического праксиса (проба «кулак-ребро-ладонь»), баллы	9,079	0,004
a_3 , показатель межпикового интервала $N11-N13$, мс	11,830	0,001
a_4 , показатель кратковременной (слухоречевой) памяти (тест «10 слов»), баллы	5,660	0,020
a_5 , показатель УПП межполушарных отношений по височному отделу $Td-Ts$ по НЭК, мВ	4,100	0,047
a_6 , показатель УПП левого лобного отведения (Fs) по НЭК, мВ	4,766	0,033

Примечание: P — уровень значимости F-включения — меры вклада переменной в предсказание членства в совокупности.

Note: P is the significance level of F-inclusion — a measures of the contribution of a variable to the prediction of membership in the aggregate.

Выявленное замедление скорости восходящего афферентного потока и усиления энергетической активности на уровне пре- и постцентральной областей головного мозга, сопровождающееся снижением функций аналитико-синтетического и понятийного мышления, кратковременной (слухоречевой), зрительной образной, долговременной памяти, динамического праксиса, реципрокной координации, импрессивной и экспрессивной речи, позволяет судить, ссылаясь на работы современных исследователей [18, 36], о снижении уровня нейрофункциональной активности, рассогласованности аффективного восприятия и реактивности вегетативной нервной системы, формировании КН у пациентов с ВБ_{соч.}

При обсуждении значимости полученных результатов, необходимо сделать акцент на высокой информативности показателей ССВП, УПП, нейропсихологического тестирования для диагностики состояния нейрофункциональной активности у пациентов с ВБ_{соч.} Наибольшее число установленных положительных корреляционных связей с нейропсихологическими показателями, определяющими качество аналитико-синтетического и понятийного мышления, зрительной образной памяти, пространственного праксиса, предметного гнозиса, импрессивной речи, получено между параметрами, характеризующими проведение от нижних отделов ствола до коры головного мозга, УПП в центральном левом, теменном центральном, лобных отделах. Согласно А.Р. Лурия, областями нарушения вышеперечисленных познавательных сфер являются лобная, нижнетеменная доли, стриарная область затылочной коры, зона перекрытия ТРО (зона перекрытия затылочных, височных и постцентральных областей мозга) [26]. Применение дискриминантного анализа позволило получить информативные отличительные признаки, позволяющие утверждать, что следствием хронического сочетанного воздействия локальной и общей вибрации и причиной нарушения нейрофункциональной активности является снижение постсинаптической активности нейронов соматосенсорной зоны коры, времени прохождения аффе-

рентного сигнала по корешкам в спинном мозге, динамического праксиса, кратковременной (слухоречевой) памяти, усиление энергетического обмена в височном правом и лобном левом отделах головного мозга.

Таким образом, авторами установлена высокая чувствительность пре- и постцентральной областей головного мозга к влиянию сочетанного воздействия локальной и общей вибрации на производстве. Предложенный подход способствует получению новых знаний о патогенезе ВБ, а также может служить высокоинформативным вспомогательным инструментом при разработке лечебно-профилактических мероприятий с учетом выявленных патофизиологических изменений.

Выводы:

1. Последствия сочетанного воздействия локальной и общей вибрации у пациентов с ВБ характеризуются изменением нейрофункциональной активности, проявляющейся в виде усиления нейроэнергетического обмена, дисфункций афферентных проводящих путей и когнитивной деятельности.

2. Признаками нарушения нейрофункциональной активности, характерными для ВБ_{соч.} являются снижение динамического праксиса, кратковременной (слухоречевой) памяти, увеличение УПП в правом височном, левом лобном отделах, увеличение длительности латентного периода компонента N13 и межпикового интервала N11–N13.

3. Выявленная положительная корреляционная зависимость между УПП в лобном левом отведении и латентностью пика N30, вероятно, отражает топографическую значимость лобной доли левого полушария в нарушении нейрофункциональной активности у пациентов с ВБ_{соч.} Сопряженность увеличения показателей арифметического счета и длительности межпикового интервала N13–N20 позволяет предполагать, что замедление проведения афферентного импульса до соматосенсорной зоны коры мозга может быть одной из причин снижения аналитико-синтетической деятельности при ВБ_{соч.}

Список литературы

- Johansson B.B. Brain plasticity in health and disease. *Keio J. Med.* 2004; 53(4): 231–46. <https://doi.org/10.2302/kjm.53.231>
- Lunyakov V.A., Uryas'ev O.M., Solov'eva A.V., Panfilov Yu.A. *Occupational diseases: teaching aid for students of medical faculty.* Ryazan: RSMU; 2018.
- Котиринич И.А. Клинические особенности вибрационной патологии от воздействия общей низкочастотной вибрации и статодинамической перегрузки при управлении самодвижущейся техникой. *Acta Biomedica Scientifica.* 2006; 3: 96.
- Sokoloff L. Localization of Functional Activity in the Central Nervous System by Measurement of Glucose Utilization with Radioactive Deoxyglucose. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism.* 1981; 1(1): 7–36. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.1981.4>
- Hashmi M.I. Causes and Prevention of Occupational Stress. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences.* 2015; 14: 98–104. <https://doi.org/10.9790/0853-1411898104>
- Анохин П.К. *Узловые вопросы теории функциональных систем.* М.: Наука; 1980.
- Живолупов С.А., Самарцев И.Н., Сыроежкин Ф.А. Современная концепция нейропластичности (теоретические аспекты и практическая значимость). *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2013; 113(10): 102–8.
- Merzenich M.M., Jenkins W.M. Reorganization of cortical representations of the hand following alterations of skin inputs induced by nerve injury, skin island transfers, and experience. *J. Hand Ther.* 1993; 6(2): 89–104. [https://doi.org/10.1016/s0894-1130\(12\)80290-0](https://doi.org/10.1016/s0894-1130(12)80290-0)
- Xerri C., Merzenich M.M., Peterson B.E., Jenkins W.M. Plasticity of primary somatosensory cortex paralleling sensorimotor skill recovery from stroke in adult monkeys. *J. Neurophysiol.* 1998; 79: 2119–48. <https://doi.org/10.1152/JN.1998.79.4.2119>
- Suminski A.J., Tkach D.C., Fagg A.H., Hatsopoulos N.G. Incorporating feedback from multiple sensory modalities enhances brain-machine interface control. *J. Neurosci.* 2010; 30(50): 16777–87. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3967-10.2010>
- Вахнина Н.В., Захаров В.В. Нарушения походки и постуральной устойчивости при дисциркуляторной энцефалопатии. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2017; 117(1): 78–84. <https://doi.org/10.17116/jnevro20171171178-84>
- Соколова А.П., Черняев С.А. Нейрофункциональная активность мозга: возрастной аспект. *Терапия.* 2020; 6(3): 15–20. <https://doi.org/10.18565/therapy.2020.3.15-20>
- Максимова А.А., Максимов А.А., Силина Ю.М., Ясашный А.А. Потенциал нейроэнергоскопирования в диагностике патофизиологических изменений центральной нервной системы у пациентов с нарушением развития. *Universum: медицина и фармакология.* 2021; 1(74): 18–31. <https://doi.org/10.18565/therapy.2020.3.15-20>

- org/10.32743/UniMed.2021.74.1.18-31
14. Sterr A., Conforto A.B. Plasticity of adult sensorimotor system in severe brain infarcts: challenges and opportunities. *Neural Plast.* 2012; 6: 970136. <https://doi.org/10.1155/2012/970136>
15. Фрай А.В., Воронцова В.С., Пичугина И.М. Использование нейронергокартирования для построения персонализированного подхода к когнитивной реабилитации пациентов с сосудистыми поражениями головного мозга. *Медико-социальная экспертиза и реабилитация.* 2020; 23(1): 5–8. <https://doi.org/10.17816/MSE34232>
16. Ганович Е.А., Ганович В.В., Семенихин В.А., Жестикова М.Г., Тимохина З.Т., Никова Н.М., Ников А.Б. Способ диагностики дисфункции лобных долей головного мозга у пациентов с вибрационной болезнью. Патент на изобретение RU 2 457 780 С1. 2012 10.08.2012
17. Васильева А.С., Сливницкая Н.В., Лахман О.Л. Постуральные нарушения у пациентов с вибрационной болезнью. *Медицина труда и промышленная экология.* 2019; 59(5): 314–8. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-314-318>
18. Шевченко О.И., Лахман О.Л. Состояние энергетического обмена головного мозга у пациентов с профессиональными заболеваниями от воздействия физических факторов. *Экология человека.* 2020; 2: 18–23. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-2-18-23>
19. Кравцов А.В., Сычик С.И., Соловьева И.В., Арбузов И.В. Особенности психофизиологического состояния водителей подъемного автотранспорта, подвергающихся комбинированному воздействию общей транспортной и транспортно-технологической вибрации. *Здоровье и окружающая среда.* 2019; 29: 85–9.
20. Бабанов С.А. Синдром полинейропатии при вибрационной болезни от воздействия общей вибрации: оценка и прогнозирование (место электромиографии). *Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях.* 2020; 10: 63–71. <https://doi.org/10.33920/pro-4-2010-08>
21. Власова Е.М., Устинова О.Ю., Костарев В.Г., Носов А.Е. Клинико-физиологические особенности развития цереброваскулярных нарушений у работающих в условиях воздействия производственной вибрации и физических перегрузок. Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В кн.: *Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей.* 2019: 478–88.
22. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Способ оценки энергетического состояния головного мозга. Патент на изобретение RU 2 135 077 С1. 2019 27.08.2019
23. Николаев С.Г. *Электромиография: клинический практикум.* Иваново: ИГМА; 2019.
24. Dubois B., Slachevsky A., Litvan I., Pillon B. The FAB: a frontal assessment battery at bedside. *Neurology.* 2000; 55(11): 1621–6.
25. 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.
26. Лурья А.Р. *Основы нейропсихологии.* М.: Издательский центр Академия; 2013.
27. Максимова А.А., Силина Ю.М. Диагностические возможности нейронергокартирования при гипоксических поражениях головного мозга. *Международный научно-исследовательский журнал.* 2021; 1–3(103): 46–51. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.1.062>
28. Болдырева Г.Н. *Нейрофизиологический анализ поражения лимбико-диэнцефальных структур мозга человека.* Краснодар: Эконвест; 2009.
29. Болдырева Г.Н. Атипичные формы церебральной альфа активности при поражении регуляторных структур мозга человека. *Физиология человека.* 2018; 44(3): 14–26. <https://doi.org/10.7868/S0131164618030025>
30. Добрынина Л.А. Нейроваскулярное взаимодействие и церебральная перфузия при старении, церебральной микроангиопатии и болезни Альцгеймера. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2018; 5: 87.
31. *Неврология. Национальное руководство.* Том 1. Под ред. Гусева Е.И., Коновалова А.Н., Скворцовой В.И., Гехт А.Б. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018.
32. Русанова Д.В., Лахман О.Л. Состояние центральных и периферических проводящих структур у пациентов с вибрационной болезнью. *Гигиена и санитария.* 2019; 98(10): 1085–90. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1085-1090>
33. Чеснокова Н.П., Моррисон В.В., Понукалина Е.В., Морозова О.Л. *Патофизиологические аспекты нарушений соматовисцеральной чувствительности и двигательной активности.* Учебное пособие. 2018.
34. Werner G., Whitsel B.L. *Functional Organization of the Somatosensory Cortex.* In: Iggo A. (eds) *Somatosensory System. Handbook of Sensory Physiology,* 1973; 2. https://doi.org/10.1007/978-3-642-65438-1_17
35. Rothschild G., Nelken I. Functional organization and population dynamics in the mouse primary auditory cortex. *Nature Neuroscience.* 2010; 13: 353–60. <https://doi.org/10.1038/nn.2484>
36. Чутко А.С., Сурушкина С.Ю., Яковенко Е.А., Анисимова Т.И., Карповская Е.Б., Василенко В.В., Дидур М.Д., Воллов М.Б. Нарушения когнитивного контроля у пациентов с соматоформными расстройствами и их лечение. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2019; 4: 27–32. <https://doi.org/m10.17116/jnevro201911904127>

References

1. Johansson B.B. Brain plasticity in health and disease. *Keio J. Med.* 2004; 53(4): 231–46. <https://doi.org/10.2302/kjm.53.231>
2. Lunyakov V.A., Uryas'ev O.M., Solov'eva A.V., Panfilov Yu.A. *Occupational diseases: teaching aid for students of medical faculty.* Ryazan: RSMU; 2018 (in Russian).
3. Cotirinic I.A. The clinical features of the vibration pathology from the impact of general low-frequency vibration and static overload during the control of self-live techniques. *Acta Biomedica Scientifica — East Siberian Biomedical Journal.* 2006; 3: 96 (in Russian).
4. Sokoloff L. Localization of Functional Activity in the Central Nervous System by Measurement of Glucose Utilization with Radioactive Deoxyglucose. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism.* 1981; 1(1): 7–36. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.1981.4>
5. Hashmi M.I. Causes and Prevention of Occupational Stress. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences.* 2015; 14: 98–104. <https://doi.org/10.9790/0853-1411898104>
6. Anokhin P.K. *Nodal questions of the theory of functional systems.* Moscow: Science; 1980 (in Russian).
7. Zhivolupov S.A., Samartsev I.N., Syroezhkin F.A. Modern concept of neuroplasticity (theoretical aspects and practical significance). *Zhurnal neurologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova.* 2015; 9: 63–72 (in Russian).
8. Merzenich M.M., Jenkins W.M. Reorganization of cortical representations of the hand following alterations of skin inputs induced by nerve injury, skin island transfers, and experience. *J. Hand Ther.* 1993; 6(2): 89–104. [https://doi.org/10.1016/s0894-1130\(12\)80290-0](https://doi.org/10.1016/s0894-1130(12)80290-0)
9. Xerri C., Merzenich M.M., Peterson B.E., Jenkins W.M. Plasticity of primary somatosensory cortex paralleling sensorimotor skill recovery from stroke in adult monkeys. *J. Neurophysiol.* 1998; 79: 2119–48. <https://doi.org/10.1152/JN.1998.79.4.2119>
10. Suminski A.J., Tkach D.C., Fagg A.H., Hatsopoulos N.G. Incorporating feedback from multiple sensory modalities enhances brain-machine interface control. *J. Neurosci.*

- 2010; 30(50): 16777–787. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3967-10.2010>
11. Vakhnina N.V., Zakharov V.V. Disorders of gait and postural stability at discirculatory encephalopathy. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2017; 117(1): 78–84 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/jnevro20171171178-84>
 12. Sokolova L.P., Chernyaev S.A. Neurofunctional brain activity: age aspect. *Terapiya*. 2020; 6(3): 15–20 (in Russian). <https://doi.org/10.18565/therapy.2020.3.15-20>
 13. Maksimova A.A., Maksimov A.A., Silina Yu.M., Yassenaya A.A. The potential of neuroenergocarditation in the diagnosis of pathophysiological changes in the central nervous system in patients with violation of development. *Universum: medicina i farmakologiya*. 2021; 1(74): 18–31 (in Russian).
 14. Sterr A., Conforto A.B. Plasticity of adult sensorimotor system in severe brain infarcts: challenges and opportunities. *Neural Plast*. 2012; 6: 970136. <https://doi.org/10.1155/2012/970136>
 15. Fry A.V., Vorontsova V.S., Pichugina I.M. Using neuroenergounting to build a personalized approach to cognitive rehabilitation of patients with vascular brain lesions. *Mediko-social'naya ekspertiza i reabilitatsiya*. 2020; 23 (1): 5–8 (in Russian). <https://doi.org/10.17816/MSER34232>
 16. Ganovich E.A., Ganovich V.V., Semenihi V.A., Zhestikova M.G., Timokhina Z.T., Nikova N.M., Nikov A.B. Method for diagnosing dysfunction of frontal brain fractions in patients with vibration disease. Patent № RU 2 457 780 C1; 2012 (in Russian).
 17. Vasilyeva L.S., Slivnitsyna N.V., Lakhman O.L. Postural disorders in patients with vibration disease. *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(5): 314–8. (in Russian). <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-314-318>
 18. Shevchenko O.I., Lakhman O.L. State of brain energy exchange in patients with occupational diseases from the influence of physical factors. *Ekologiya cheloveka*. 2020; 2: 18–23 (in Russian). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-2-18-23>
 19. Kravtsov A.V., Sichik S.I., Solovyova I.V., Arbuzov I.V. Features of the psychophysiological state of drivers of lifting vehicles exposed to the combined effects of general transport and transport and technological vibration. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda*. 2019; 29: 85–89 (in Russian).
 20. Babanov S.A. Polyneropathy syndrome with vibration disease from the impact of general vibration: assessment and forecasting (place of electroneuromiography). *Ohrana truda i tekhnika bezopasnosti na promyshlennykh predpriyatiyah*. 2020; 10: 63–71 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/pro-4-2010-08>
 21. Vlasova E.M., Ustinova O.Yu., Kostarev V.G., Nosov A.E. The clinical and physiological features of the development of cerebrovascular disorders in working in the conditions of impact of industrial vibration and physical overloads. In: *Current issues of risk analysis when ensuring the sanitary and epidemiological well-being of the population and the protection of consumer rights. Materials IX All-Russian*; 2019: 478–88 (in Russian).
 22. Fokin V.F., Ponomareva N.V. The method of assessing the energy state of the brain. Patent № 2 135 077 C1; 1999 (in Russian).
 23. Nikolaev S.G. *Electromiography: clinical workshop*. Ivanovo: IGMA; 2019 (in Russian).
 24. Dubois B., Slachevsky A., Litvan I., Pillon B. The FAB: a frontal assessment battery at bedside. *Neurology*. 2000; 55(11): 1621–6.
 25. 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.
 26. Luria A.R. *Basics of neuropsychology*. Moscow: Publishing Center Academy; 2013: 384 (in Russian).
 27. Maksimova A.A., Silina Yu.M. The diagnostic possibilities of neuroenergocardius in hypoxic lesions of the brain. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2021; 1–3(103): 46–51 (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.103.1.062>
 28. Boldyreva G.N. *Neurophysiological analysis of the lesion of the limbic-diencephal structures of the human brain*. Krasnodar: Ecoinvest; 2009 (in Russian).
 29. Boldyreva G.N. Atypical forms of cerebral alpha activity with the damage to the regulatory structures of the human brain. *Fiziologiya cheloveka*. 2018; 44(3): 14–26 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0131164618030025>
 30. Dobrynina L.A. Neurovascular interaction and cerebral perfusion in aging, cerebral microangiopathy and Alzheimer's disease. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noj nevrologii*. 2018; 5: 87 (in Russian).
 31. *Neurology. National leadership*. Volume 1. Ed. Guseva E.I., Konovalova A.N., Skvortsova V.I., Gekht A.B. M.: Gootar Media; 2018 (in Russian).
 32. Rusanova D.V., Lakhman O.L. The state of central and peripheral conducting structures in patients with vibration disease. *Gigiena i sanitariya*. 2019; 98(10): 1085–90 (in Russian). <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1085-1090>
 33. Chesnokova N.P., Morrison V.V., Ponukalina E.V., Morozova O.L. *Pathophysiological aspects of disorders of somdomisceral sensitivity and motor activity*. Tutorial. 2018 (in Russian).
 34. Werner G., Whitsel B.L. *Functional Organization of the Somatosensory Cortex*. In: Iggo A. (eds) *Somatosensory System. Handbook of Sensory Physiology*, 1973; 2. https://doi.org/10.1007/978-3-642-65438-1_17
 35. Rothschild G., Nelken I. Functional organization and population dynamics in the mouse primary auditory cortex. *Nature Neuroscience*. 2010; 13: 353–60. <https://doi.org/10.1038/nn.2484>
 36. Chutko L.S., Surushkina S.Yu., Yakovenko E.A., Anisimova T.I., Karpovskaya E.B., Vasilenko V.V., Didur M.D., Ovov M.B. Violations of cognitive control in patients with somatoform disorders and their treatment. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2019; 4: 27–32 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/jnevro201911904127>