

Читать  
онлайн  
Read  
online

Шевченко О.И., Лахман О.Л., Катаманова Е.В., Русанова Д.В., Пятков Ю.С.,  
Кодинец И.Н.

## Взаимоотношения показателей, характеризующих нейрофункциональную активность при вибрационной болезни

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665826, Ангарск, Россия

**Введение.** Представлены результаты изучения взаимоотношений биоэлектрической активности головного мозга (ГМ), нейроэнергообмена, состояния экстракраниальных сосудов, когнитивных функций при вибрационной болезни, обусловленной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации (ВБ<sub>соч.</sub>).

**Цель исследования** — выявление особенностей нейрофизиологических показателей, изменений церебральной гемодинамики и нейропсихологического статуса при ВБ<sub>соч.</sub>.

**Материалы и методы.** Изучены уровни постоянного потенциала (УПП), характеристики соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП), ультразвуковой доплерографии (УЗДГ), электроэнцефалографии (ЭЭГ) и нейропсихологические особенности у 38 пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> и у 32 лиц группы сравнения.

**Результаты.** Установлено, что при вибрационной болезни, обусловленной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, топическая дезорганизация и угнетение альфа- и бета-активности, увеличение патологической дельта-активности, уровни постоянного потенциала в левом лобном, правом височном и задних отделах головного мозга, возрастание латентности компонентов N13, N20, длительности интервала N18–N20 сопряжены с повышением тонуса основных экстракраниальных артерий, снижением ассоциативно-логического мышления, кратковременной и долговременной памяти, динамического праксиса, реципрокной координации. Индикаторами нарушения нейрофункциональной активности (НФА) являются увеличение показателей линейной скорости кровотока (ЛСК) по внутренней сонной артерии (ВСА), индекса циркуляторного сопротивления ВСА, УПП затылочного, центрального правого, теменного левого отведений; снижение показателей индексов  $\theta$ -ритма в переднелобном и теменном правых, затылочном левом отведениях, индексов ритмов  $\beta 1$  и  $\beta 2$  в затылочном левом отведении.

**Ограничения исследования** обусловлены небольшим числом индивидов в группах, сравнительно небольшим объемом обработанных данных иностранной литературы по изучаемому вопросу.

**Заключение.** Установлены диагностические признаки, позволяющие выявлять изменения НФА при ВБ<sub>соч.</sub>, взаимозависимости показателей, характеризующих снижение тонуса коры ГМ, когнитивных функций, состояния гипоталамо-стволовых связей, повышение тонуса экстракраниальных артерий.

**Ключевые слова:** вибрационная болезнь; нейрофункциональная активность; электроэнцефалография; нейроэнергокартирование; ультразвуковая доплерография; соматосенсорные вызванные потенциалы; нейропсихологическое тестирование

**Соблюдение этических стандартов.** Обследование пациентов проходило в соответствии с этическим стандартом Хельсинкской декларации 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 России № 266 от 19.06.2003 г. Все обследованные лица подписали информированное согласие на участие в исследовании. Имеется заключение локального этического комитета (ЛЭК) (протокол № 5 от 14.11.2012 г.).

**Для цитирования:** Шевченко О.И., Лахман О.Л., Катаманова Е.В., Русанова Д.В., Пятков Ю.С., Кодинец И.Н. Взаимоотношения показателей, характеризующих нейрофункциональную активность при вибрационной болезни. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(11): 1341–1346. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1341-1346> <https://elibrary.ru/sqwrpxd>

**Для корреспонденции:** Шевченко Оксана Ивановна, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. профессиональной и экологически обусловленной патологии ФГБНУ ВСИМЭИ. E-mail: oich68@list.ru

**Участие авторов:** Шевченко О.И. — разработка концепции и плана исследования, выбор и анализ данных общей базы, сбор данных по НЭК, нейропсихологическому обследованию, написание и оформление статьи, формулировка выводов; Лахман О.Л. — формирование концепции исследования, редактирование; Катаманова Е.В. — сбор данных по ЭЭГ и УЗДГ; Пятков Ю.С. — сбор и обработка данных по УЗДГ; Русанова Д.В. — сбор данных по ССВП; Кодинец И.Н. — организация исследований, обработка данных по УЗДГ.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания.

Поступила: 20.06.2022 / Принята к печати: 03.10.2022 / Опубликовано: 30.11.2022

Oxana I. Shevchenko, Oleg L. Lakhman, Elena V. Katamanova, Yuri S. Pyatkov, Dina V. Rusanova,  
Irina N. Kodinets

## Evaluation of the interrelationships of indicators characterizing neurofunctional activity in vibration disease

East Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665826, Russian Federation

**Introduction.** The results of studying the relationship between the bioelectrical activity of the brain, neuroenergetic exchange, the state of extracranial vessels, cognitive functions, in case of vibration disease caused by the effect of combined local and general vibration (CLGV) are presented.

**Materials and methods.** Constant potential levels (CPP), characteristics of somatosensory evoked potentials (SSEPs), doppler ultrasound (USDG) and electroencephalography (EEG), neuropsychological features were studied in thirty eight patients exposed to CLGV, 32 persons of the comparison group.

**Results.** Under CLGV topical disorganization and inhibition of alpha and beta activity, an increase in pathological delta activity, in the level of constant potential (DC-potential level) in the left frontal, right temporal and posterior parts of the brain, an increase in the latency of the N13, N20 components, the duration of the

*N18 interval – N20 are associated with an increase in the tone of the main extracranial arteries, a decrease in associative-logical thinking, short-term and long-term memory, dynamic praxis, and reciprocal coordination. Indicators of impaired neurofunctional activity (NFA) are an increase in the linear blood flow velocity (LBFV) in the internal carotid artery (ICA), the circulatory resistance index of the ICA, the DC-potential level of the occipital, central right, and parietal left leads; decrease in indices of theta – rhythm in the anterofrontal and parietal right, occipital left leads, indices of beta 1, beta 2 – rhythms in the occipital left lead.*

**Limitations.** The limitations of the work are presented in the form of a small number of individuals in groups, insufficient depth of the study of foreign literature materials on the issue under study.

**Conclusion.** The interdependence of indicators characterizing the decrease in the tone of the cerebral cortex, cognitive functions, the state of the hypothalamic-stem connections, the increase in the tone of the extracranial arteries, as well as diagnostic signs that make it possible to detect changes in NFA in CLGV.

**Keywords:** vibration disease; functional activity of the brain; electroencephalography; neuroenergy mapping; ultrasonic dopplerography; somatosensory evoked potentials; neuropsychological testing

**Compliance with ethical standards.** Examination of patients was carried out in accordance with the ethical standard of the Declaration of Helsinki of the world association “Ethical principles for conducting scientific medical research involving humans”, as amended in 2000. and “Rules of Clinical Practice in the Russian Federation”, approved by the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 266 dated 06/19/2003. All examined signed an informed consent to participate in the study and there is a conclusion of the local ethical committee (LEK) (protocol No. 5 dated 11/14/2012).

**For citation:** Shevchenko O.I., Lakhman O.L., Katamanova E.V., Rusanova D.V., Pyatkov Yu.S., Kodinets I.N. Evaluation of the interrelationship of indicators characterizing neurofunctional activity in vibration disease. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(11): 1341–1346. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1341-1346> <https://elibrary.ru/swqpxd> (In Russian)

**For correspondence:** Oksana I. Shevchenko, MD, PhD, Senior Researcher, Laboratory of Occupational and Ecological Pathology, East Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665826, Russian Federation. E-mail: oich68@list.ru

#### Information about the authors:

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

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

Katamanova E.V., <https://orcid.org/0000-0002-9072-2781>

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

Pyatkov Yu.S., <https://orcid.org/0000-0002-3614-2575>

Kodinets I.N., <https://orcid.org/0000-0002-6504-2880>

**Contribution:** Shevchenko O.I. – the concept and design of the study, developed a study plan, formed a common base, collected and analyzed data on NEC, neuropsychological examination, wrote and designed an article, formulated conclusions; Lakhman O.L. – took part in the formation of the concept of the study, took part in editing the article; Katamanova E.V. – collected data on EEG and ultrasound; Pyatkov Yu.S. – collected data on ultrasound; Rusanova D.V. – collected data; Kodinets I.N. – contributed to the organization of research, data processing on ultrasound. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: June 20, 2022 / Accepted: October 3, 2022 / Published: November 30, 2022

## Введение

Фоновая активность центральной нервной системы (ЦНС) является интегральной характеристикой ГМ, поэтому очевидна актуальность изучения её состояния, определяющего готовность к приёму информации, поведение и деятельность человека [1, 2]. Проведение подобного рода исследований с помощью современных и доступных нейрофизиологических и нейропсихологических методов позволяет контролировать состояние здоровья пациентов с профессиональными заболеваниями, оценивать профессиональные риски, информативность диагностических и эффективность лечебно-реабилитационных мероприятий [3].

В последнее десятилетие сотрудниками ФГБНУ ВСИ-МЭИ получены данные, указывающие на нарушения микроциркуляции гиперемического типа [4], биоэлектрической активности головного мозга и межполушарного взаимодействия [5], постсинаптической активности нейронов соматосенсорной зоны коры, времени прохождения афферентного сигнала по корешкам в спинном мозге [6], нейроэнергообмена (в 72% случаев) у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> [7, 8]. Кроме того, показано, что при радиоизотопной индикации при ВБ<sub>соч.</sub> регистрируется негрубое снижение уровня общего мозгового кровотока [9]. Однако в исследованиях, устанавливающих факт церебральных нарушений, не учитывалась совокупная оценка данных, что затрудняет объяснение патогенетической значимости выявленных изменений в механизмах прогрессирования вибрационной патологии.

Известно, что профессиональное хроническое сочетанное воздействие локальной и общей вибрации способствует возникновению и развитию нейросенсорного дефицита, который сопровождается лёгким снижением высших психических функций (ВПФ), нарушением НФА вследствие изменений проведения импульса по центральным и периферическим афферентным путям, вестибуло-координаторной дисфункцией, дисбалансом пара- и симпатической регуляции, формированием гиперкинетического типа центральной гемодинамики, усилением церебрального энергетического обмена, обширным вовлечением в патологический процесс

корковых отделов ГМ с нарушением таламогипоталамических взаимодействий [7, 9]. Для перехода на принципиально новый уровень синдромальной диагностики поражений ЦНС очевидна необходимость дальнейшего изучения НФА, взаимодействия разноуровневых механизмов регуляции физиологических функций организма, разработки и обоснования диагностических критериев, отражающих состояние центральных механизмов регуляции при ВБ<sub>соч.</sub> [10, 11].

С учётом вышеизложенного авторами были изучены центральные механизмы возникновения и развития изменённой биоэлектрической активности ГМ, УПП во взаимосвязи с показателями церебральной гемодинамики и нейропсихологического статуса, полученными при исследовании особенностей кровотока мозга, нейрофизиологических, нейроэнергетических, психических процессов, характеризующих состояние и качество интегрирующей деятельности ЦНС у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub>

**Цель исследования** – выявление особенностей нейрофизиологических показателей, изменений церебральной гемодинамики и нейропсихологического статуса при ВБ<sub>соч.</sub>

## Материалы и методы

Были обследованы 38 пациентов мужского пола (водители большегрузного и гусеничного автотранспорта, машинисты буровых станков; средний возраст  $50,2 \pm 0,5$  года, средний стаж в профессии –  $19,2 \pm 1,4$  года) с диагнозом ВБ<sub>соч.</sub>, установленным во время работы в условиях воздействия вредного производственного фактора. Условия труда на рабочих местах соответствовали классу 3.2–3.3 вредности и опасности, тяжести и напряжённости трудового процесса. Эквивалентные уровни шума превышали гигиенические нормативы до 4–12,2 дБА, уровни общей вибрации – до 12,3 дБ, локальной вибрации – до 10,9 дБ. В группу сравнения вошли 32 здоровых мужчины в возрасте  $48,9 \pm 0,7$  года, по специфике профессиональной деятельности не подвергавшиеся воздействию вибрации и не имевшие на момент исследования острых и хронических (в стадии обострения) заболеваний. Критериями включения в группу пациентов

с ВБ<sub>соч.</sub> было наличие соответствующего диагноза, установленного во время работы в условиях воздействия вредного производственного фактора и отсутствие экспозиции к вибрации на момент исследования. Критерии исключения из исследования – наличие у пациентов коморбидной патологии, которая могла бы повлиять на результаты исследования НФА (субфебрильное состояние, наличие в анамнезе заболеваний и травм головного мозга, приводящих к снижению когнитивных функций и изменению показателей ЭЭГ, УПП, ССВП; побочное действие лекарственных препаратов; наличие хронических заболеваний сердечно-сосудистой системы, таких как церебральный атеросклероз, ИБС, приводящих к изменению реактивности церебральных сосудов).

Все обследования были выполнены при поступлении пациентов в клинику, до проведения лечения.

Запись ЭЭГ осуществляли монополярно относительно ушных электродов по международной системе 10 × 20. При анализе ЭЭГ для дифференциации признаков определяли среднестатистические значения индексов нормальных и патологических ритмов, амплитудных значений и частотно-пространственного распределения основных ритмов [2]. Регистрацию ССВП проводили по общепринятой методике с помощью миографа «Нейро-ЭМГ-Микро» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново) [12]. Энергетическое состояние головного мозга определяли с помощью нейроэнергокартирования (НЭК), основанного на измерении УПП по 12 стандартным отведениям: Fz – лобное центральное, Fd – лобное правое, Fs – лобное левое, Cz – центральное, Cd – центральное правое, Cs – центральное левое, Pz – центральное теменное, Pd – теменное правое, Ps – теменное левое, Oz – затылочное, Td – правое височное, Ts – левое височное. Рассчитывали уровень интенсивности энергетического обмена по всем отделам (X<sub>ср.</sub>) [13]. Для исследования церебральной гемодинамики проводили УЗДГ экстракраниальных сосудов при помощи аппарата для доплерографии Sonovit 30-V датчиком с частотой 4 МГц для общей сонной артерии (ОСА), ВСА и позвоночной артерии (ПА). Для всех артерий оценивались максимальная систолическая, диастолическая, средняя ЛСК (см/с), рассчитывались индексы циркуляторного сопротивления (RI, индекс Пурсело) и пульсационный (PI, индекс Гослинга) [14]. Нейропсихологическую диагностику мозговых дисфункций осуществляли по методу А.Р. Лурии. Оценивали состояние интеллекта, памяти (методики «Четвёртый лишний», «Разбитое окно», «Выполнение тройного счёта», «Выполнение простых счётных операций», «Подбор противоположностей», «Десять слов», «Запоминание групп картинок при трёхкратном воспроизведении»), праксиса (пробы «кулак – ребро – ладонь», Хэда, Озерецкого), гнозиса (узнавание перечёркнутых, наложенных изображений, узнавание неречевых шумов и знакомых мелодий, показ заданного пальца по образцу и по названию) и речи (тесты на понимание логико-грамматических конструкций, порядковый счёт от 1 до 10, перечисление дней недели, месяцев, завершение хорошо известных пословиц, тесты на повторение звуков, серии звуков, слов и фраз) [15, 16].

Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft, USA, 2011). Возраст и стаж работы обследованных пациентов представлены в виде средней (*M*) и ошибки средней (*m*). Проверку нормальности распределения выполняли с использованием критерия Шапиро–Уилка. Результаты представлены в виде медианы (*Me*), нижнего (*Q*<sub>25</sub>) и верхнего (*Q*<sub>75</sub>) квартилей. Для определения значимости между независимыми выборками при ненормальном распределении использовали критерий Манна–Уитни. Корреляционный анализ проводили методом ранговой корреляции Спирмена. Для выявления статистически значимых отличительных признаков применён многофакторный дискриминантный анализ Discriminantanalysis из имеющегося пакета программ для определения статистически значимых отличительных признаков. С использованием метода шаговых процедур проводили оценку информативности показателей, опре-

деляли величину  $F \geq 3,5$ , которая служила граничным значением *F*-включений; мера Махаланобиса была критерием классификации. Установлен критический уровень значимости  $p < 0,05$  для проверки статистических гипотез.

## Результаты

Выявлены жалобы пациентов с ВБ<sub>соч.</sub>: 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, потливости, утомляемости, раздражительности, ухудшение памяти. Выделены следующие клинические синдромы: умеренно выраженная вегетативно-сенсорная полиневропатия верхних конечностей (81,6% случаев) и нижних конечностей (80,5% случаев), периферический ангиодистонический синдром верхних конечностей (51,4% случаев).

Результаты исследования с использованием метода НЭК у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> при сопоставлении с группой сравнения были следующими: умеренно выраженное увеличение среднего уровня энергетического обмена (УПП X<sub>ср.</sub>, мВ, 19,6 (9,6–31,1) и 14,8 (5,8–23,6) соответственно,  $p = 0,0005$ ) с превышением нормативных показателей УПП ( $\geq 15$  мВ) во всех отведениях обоих полушарий (задних отделах неокортекса) – центральных (УПП Cd: 22,8 (9,9–34,3) и 11,7 (1,2–19,2),  $p = 0,005$ ; УПП Cz: 27,1 (13–38,5) и 9,3 (3,1–16,6),  $p = 0,0003$ ; УПП Cs: 23,3 (17,8–33,7) и 9,2 (4–15,9) соответственно,  $p = 0,0002$ ) и теменных (УПП Pd: 24,1 (9,6–34,7) и 8,6 (2,8–17,3),  $p = 0,001$ ; УПП Pz: 23,8 (11,5–35,9) и 7,4 (2,7–20,4),  $p = 0,001$ ; УПП Ps: 19,8 (10–31,0) и 8,3 (2,9–16,6) соответственно,  $p = 0,002$ ). Наиболее уязвимыми (умеренно повышенный УПП) для воздействия вибрации передними отделами ГМ были левая лобная область (УПП Fs: 16,9 (7,6–23,8) и 4,1 (0,7–11,4) соответственно,  $p = 0,001$ ) и правая височная область (УПП Td: 19,1 (7,4–29,5) и 4,2 (1,2–16,2) соответственно,  $p = 0,001$ ).

Сопоставление ССВП на уровне подкорковых и корковых структур у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> и группы сравнения позволило выявить статистически значимое возрастание латентности компонентов N13 (14,6 мс (14,0–15,0 мс) и 13,6 мс (13,1–14,2 мс) соответственно,  $p = 0,00001$ ) и N20 (20,8 мс (20,4–22,6 мс) и 20,6 мс (19,6–21,3 мс) соответственно,  $p = 0,025$ ), увеличение длительности интервала N18–N20 (2,4 мс (2–3,3 мс) и 2 мс (1,7–2,6 мс) соответственно,  $p = 0,012$ ), ассоциируемое с нарушением процессов постсинаптической деполяризации в области нейронов задних столбов спинного мозга, таламических структур, соматосенсорной зоны коры ГМ [12].

При анализе межполушарных изменений основных ритмов ЭЭГ у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> при сопоставлении с группой сравнения определена доминирующая левополушарная деинтеграция ЭЭГ-активности. Выделены достоверно отличающиеся мощности (%) дельта-ритма для отведений: в Fp слева (56,2 и 11 соответственно,  $p = 0,001$ ), C слева (48,3 и 12,7 соответственно,  $p = 0,001$ ), C справа (42,5 и 11,5 соответственно,  $p = 0,009$ ), P слева (49,2 и 11,5 соответственно,  $p = 0,018$ ), T слева (63,3 и 9,3 соответственно,  $p = 0,002$ ), T справа (56,4 и 32,9 соответственно,  $p = 0,02$ );  $\theta$ -ритма в C справа (8,7 и 31,6 соответственно,  $p = 0,005$ ), P справа (8,3 и 43,9 соответственно,  $p = 0,005$ ), O слева (7,2 и 50,8 соответственно,  $p = 0,011$ ), T слева (7,2 и 9,4 соответственно,  $p = 0,0004$ ); альфа-ритма: в T слева (13,4 и 28,3 соответственно,  $p = 0,006$ ); ритма  $\beta_1$ : в Fp слева (5,2 и 36 соответственно,  $p = 0,001$ ), T слева (5,1 и 8,1 соответственно,  $p = 0,0002$ ), T справа (4,5 и 6,4 соответственно,  $p = 0,006$ ); ритма  $\beta_2$ : в C слева (6,4 и 17,5 соответственно,  $p = 0,001$ ), C справа (5,4 и 12 соответственно,  $p = 0,001$ ), P слева (6 и 12 соответственно,  $p = 0,001$ ), O слева (7,3 и 12,5 соответственно,  $p = 0,015$ ), T справа (4,7 и 7 соответственно,  $p = 0,008$ ). При этом нормативные значения индексов дельта-ритма были значимо

выше, а индексов  $\theta$ -,  $\beta$ 1-,  $\beta$ 2- и  $\alpha$ -ритмов – ниже в вышеперечисленных отведениях в группе пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> при сопоставлении с группой сравнения. Различия в виде выраженного снижения суммарной амплитуды всех ритмов в РР слева, С слева, С справа, Р слева, Р справа, О слева, Т справа достигали статистической значимости в аналогичных областях в группе сравнения ( $p = 0,01$ ;  $0,0002$ ;  $0,04$ ;  $0,004$ ;  $0,04$ ;  $0,005$ ;  $0,003$  соответственно).

Медианные значения максимальной ЛСК по ОСА, ВСА, ПА в группе с ВБ<sub>соч.</sub> превышали нормальные значения и при сопоставлении с группой сравнения достигали статистически значимых различий:  $85 \text{ см/с}$  ( $82\text{--}89 \text{ см/с}$ ) и  $43,2 \text{ см/с}$  ( $41,2\text{--}47,1 \text{ см/с}$ ) соответственно,  $p = 0,0008$ ;  $73,5 \text{ см/с}$  ( $68\text{--}74 \text{ см/с}$ ) и  $18,4 \text{ см/с}$  ( $15,7\text{--}26,9 \text{ см/с}$ ) соответственно,  $p = 0,00004$ ;  $44,5 \text{ см/с}$  ( $40\text{--}48 \text{ см/с}$ ) и  $18,4 \text{ см/с}$  ( $15,7\text{--}26,9 \text{ см/с}$ ) соответственно,  $p = 0,0007$ . Индекс RI по ВСА и ПА был выше и имел статистически значимое отличие от такового в группе сравнения:  $0,63$  ( $0,61\text{--}0,64$ ) и  $0,5$  ( $0,49\text{--}0,56$ ) соответственно,  $p = 0,001$ ;  $0,75$  ( $0,75\text{--}0,78$ ) и  $0,60$  ( $0,55\text{--}0,58$ ) соответственно,  $p = 0,02$ .

Особенности состояния ВПФ у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> при сопоставлении с группой сравнения представлены статистически значимыми изменениями компонентов интеллекта, отражающими сниженную способность к пониманию смысла сюжетной картины (тест «разбитое окно» –  $1$  ( $0\text{--}1$ ) и  $0,1$  ( $0\text{--}1$ ) балла соответственно,  $p = 0,02$ ) и арифметическим операциям (тест «тройной счёт» –  $0,5$  ( $0,1\text{--}1$ ) и  $0$  ( $0\text{--}0$ ) балла соответственно,  $p = 0,02$ ). Отмечено снижение модально-специфической памяти (неспособность к запоминанию 10 слов): кратковременная слухоречевая память –  $1$  ( $0,5\text{--}1,5$ ) и  $0$  ( $0\text{--}0,05$ ) балла соответственно,  $p = 0,0001$ ; долговременная память –  $3$  ( $2,5\text{--}3,5$ ) и  $1$  ( $1\text{--}2$ ) балла соответственно,  $p = 0,002$ ; зрительная образная память (6 зрительных стимулов) –  $1$  ( $0,5\text{--}2$ ) и  $0,2$  ( $0\text{--}1$ ) балла соответственно,  $p = 0,001$ ). Выявлено снижение праксиса: ошибки при выполнении серии кистевых движений «кулак – ребро – ладонь» –  $2$  ( $1\text{--}3$ ) и  $1$  ( $0,5\text{--}1,5$ ) балла соответственно,  $p = 0,0002$ . Проба на реципрокную координацию рук показала различия в  $1$  ( $1\text{--}3$ ) и  $0,1$  ( $0\text{--}1$ ) балла соответственно,  $p = 0,002$ .

Сопряжённость изменений показателей УЗДГ, ЭЭГ, УПП, ССВП, ВПФ подтверждалась данными корреляционного анализа. У пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> установлена прямая корреляционная взаимосвязь между показателями УПП правого лобного, центрального отведений, среднего УПП, индекса  $\beta$ 1-ритма в левом переднелобном отведении, индекса  $\beta$ 2-ритма в правом переднелобном отведении, индекса  $\beta$ 1-ритма в правом затылочном отведении, индекса  $\beta$ 1-ритма в правом височном отведении и RI ОСА ( $r = 0,51$ ;  $0,46$ ;  $0,48$ ;  $0,52$ ;  $0,55$ ;  $0,62$ ;  $0,52$  соответственно,  $p < 0,05$ ). Также у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> установлена прямая корреляционная связь между показателем усреднённой амплитуды всех ритмов ЭЭГ в правой височной области и максимальной ЛСК по ВСА ( $r = 0,49$ ,  $p < 0,05$ ), между показателями усреднённой амплитуды всех ритмов ЭЭГ в левой теменной области, показателя усреднённой амплитуды всех ритмов ЭЭГ в правой височной области и RI ПА ( $r = 0,49$  и  $r = 0,51$  соответственно,  $p < 0,05$ ), между показателем усреднённой амплитуды всех ритмов ЭЭГ в левом затылочном отведении и максимальной ЛСК по ПА ( $r = 0,46$ ,  $p < 0,05$ ). Установлена отрицательная корреляция между значением длительности интервала N18–N20 и RI ОСА ( $r = -0,35$ ,  $p < 0,05$ ). Выявленные статистически значимые положительные корреляционные зависимости между показателем RI ОСА и показателем теста причинно-следственных отношений (аналитико-синтетическое мышление,  $r = 0,54$ ,  $p < 0,05$ ), показателем максимальной ЛСК по ВСА и ПА и показателем кратковременной слухоречевой памяти ( $r = 0,57$  и  $r = 0,65$  соответственно,  $p < 0,05$ ) позволяют предположить, что повышение циркуляторного сопротивления ОСА, ВСА и ПА, по-видимому, способствует снижению функциональной активности лобной и нижней височной областей левого полушария. Представленные ассоциации указывают на патогенетическую роль изменений

церебральной гемодинамики в формировании нарушения НФА, сопровождающегося когнитивной дефицитностью, у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub>

Показательно, что в группе сравнения в результате применения корреляционного анализа не выявлено представленных выше зависимостей. Установленные прямые статистически значимые зависимости между RI ОСА и УПП центрального лобного, центрального отведений ( $r = 0,41$  и  $r = 0,36$  соответственно,  $p < 0,05$ ), RI ВСА и УПП правого лобного отведения, УПП лобной асимметрии Fd–Fs ( $r = 0,35$  и  $r = 0,53$  соответственно,  $p < 0,05$ ) могут свидетельствовать о роли сохранности эластикотонических свойств ОСА и ВСА в поддержании доминирующего УПП в правом лобном отведении, ответственного за адаптационные реакции в норме.

На следующем этапе работы определено 10 статистически значимых отличительных признаков, с помощью которых можно судить о нарушении НФА у пациентов с установленным диагнозом ВБ<sub>соч.</sub> – водителей большегрузного и гусеничного автотранспорта, машинистов буровых станков. Чувствительными были показатели, характеризующие состояние ЛСКmax ВСА ( $F = 500,31$ ,  $p = 0,000001$ ), RI ВСА ( $F = 27,42$ ,  $p = 0,000004$ ), индекс  $\theta$ -ритма в переднелобном правом отведении ( $F = 15,66$ ,  $p = 0,0002$ ), индекс  $\beta$ 2-ритма в затылочном левом отведении ( $F = 13,36$ ,  $p = 0,0007$ ), УПП теменного левого отведения (Ps,  $F = 12,15$ ,  $p = 0,002$ ), УПП центрального правого отведения (Cd,  $F = 8,85$ ,  $p = 0,005$ ), индекс  $\beta$ 1-ритма в левом затылочном отведении ( $F = 7,68$ ,  $p = 0,008$ ), индекс  $\theta$ -ритма в левом затылочном отведении ( $F = 5,68$ ,  $p = 0,022$ ), УПП центрального затылочного отведения (Oz,  $F = 5,17$ ,  $p = 0,028$ ). Наименьшую чувствительность имело значение индекса  $\theta$ -ритма в теменном правом отведении ( $F = 4,71$ ,  $p = 0,035$ ). Признаки нарушения НФА при ВБ<sub>соч.</sub> правильно классифицировались в 95,5% случаев, признаки нарушения НФА без ВБ<sub>соч.</sub> – в 99% случаев. Точность прогноза наличия признаков нарушения НФА в среднем составила 97%.

## Обсуждение

У пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> установлено умеренно выраженное усиление нейроэнергообмена в левом лобном, правом височном, центральных и теменных отделах обоих полушарий, сопровождающееся депрессией основных ритмов ЭЭГ во всех отделах левого полушария и височно-теменных областях правого полушария, ростом индекса патологического  $\delta$ -ритма. Выявленное увеличение показателей максимальной ЛСК по ОСА, ВСА, ПА, индекса RI ВСА и ПА может быть объяснено повышением тонуса основных экстракраниальных сосудов у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> из-за возможного снижения упругоэластических свойств и усиления периферического сопротивления. Также отмечено увеличение времени активации нейронов задних рогов спинного мозга (возрастание латентности компонента N13). Увеличение латентности первого коркового компонента соматосенсорной зоны коры головного мозга (N20) и возрастание длительности интервала N18–N20 связано, вероятно, со снижением активности таламокортикальной радиации и замедлением времени реакции на раздражение нейронов задней центральной извилины на афферентную посылку по специфическим таламокортикальным волокнам [17].

Согласно данным литературы, усиление нейроэнергообмена в задних отделах (по сравнению с передними) противоречит нормальности распределения УПП в корковых отделах ГМ [18] и может предполагать преобладание активности десинхронизирующих структур, начальные проявления или наличие гипертонической болезни, дисциркуляторной энцефалопатии [19]. Зарубиной И.В., Павловой Т.В. установлено, что повышенный УПП в задних отделах ГМ, особенно в затылочном отведении, наблюдался при дисбалансе венозного оттока и притока крови по экстракраниальным артериям, когда увеличивалась кислотность оттекающей от мозга крови. Поддержание высокого нейроэнергообмена,

наблюдаемое при хроническом стрессе, требует усиления локального мозгового кровотока, что достигается благодаря его метаболической регуляции [20].

Выявленная депрессия альфа- и бета-активности ЭЭГ во всех отделах левого полушария и височно-теменных областях правого полушария у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub>, сопровождающаяся ростом УПП в перечисленных зонах, может быть определена дефицитом холинергической нейротрансмиттерной системы, нарушениями проводящих систем мозга, локальными расстройствами нейрометаболизма [21]. Исследованиями показано, что снижение мощности  $\beta$ -ритма происходит при нервно-психическом переутомлении [22, 23]. Данные Бесланеева И.А. и соавт. указывают на значимую роль  $\beta$ -ритма в формировании гемодинамических сдвигов при артериальной гипертензии и развитии автономной дисфункции вследствие увеличения активности подкорковых структур [24].

Увеличение индекса  $\delta$ -ритма, являющегося признаком функционального разобщения областей мозга, отвечающего за корковую дисфункцию на системном уровне, указывает на преобладание тормозных процессов в коре ГМ, также инициированных, вероятно, нарушениями корково-подкорковых взаимоотношений. Эта особенность, по мнению Zappasodi F. и соавт., практически гарантирует наличие расстройства внимания и других ВПФ [25], что объясняет выявленные нами у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> нарушения мышления, памяти, праксиса. Изменения в регуляции тонуса основных экстракраниальных сосудов пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> позволяют предполагать наличие у них расстройств церебральной гемодинамики. По всей вероятности, хроническое воздействие вибрации вызывает микроповреждения эндотелия сосудов, которые со временем замещаются фиброзными элементами [3]. В результате формируется уплотнение стенки артерии, её утолщение и последующее уменьшение эластичности и снижение ригидности.

С помощью установленных статистически значимых корреляционных связей подтвердилась очевидность церебральных гемодинамических изменений, их взаимозависимость с патологическими нарушениями активности нейронов и состоянием ВПФ, психофизиологическим коррелятом формирования которого являются сложные

функциональные системы, имеющие вертикальную (корково-подкорковую) и горизонтальную (корково-корковую) организацию [17]. Совокупность установленных особенностей электроактивности ГМ, наличие в нейропсихологическом статусе нейродинамических и нейрорегуляторных изменений, подтверждённых исследованиями Шмырева В.И. и соавт. [26], позволяет предполагать у пациентов с ВБ<sub>соч.</sub> формирование органической патологии ГМ. Показатели, полученные с применением дискриминантного анализа, можно использовать в качестве критериев диагностики нарушения НФА при ВБ<sub>соч.</sub>. Выявленные изменения нейробиологической активности, нейроэнергетического, церебральной гемодинамики, ВПФ позволяют определить их роль в формировании церебрального ангиодистонического синдрома при профессиональном сочетанном воздействии локальной и общей вибрации.

**Ограничения исследования** обусловлены небольшим числом индивидов в группах, сравнительно небольшим объёмом обработанных данных иностранной литературы по изучаемому вопросу.

## Заключение

У пациентов с вибрационной болезнью, обусловленной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, умеренно выраженное повышение УПП преимущественно в задних отделах мозга сопровождается топической дезорганизацией и угнетением основных ритмов ЭЭГ, увеличением патологической дельта-активности, возрастанием времени центрального проведения по таламо-кортикальным волокнам, повышением тонуса общей и внутренней сонных артерий, повышением артериальной гипертензии, снижением ассоциативно-логического мышления, слухоречевой кратковременной и долговременной памяти, динамического праксиса, реципрокной координации. Основными критериями нарушения функциональной активности мозга, характерными для ВБ<sub>соч.</sub>, являются увеличение показателей ЛСК по ВСА, индекса RI ВСА, УПП затылочного, центрального правого и теменного левого отведений, а также снижение показателей индексов  $\theta$ -ритма в переднелобном и теменном правых, затылочном левом отведениях, индексов  $\beta_1$ - и  $\beta_2$ -ритмов в затылочном левом отведении.

## Литература

(п.п. 22, 23, 25 см. References)

1. Гужов В.И., Винокуров А.А. Методы исследования структуры и функционального состояния головного мозга. *Автоматика и программная инженерия*. 2014; (3): 80–8.
2. Александров М.В., Иванов Л.Б., Лытаев С.А. *Электроэнцефалография: руководство*. СПб.: СпецЛит; 2020.
3. Азовскова Т.А., Лаврентьева Н.Е., Вакурова Н.В. Актуальные вопросы диагностики ангиодистонических нарушений вибрационного генеза. *РМЖ. Медицинское обозрение*. 2015; 23(2): 109–12.
4. Кукс А.Н., Кудяева И.В., Сливницына Н.В. Состояние микроциркуляции у пациентов с вибрационной болезнью, имеющих метаболические нарушения. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(10): 1096–101. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1096-1101>
5. 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.
6. 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>
7. Шевченко О.И., Лахман О.Л. Взаимосвязь между нейропсихологическими показателями и уровнем постоянного потенциала у пациентов с профессиональными заболеваниями от воздействия физических факторов. *Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal)*. 2021; 6(1): 94–100. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.1.14>
8. Рукавишников В.С., Панков В.А., Кулешова М.В., Катаманова Е.В., Картапольцева Н.В., Русанова Д.В. и др. Теория сенсорного конфликта при воздействии физических факторов: основные положения и закономерности формирования. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; (4): 1–6.
9. *Вибрационная болезнь. Шумовая болезнь. Методическая разработка. Часть 2*. Волгоград; 2018.
10. Гоголева Г.Я., Липатов В.И., Адриановский А.А., Самылкин С.Р., Гусельников В.И. *Вибрационная болезнь*. Екатеринбург; 2021.
11. Шевченко О.И., Русанова Д.В., Лахман О.Л. Оценка нейрофункциональной активности у пациентов с вибрационной болезнью, обусловленной сочетанным воздействием локальной и общей вибрации. *Медицина труда и промышленная экология*. 2021; 61(11): 726–33. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-11-726-733>
12. Николаев С.Г. *Электромиография: клинический практикум*. Иваново; 2019.
13. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Способ оценки энергетического состояния головного мозга. Патент РФ № 2135077С1; 2019.
14. Холин А.В., Бондарева Е.В. *Допплерография и дуплексное сканирование сосудов*. М.: МЕДпресс-информ; 2015.
15. Хомская Е.Д. *Нейропсихология*. СПб.: Питер; 2007.
16. Глозман Ж.М. *Нейропсихологическое обследование: качественная и количественная оценка данных*. М.: Смысл; 2012.
17. Гнездицкий В.В., Корепина О.С. *Атлас по вызванным потенциалам мозга (практическое руководство, основанное на анализе конкретных клинических наблюдений)*. Иваново: ПрессСто; 2011.
18. Зверева З.Ф., Ванчакова Н.П., Золотарёва Н.Н. Клинические и нейрофизиологические показатели у больных с дисциркуляторной энцефалопатией. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2010; 110(2): 15–8.
19. Мирошник Е.В., Зверева З.Ф., Бобров А.Ф., Баскаков И.С., Ванчакова Н.П., Еланская О.В. Сопоставление показателей биоэлектрической активности головного мозга и энергетических процессов в ткани мозга (величины межполушарных различий мощности биоэлектрических гомологичных отведений и уровня постоянного потенциала головного мозга). *Медицина экстремальных ситуаций*. 2017; 60(2): 49–59.

20. Зарубина И.В., Павлова Т.В. Функционально-метаболические нарушения в головном мозге при хронической ишемии и их коррекция нейропептидами. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2007; 5(2): 20–33.
21. Омельченко В.П., Ровда Н.Л. Характеристика функционального состояния больных с нарушениями мозгового кровообращения на основе показателей электроэнцефалограммы и реоэнцефалограммы. *Известия ТРТУ*. 2000; (4): 92–4.
24. Бесланев И.А., Батырбекова Л.М., Курданов Х.А. Роль бета-ритма головного мозга в регуляции ритма сердца и гемодинамики у больных артериальной гипертензией. *Успехи современной науки*. 2017; 2(12): 128–35.
26. Шмырев В.И., Бояринцев В.В., Ардашев В.Н., Соколова Л.П., Князева И.В. Когнитивные нарушения на фоне психовегетативного синдрома. Клинические, нейропсихологические и нейрофункциональные аспекты. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2013; (3): 57–62.

## References

1. Guzhov V.I., Vinokurov A.A. Methods for studying the structure and functional state of the brain. *Avtomatika i programnaya inzheneriya*. 2014; (3): 80–8. (in Russian)
2. Aleksandrov M.V., Ivanov L.B., Lytaev S.A. *Electroencephalography: A Guide [Elektroentsefalografiya: rukovodstvo]*. St. Petersburg: SpetsLit; 2020. (in Russian)
3. Azovskova T.A., Lavrent'eva N.E., Vakurova N.V. Topical issues in the diagnosis of angiodystonic disorders of vibrational genesis. *RMZh. Meditsinskoe obozrenie*. 2015; 23(2): 109–12. (in Russian)
4. Kuks A.N., Kudaeva I.V., Slivnitsyna N.V. The state of microcirculation in patients with vibration disease providing metabolic disorders. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(10): 1096–110. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1096-1101> (in Russian)
5. Katamanova E.V., Nurbaeva D.Zh. Analysis of pathological activity EEG in individuals exposed to general and local vibrations. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2016; (3–4): 570–3. (in Russian)
6. Rusanova D.V., Lakhman O.L. The state of the central and peripheral conductive structures in patients with vibration disease. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(10): 1085–90. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1085-1090> (in Russian)
7. Shevchenko O.I., Lakhman O.L. The relationship between neuropsychological performance and level of direct current potential in patients with occupational diseases from exposure to physical factors. *Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal)*. 2021; 6(1): 94–100. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.1.14> (in Russian)
8. Rukavishnikov V.S., Pankov V.A., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., Kartapol'tseva N.V., Rusanova D.V., et al. On theory of sensory conflict under exposure to physical factors: main principles and concepts of formation. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015; (4): 1–6. (in Russian)
9. *Vibration Disease. Noise Disease. Methodical Development. Part 2 [Vibratsionnaya bolezni'. Shumovaya bolezni'. Metodicheskaya razrabotka. Chast' 2]*. Volgograd; 2018. (in Russian)
10. Gogoleva G.Ya., Lipatov V.I., Adrianovskiy A.A., Samytkin S.R., Gusev V.I. *Vibration Disease [Vibratsionnaya bolezni']*. Ekaterinburg; 2021. (in Russian)
11. 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. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2021; 61(11): 726–33. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-11-726-733> (in Russian)
12. Nikolaev S.G. *Electromyography: Clinical Practice [Elektromiografiya: klinicheskiy praktikum]*. Ivanovo; 2019. (in Russian)
13. Fokin V.F., Ponomareva N.V. A method for assessing the energy state of the brain. Patent RF № 2135077C1; 2019. (in Russian)
14. Kholin A.V., Bondareva E.V. *Dopplerography and duplex scanning of blood vessels [Dopplerografiya i dupleksnoe skanirovanie sudov]*. Moscow: MEDpress-inform; 2015. (in Russian)
15. Khomskaya E.D. *Neuropsychology [Nejropsihologiya]*. St. Petersburg: Piter; 2007. (in Russian)
16. Gluzman Zh.M. *Neuropsychological Examination: Qualitative and Quantitative Evaluation of Data [Nejropsikhologicheskoe obsledovanie: kachestvennaya i kolichestvennaya otsenka dannykh]*. Moscow: Smysl; 2012. (in Russian)
17. Gnezditsky V.V., Korepina O.S. *Atlas of Evoked Potentials of the Brain (a Practical Guide Based on the Analysis of Specific Clinical Observations) [Atlas po vyzvannym potentsialam mozga (prakticheskoe rukovodstvo, osnovannoe na analize konkretnykh klinicheskikh nablyudeniy)]*. Ivanovo: PressSto; 2011. (in Russian)
18. Zvereva Z.F., Vanchakova N.P., Zolotareva N.N. Clinical and neurophysiological parameters in patients with dyscirculatory encephalopathy. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2010; 110(2): 15–8. (in Russian)
19. Miroshnik E.V., Zvereva Z.F., Bobrov A.F., Baskakov I.S., Vanchakova N.P., Elanskaya O.V. Comparison between the brain bioelectric activity indices and energy metabolism in brain tissue (the magnitude of hemispheric differences in the power of biopotentials of homologous leads and the level of the permanent brain potential). *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy*. 2017; 60(2): 49–59. (in Russian)
20. Zarubina I.V., Pavlova T.V. Functional and metabolic disorders in the brain in chronic ischemia and their correction with neuropeptides. *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoy terapii*. 2007; 5(2): 20–33. (in Russian)
21. Omel'chenko V.P., Rovda N.L. Characteristics of the functional state of patients with cerebrovascular accidents based on electroencephalogram and rheoencephalogram parameters. *Izvestiya TRTU*. 2000; (4): 92–4. (in Russian)
22. Lal S., Bekiaris E. The reliability of sensing fatigue from neurophysiology. *AusWireless 2006*. In: *International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications Proceeding*. Washington; 2007: 1–4.
23. Jap B.T., Lal S., Fischer P., Bekiaris E. Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue. *Expert Syst. Appl.* 2009; 36(2): 2352–9.
24. Beslaneev I.A., Batorybekova L.M., Kurdanov Kh.A. The role of brain beta-rhythm in the regulation of heart rate and hemodynamics in patients with arterial hypertension. *Uspekhi sovremennoy nauki*. 2017; 2(12): 128–35. (in Russian)
25. Zappasodi F., Olejarczyk E., Marzetti L., Assenza G., Pizzella V., Tecchio F. Fractal dimension of EEG activity senses neuronal impairment in acute stroke. *PLoS One*. 2014; 9(6): e100199. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100199>
26. Shmyrev V.I., Boyarintsev V.V., Ardashev V.N., Sokolova L.P., Knyazeva I.V. Cognitive disorders in the psycho-vegetative syndrome. Clinical, neuropsychological and neurofunctional aspects. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik*. 2013; (3): 57–62. (in Russian)