

EDN: <https://elibrary.ru/oafepm>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-12-814-820>

УДК 613.64:612.822.3

© Коллектив авторов, 2022

Шевченко О.И., Катаманова Е.В., Лахман О.Л.

**Взаимосвязь показателей ЭЭГ и нейроэнергокартирования при вибрационной болезни**

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

**Введение.** Представлены результаты исследования взаимоотношений феноменов, характеризующих состояние регуляции нейрофизиологических и энергетических процессов, при вибрационной болезни (ВБ).

**Цель исследования** — выявить взаимосвязи, характеризующие состояние регуляции нейрофизиологических и энергетических процессов, по параметрам электроэнцефалографии (ЭЭГ) и уровня постоянного потенциала (УПП) у пациентов с ВБ.

**Материалы и методы.** Обследованы 37 пациентов с ВБ, обусловленной комбинированным воздействием локальной и общей вибрации, 30 здоровых мужчин (группа сравнения). Применяли методы электроэнцефалографии, нейроэнергокартирования.

**Результаты.** В группе пациентов с ВБ характер ЭЭГ-активности проявлялся изменением топической организации основных нормальных ритмов ЭЭГ: альфа-ритм, при сопоставлении с группой сравнения, в большей степени представлен в теменных отведениях (индекс альфа-ритма 30,7 (15,8–53,5) и 45,3 (34,9–59,5)% при  $p=0,010$  соответственно), бета1-ритм — в небольшом, примерно одинаковом количестве, по всем отведениям (в правых лобных от 3,7 (2,8–5,6) и 6 (3,8–8,2)% при  $p=0,020$ , в левых центральных отведениях до 5,9 (4,8–7,7) и 8,3 (5,9–12,1)% при  $p=0,018$  соответственно). Индекс дельта-ритма преобладал в правой лобной области 57,3 (47,1–74,8) и 17 (12–19)% при  $p=0,013$  соответственно. Выявлена отрицательная взаимосвязь индекса дельта-ритма в левой лобной (Fp1), левой центральной (C3), левой теменной (P3), левой затылочной (O3), левой височной (T3) областях и УПП в центральном отделе (Cz) ( $r=-0,34; -0,32; -0,35; -0,39; -0,44; p=0,036; 0,048; 0,033; 0,016; 0,006$  соответственно). Рост индекса тета-ритма в переднелобном левом (Fp1) отведении сопряжён с повышением УПП в затылочной доле правого полушария (Pd–Ps,  $r=0,50; p=0,001$ ).

**Ограничения исследования.** Ограничения представлены в виде небольшого количества индивидов в группах, недостаточной глубины проработки материалов иностранной литературы по изучаемому вопросу.

**Заключение.** Взаимообусловленными нарушениями нейрофункциональной активности при ВБ являются: увеличение индекса тета-ритма в лобной, центральной областях левого полушария при правополушарном усилении нейроэнергообмена в лобном, височном, теменном отделах; увеличение индекса дельта-ритма в левом полушарии при снижении УПП в центрально-теменном отделе. Усиление межполушарного взаимодействия с компенсаторной активацией субдоминантной гемисферы, вероятно, связан с напряжением адаптационного потенциала, механизмами поддержания гомеостаза, позволяющими снизить неврологический дефицит нейропластичности.

**Ключевые слова:** вибрационная болезнь; головной мозг; электроэнцефалография; нейроэнергокартирование; уровень постоянного потенциала

**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», 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.

**Для цитирования:** Шевченко О.И., Катаманова Е.В., Лахман О.Л. Взаимосвязь показателей ЭЭГ и нейроэнергокартирования при вибрационной болезни. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(12): 814–820. <https://elibrary.ru/oafepm> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-12-814-820> (in Russian)

**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 материала и обработка данных, написание текста, редактирование;

Катаманова Е.В. — обработка материала, написание текста;

Лахман О.Л. — редактирование.

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

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 01.12.2022 / Дата принятия к печати: 07.12.2022 / Дата публикации: 23.12.2022

Oksana I. Shevchenko, Elena V. Katamanova, Oleg L. Lakhman

**The relationship of electroencephalography (EEG) and neuroenergocarting indicators in vibration disease**

East Siberian Institute of Medical and Environmental Research, 3, 12-a Microdistrict, Angarsk, 665827

**Introduction.** This article presents the results of a study of the relationship of phenomena characterizing the state of regulation of neurophysiological and energy processes in vibration disease (VD).

**The study aims** to identify the relationships characterizing the state of regulation of neurophysiological and energy processes, according to the parameters of EEG and the level of constant potential (LCP) in patients with vibration disease.

**Materials and methods.** We have examined thirty seven patients with VB caused by the combined effects of local and general vibration, thirty healthy men (comparison group). The researchers used electroencephalography and neurogenetic mapping techniques.

**Results.** In the group of patients with VB, the nature of EEG activity was manifested by a change in the topical organization of the main normal EEG rhythms: the alpha rhythm, when compared with the comparison group, is more represented in the parietal leads (alpha rhythm index 30.7(15.8–53.5) and 45.3(34.9–59.5)% at  $p=0.010$ , respectively), beta1-rhythm — in a small, approximately the same amount, in all leads (in the right frontal from 3.7(2.8–5.6) and 6(3.8–8.2)% at  $p=0.020$ , in the left central leads up to 5.9(4.8–7.7) and 8.3(5.9–12.1)% at  $p=0.018$ , respectively). The delta rhythm index prevailed in the right frontal region 57.3(47.1–74.8) and 17(12–19)% at  $p=0.013$ , respectively. We have revealed a negative correlation of the delta rhythm index in the left frontal (Fp1), left central (C3), left parietal (P3), left occipital (O3), left temporal (T3) regions and LCP in the central (Cz) ( $r=-0.34; -0.32; -0.35; -0.39; -0.44; p=0.036; 0.048; 0.033; 0.016; 0.006$ , respectively). An increase in the theta rhythm index in the anterior frontal left lead (Fp1) can be associated with an increase in SCP in the occipital lobe of the right hemisphere (Pd-Ps,  $r=0.50; p=0.001$ ).

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

**Conclusion.** *Interdependent disorders of neurofunctional activity in VB are: an increase in the theta rhythm index in the frontal, central regions of the left hemisphere with a right-hemisphere increase in neuroenergy exchange in the frontal, temporal, parietal regions; an increase in the delta rhythm index of the rhythm in the left hemisphere with a decrease in the LCP in the central parietal region. The strengthening of interhemispheric interaction with compensatory activation of the subdominant hemisphere is probably associated with the strain of adaptive potential, mechanisms for maintaining homeostasis, allowing to reduce neurological deficit by neuroplasticity.*

**Keywords:** vibration disease; brain; electroencephalography; neuroenergetic mapping; constant potential level

**Ethics.** The work complies 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.

**For citation:** Shevchenko O.I., Katamanova E.V., Lakhman O.L. The relationship of electroencephalography (EEG) and neuroenergetic indicators in vibration disease. *Med. truda i prom. ekol.* 2022; 62(12): 814–820. <https://elibrary.ru/oafepm> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-12-814-820> (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 Environmental Research, Cand. of Sci. (Biol.). E-mail: [oich68@list.ru](mailto:oich68@list.ru)

**Information about the authors:** Shevchenko O.I. <https://orcid.org/0000-0003-4842-6791>  
Katamanova E.V. <https://orcid.org/0000-0002-9072-2781>  
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;

*Katamanova E.V.* — material processing, text writing;

*Lakhman O.L.* — editing.

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

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

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

*Received: 01.12.2022 / Accepted: 07.12.2022 / Published: 23.12.2022*

**Введение.** На протяжении длительного времени не теряет своей актуальности проблема поражения нервной системы при профессиональных заболеваниях [1, 2]. Изучение нейрофункциональной активности (НФА), считывание сигналов нервной системы (нейросенсинг), расширение алгоритма ранней диагностики нарушений церебрального кровоснабжения и поражения головного мозга (ГМ) позволяют осуществлять контроль за состоянием здоровья пациентов с профессиональными заболеваниями. Последнее немаловажно при проведении лечебно-реабилитационных мероприятий, направленных на продление периода эффективной деятельности работающих, когнитивной самостоятельности [4–6].

В нейронаучных исследованиях наиболее распространенным является метод электроэнцефалографии (ЭЭГ). Известно, что колебания ритмической электрической активности множественных популяций нейронов, связанные с постсинаптической и дендритной флуктуацией мембранного потенциала, закономерно отражаются на состоянии уровня церебрального энергетического обмена (ЦЭО). Изменение нейроэнергоактивности, обусловленное интенсивностью мозгового кровотока, потреблением кисло-

рода и глюкозы, проницаемостью гематоэнцефалического барьера (ГЭБ), в свою очередь, сказывается на НФА [7, 8]. Деполяризационный сдвиг мембранного потенциала определяет повышение возбудимости нейронов, с чем, главным образом, связано изменение биоэлектрической активности ГМ. Гипоксическое состояние инициирует появление патологической активности в ЭЭГ вследствие изменения постсинаптических потенциалов при энергетическом дефиците [8–9]. Поскольку применительно к человеку зависимость между показателями ЭЭГ и уровня постоянного потенциала (УПП) мало изучена, существование взаимосвязи между этими характеристиками обосновано, в основном, в ходе исследований на животных [7, 10, 11]. Однако результаты экспериментальных работ по исследованию взаимоотношений между ЭЭГ и УПП не должны автоматически переноситься на человека, поскольку динамика УПП при отведении от поверхности скальпа и при регистрации от коры ГМ существенно различается и во многих случаях может быть противоположной по знаку [12–14].

Известно, что при ВБ развиваются поражение периферических сосудов, нервов верхних и нижних конечностей,

церебральных сосудов. Сложнорефлекторное комбинированное влияние локальной и общей вибрации на регулирующие функции ЦНС изменяет нормальный сосудистый тонус, как на периферическом, так и церебральном уровнях, нарушая структуру эндотелия. Повреждение последнего приводит к изменению микроциркуляции и транскапиллярного обмена с прогрессированием тканевой гипоксии [3, 15–17]. Вследствие вышесказанного представляет научный интерес изучение распределения УПП во взаимосвязи с показателями ЭЭГ при исследовании взаимодействия корково-подкорковых образований ГМ, состояния регуляции нейрофизиологических и энергетических процессов при формировании нейросенсорного дефицита, для расширения представлений об особенностях функционирования ГМ при ВБ, обусловленной комбинированным воздействием локальной и общей вибрации.

**Цель исследования** — выявить взаимосвязи, характеризующие состояние регуляции нейрофизиологических и энергетических процессов, по параметрам ЭЭГ и УПП у пациентов с ВБ.

**Материалы и методы.** В клинических условиях до проведения лечения проведено нейрофизиологическое (ЭЭГ) обследование и нейроэнергокартирование (НЭК) у 37 пациентов с ВБ, обусловленной комбинированным воздействием локальной и общей вибрации (средний возраст  $48,7 \pm 3,1$  года). Группа сравнения представлена 30 мужчинами (средний возраст  $49,9 \pm 0,8$  года), которые по специфике профессиональной деятельности не подвергались хроническому воздействию локальной и общей вибрации, не имели на момент исследования острых и хронических (в стадии обострения) заболеваний. Критериями включения в группу пациентов с ВБ было наличие установленного во время работы в контакте с вредным производственным фактором диагноза ВБ, отсутствие экспозиции к локальной и общей вибрации на момент исследования. Критерии исключения пациентов из исследования — наличие коморбидной патологии, которая могла бы повлиять на результаты исследования биоэлектрической активности ГМ (субфебрильное состояние; наличие в анамнезе заболеваний и травм головного мозга, приводящих к снижению когнитивных функций и изменению показателей ЭЭГ, УПП, побочное действие лекарственных препаратов; наличие хронических заболеваний сердечно-сосудистой системы, приводящих к изменению реактивности церебральных сосудов, таких как церебральный атеросклероз, ИБС и т. д.).

Для измерения УПП применяли метод НЭК, оценивающий функциональные церебральные изменения [18, 19]. Регистрация ЭЭГ осуществлялась на компьютерном многофункциональном комплексе для исследования ЭЭГ «Нейрон-Спектр-4», ООО «Нейрософт», Россия. При анализе ЭЭГ для дифференциации признаков определяли среднестатистические значения индексов нормальных и патологических ритмов, значения частотно-пространственного распределения и амплитудных значений основных ритмов [20]. Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета прикладных программ «STATISTICA 10.0» (StatSoft, USA, 2011). Для определения значимости между независимыми выборками при ненормальном распределении использовали критерий Манна-Уитни. Корреляционный анализ проводили методом ранговой корреляции Спирмена. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез  $p < 0,05$ .

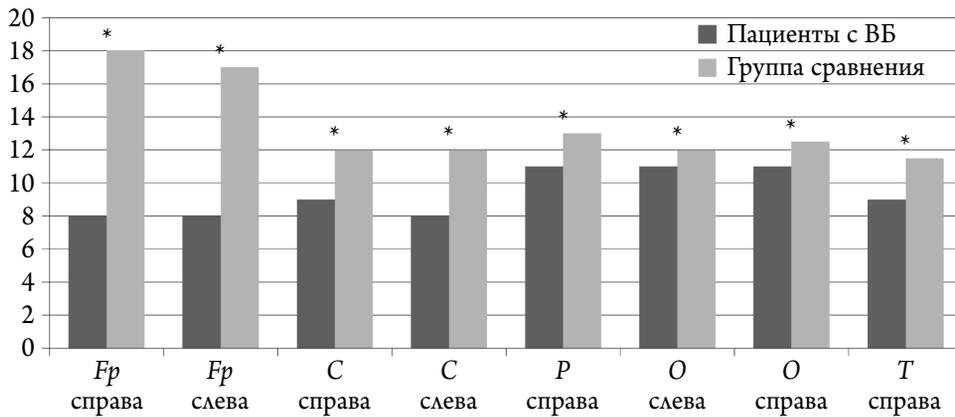
**Результаты.** Анализ межполушарных изменений основных ритмов ЭЭГ показал, что в группе пациентов с ВБ преобладает дельта-ритм во всех отведениях при сопоставлении с группой сравнения без существенной межполушарной асимметрии. Альфа-ритм в данной группе в большей степени представлен в теменных отведениях (индекс альфа-ритма  $30,7(15,8-53,5)\%$ ), бета1-ритм зарегистрирован в небольшом, примерно одинаковом количестве, по всем отведениям (от  $3,7(2,8-5,6)\%$  в правых лобных, до  $5,9(4,8-7,7)\%$  — в левых центральных отведениях). Данный факт свидетельствует о характере ЭЭГ-активности, проявляющейся изменением топической организации основных нормальных ритмов ЭЭГ, в целом, дезорганизованным типом ЭЭГ, отсутствием зональных различий с преобладанием медленноволновой активности дельта-диапазона.

В группе сравнения сохранялись зональные различия ЭЭГ по альфа-ритму, с преобладанием его в затылочно-теменных отведениях (индекс альфа-ритма  $38,0(27,5-58,8)\%$  в левых затылочных и  $45,3(34,9-59,5)\%$  в левых теменных отведениях). Бета1-ритм встречался статистически значимо чаще ( $p=0,02$ ), чем в группе с ВБ (от  $6,0(3,8-8,2)\%$  в правых лобных до  $8,3(5,9-12,1)\%$  в левых центральных отведениях), что соответствует нормальному топическому распределению этого ритма. Тем не менее, в группе сравнения медленноволновая активность также присутствовала в большом количестве в лобных (индекс дельта-ритма —  $45,7(37,1-54,4)\%$  и височных (индекс дельта-ритма —  $41,8(31,8-45,6)\%$ ) отведениях слева, указывая на умеренные изменения биоэлектрической активности ГМ.

В группе пациентов с ВБ при сопоставлении с группой сравнения усреднённая амплитуда всех индексов в лобных, центральных, теменных, затылочных и височных отведениях была значительно снижена (**рисунок**). Различия в суммарной амплитуде всех ритмов в височном и теменном отделах правого полушария достигали статистической значимости ( $p < 0,05$ ) в аналогичных областях в группе сравнения.

Согласно данным литературы, у здоровых лиц УПП во всех областях головы позитивной, в лобной области величина УПП ниже, а в центральной — выше, чем в других отведениях [7]. У пациентов с ВБ отмечено умеренно выраженное повышение УПП  $X_{ср}$ . (относительно нормативов — от  $15,5$  мВ до  $22$  мВ). При сопоставлении с группой сравнения различия показателя УПП у пациентов с ВБ достигали уровня значимости при  $p < 0,008$  во всех областях ГМ, кроме центрального лобного ( $Fz$ ) и левого височного ( $Ts$ ) отделов.

Обработка и анализ данных с помощью корреляционного анализа позволили выявить взаимосвязи между параметрами УПП и ЭЭГ. В группе сравнения в состоянии спокойного бодрствования отмечена положительная корреляционная связь между относительной спектральной мощностью альфа-ритма в левом переднелобном отведении и УПП в левом центральном отведении ( $r=0,39$ ;  $p=0,032$ ). Между относительной спектральной мощностью альфа-активности в левом центральном отведении и УПП в том же отделе мозга также найдена положительная корреляция ( $r=0,43$ ;  $p=0,017$ ). Аналогичная по знаку взаимосвязь обнаружена между усредненным УПП ( $X_{ср}$ ) и относительной спектральной мощностью альфа-активности ЭЭГ в левой центральной области ( $r=0,38$ ;  $p=0,036$ ). Установленная отрицательная корреляционная



**Рисунок. Распределение показателей средней амплитуды всех ритмов ЭЭГ по отделам головного мозга**

Примечания: \* — различия статистически значимы между группами,  $p < 0,05$ ; Fp — переднелобные; C — центральные; P — теменные; O — затылочные; T — височные.

**Figure. Distribution of indicators of the average amplitude of all EEG rhythms by brain regions**

Note: \* — the differences are statistically significant between groups,  $p < 0.05$ ; Fp — anterofrontal; C — central; P — parietal; O — occipital; T — temporal.

связь между индексом бета1-ритма в правом переднелобном (Fp2) отведении и УПП в центральном лобном (Cz), левом центральном (Cs), левом височном (Ts) отделах и усредненным по всем отведениям (Хср.) ( $r = -0,42; -0,44; -0,37; p = 0,021; 0,014; 0,039$  соответственно), подтверждает известный факт о преобладании у здоровых лиц ЦЭО в центральных отделах по сравнению с лобными, несмотря на усиление в них биоэлектрической активности [7]. Показатель усредненной амплитуды всех ритмов ЭЭГ в левой теменной (P3) области был связан положительной корреляционной связью с УПП в том же отделе мозга ( $r = 0,38; p = 0,034$ ). Аналогичная ситуация отмечалась в правой лобной области (Fp2) ( $r = 0,40; p = 0,028$ ). Увеличение показателя индекса дельта-ритма в левом лобном (Fp1) отделе сопровождалось снижением УПП в левой центральной (Cs), а в левом височном (T3) — в левой центральной (Cs) и правой теменной (Pd) областях ( $r = -0,36; -0,41; -0,44; p = 0,050; 0,022; 0,013$  соответственно). Итак, у обследованных группы сравнения позитивное отклонение УПП, сочетающееся с увеличением амплитуды альфа- и бета1-ритмов, сопровождалось снижением спектральной мощности медленноволновой активности дельта-диапазона. Полученные взаимосвязи отражали снижение нейроэнергообмена при усилении патологического дельта-ритма и его усиление при увеличении нормальной активности.

У пациентов с ВБ, так же, как и у пациентов группы сравнения, отмечалась в покое положительная корреляция между УПП в центральной области (Cz) и индексом альфа-ритма. Эти связи имели статистически значимые различия в левой и правой затылочных (Ps, Pd соответственно) областях ( $r = 0,39; 0,35; p = 0,016; 0,033$  соответственно), что соответствовало характерному нормальному распределению альфа-активности. Показатель УПП в правом лобном (Fd) отведении имел отрицательную корреляционную связь с суммарной амплитудой всех ритмов в правом и левом височных отделах, положительную — с индексом тета-ритма в левой центральной (C3) области ( $r = -0,44; -0,37; 0,32; p = 0,006; 0,023; 0,044$  соответственно). Зарегистрированы статистически значимые прямые корреляционные связи между УПП в центральном отделе (Cz) и индексами бета1-ритма в левой лобной (Fp1) и

левой, и правой височных (T3, T4), тета-ритмов в левой височной (T3) областях ( $r = 0,32; 0,44; 0,33; 0,47; p = 0,047; 0,007; 0,046; 0,003$  соответственно). Установленная положительная корреляционная связь между усредненным УПП (Хср.), а также УПП в центральной (Cz) и затылочных (Oz) областях и показателем индекса тета-ритма в левом височном (T3) отведении ( $r = 0,35; 0,47; 0,43; p = 0,031; 0,003; 0,007$  соответственно), подтверждает факт вклада патологической медленноволновой активности и изменения топической организации этого ритма в усиление ЦЭО при ВБ. Кроме того, увеличение индекса бета1-ритма в левом височном (T3) отделе было сопряжено с повышением УПП в правой и центральной теменных областях ( $r = 0,37; 0,33; p = 0,021; 0,046$  соответственно). На основании установленной отрицательной корреляционной связи между показателями индекса дельта-ритма в левой лобной (Fp1), левой центральной (C3), левой теменной (P3), левой затылочной (O3), левой височной (T3) областях и УПП в центральном отделе (Cz) ( $r = -0,34; -0,32; -0,35; -0,39; -0,44; p = 0,036; 0,048; 0,033; 0,016; 0,006$  соответственно), можно предположить, что снижение ЦЭО в центральном отделе ГМ (как в коре, так и в стволовой части мозга) сопряжено с усилением патологической дельта активности в левом полушарии. Отрицательная корреляционная связь индекса дельта-ритма в затылочном отделе левого полушария (O1) с УПП центральной теменной доли ( $r = -0,34; p = 0,04$ ) свидетельствует о наличии сенсорной дезинтеграции. Рост индекса тета-ритма в переднелобном левом (Fp1) отведении был связан положительной корреляционной связью с повышением УПП в затылочной доле правого полушария (Pd-Ps,  $r = 0,50; p = 0,001$ ).

Таким образом, у пациентов с ВБ между параметрами УПП и ЭЭГ определены содружественные изменения. Факт того, что корреляционные связи достигали силы умеренного уровня, может быть объяснен, по мнению В.Ф. Фокина (2003), как сложной зависимостью между функциональной активностью и ЦЭО, так и определённым влиянием экстрацеребральных процессов на УПП мозга [7].

**Обсуждение.** Результаты исследования можно трактовать с позиций известного факта, что длительное стрессовое воздействие промышленной вибрации способно вы-

зывать мобилизацию адаптационных процессов организма. При этом глюкокортикоиды оказывают воздействие на нейроны гиппокампа с последующим снижением активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси по механизму отрицательной обратной связи. Поскольку результативность адаптации при стрессе осуществляется, прежде всего, за счёт перестройки энергетических процессов и изменения биоэлектрической активности ГМ, закономерно усиление ЦЭО и мозгового кровотока, при которых возрастает роль гликолиза и других метаболических путей, сопровождающихся накоплением в мозговых структурах кислых продуктов обмена [21].

В результате анализа полученных данных у пациентов с ВБ выявлен высокий уровень активации мозговых структур, сопровождающийся депрессией альфа-ритма (десинхронный тип ЭЭГ), ассоциированный с усилением ЦЭО в виде роста УПП. Результаты изучения ишемических явлений в нервной ткани V. Kraaier et al. (1988) [22], С.Э. Мурика (2018) [9] позволяют предположить, что у пациентов с ВБ имеет место развитие состояния гиперполяризационного торможения, при котором увеличение УПП сочетается с депрессией основных ритмов ЭЭГ. Выявленное снижение индекса альфа-ритма и увеличение относительной мощности медленноволновой тета-активности, сопровождающееся значительным ростом УПП, согласно исследованиям В.Ф. Фокина и соавт. (2017), В.А. Илюхиной (2013), вероятно связаны с переходом на энергетически невыгодный анаэробный обмен, напряжением компенсаторного механизма метаболической саморегуляции, противодействующего ишемической деполаризации [23, 24]. Интересен для обсуждения установленный факт отрицательной взаимосвязи роста индекса дельта-активности в лобной, височной, затылочной областях левого полушария со снижением УПП в центрально-теменном отделе ГМ. Данная закономерность, согласно клиническим и экспериментальным данным [25–30], возможно связана с формированием ишемических очагов в ГМ вследствие локальной тканевой гипоксии, нарушений нейрометаболизма у пациентов с ВБ. Кроме того, компенсаторная активация субдоминантного полушария (правого, «симпатического», ведущего в развитии стресса) в виде правополушарного умеренно выраженного увеличения УПП при одновременном усилении патологической тета-активности в лобной, центральной, височной областях левого

полушария, может быть обусловлена нарушением адаптационных процессов, которые сопровождаются изменением центральной регуляции гомеостаза. Таким образом, гиперактивация правого полушария приводит не только к нарушениям в психической сфере, сенсомоторных функций, но и к активации проявлений вегетативных, гуморальных и эндокринных реакций [31, 32].

Приведённые результаты согласуются и дополняют полученные ранее нами данные о нейрофизиологических особенностях при ВБ (уменьшение индекса альфа-ритма, увеличение выраженности медленноволновой активности, усиление когерентных связей альфа-диапазона в правом височном отведении [25], а также о росте УПП в центральном и правом височном отведениях [33] характерных для дисфункции стволовых образований мозга, преимущественно нижних его отделов, вегетативной дисфункции церебрального уровня и косвенных признаков хронической вертебро-базилярной недостаточности.

**Ограничения исследования.** Исследование имеет ряд ограничений, к которым следует отнести небольшое количество индивидов в группах, недостаточную глубину проработки материалов иностранной литературы по изучаемому вопросу.

**Заключение.** *Нейросенсорный дефицит у пациентов с ВБ сопровождается содружественными изменениями в состоянии регуляции нейрофизиологических и энергетических процессов в виде нарушений топической организации основных нормальных ритмов ЭЭГ, отсутствия зональных различий с преобладанием медленноволновой активности тета-диапазона, угнетения спектральной мощности всех ритмов ЭЭГ, с преимущественным снижением их суммарной амплитуды в височном и теменно-затылочном отделах правого полушария, усилением ЦЭО практически во всех областях ГМ. Увеличение патологической дельта-активности во всех областях левого полушария сопряжённое с негативизацией УПП в центрально-теменном отделе (с включённостью центральных неспецифических структур), может быть объяснено возможным нарушением функционального и метаболического адаптивного состояния клеток нервной ткани, сенсорной дезинтеграции при ВБ. Выявлена компенсаторная активация субдоминантного полушария (правого, в виде увеличения УПП в лобном, височном, теменном отделах) в ответ на усиление мощности тета-активности в левой центральной области.*

### Список литературы

1. Могилевец О.Н., Дешко Т.А., Добровольская Т.В., Котова К.В. Анализ заболеваемости вибрационной болезнью в Гродненской области. *Актуальные проблемы медицины: материалы ежегодной итоговой научно-практической конференции*. Гродно, 25–26 января 2018 г. Министерство здравоохранения Республики Беларусь, Учреждение образования «Гродненский государственный медицинский университет». Гродно, 2018: 545–8. <http://elib.grsmu.by/handle/files/6813>
2. Nilsson T., Wahlström J., Burström L. Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases—A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2017; 12(7): e0180795. <https://doi.org/10.1371>
3. Азовскова Т.А., Лаврентьева Н.Е., Вакурова Н.В. Актуальные вопросы диагностики ангиодистонических нарушений вибрационного генеза. *Русский медицинский журнал*. 2015; 2: 109.
4. Бабанов С.А. Азовскова Т.А. Бараева Р.А. Влияние производственной вибрации на организм работников всех отраслей. *Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве*. 2020; 2: 35–44.
5. Ожогина О.А., Закревская А.А., Сериков В.В. Легкие когнитивные нарушения у работников локомотивных бригад железнодорожного транспорта (обзор литературы). *Мед. труда и пром. экол.* 2016; 4: 27–30.
6. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В., Медведев Р.Б., Танащян М.М., Шабалина А.А. Влияние газотранспортной системы мозгового кровотока на медленную электрическую активность головного мозга у пациентов с дисциркуляторной энцефалопатией. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2017; 11(4): 29–35. <https://doi.org/10.18454/ACEN.2017.4.3>
7. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. *Энергетическая физиология мозга*. М.: Антидор; 2003.
8. Клименко А.Л., Скальный А.В., Турна А.А., Савостина М.С., Мазилина А.Н., Баскаков И.С., Буданова М.Н. Энергетический метаболизм мозга при ишемическом инсульте и металло-лигандный гомеостаз в этиопатогенезе ишемического ин-

- сульты. *Микроэлементы в медицине*. 2015; 16(2): 18–27.
9. Мурик С.Э. Омегаэлектронцефалография: становление нового метода, диагностические возможности. *Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология*. 2018; 26: 69–85. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.26.69>
  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): 16777–87. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3967-10.2010>
  11. Tecchio F., Zappasodi F., Melgari J.M., Porcaro C., Cassetta E., Rossini P.M. Sensory-motor interaction in primary hand cortical areas: a magnetoencephalography assessment. *Neuroscience*. 2006; 141(1): 533–42. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.03.059>
  12. Murik S.E., Shapkin A.G. Simultaneous recording of the EEG and direct current (DC) potential makes it possible to assess the functional and metabolic state of the nervous tissue. *Int. J. Neurosci.* 2004; 114: 921–34. <https://doi.org/10.1080/00207450490450154>
  13. Murik S.E. The use of DCEEG to estimate functional and metabolic state of nervous tissue of the brain at hyper- and hyperventilation. *World J. Neurosci.* 2012; 2: 172–82. <https://doi.org/10.4236/wjns.2012.23027>
  14. Lehmenkuler A., Richter F., Popelmann T. Hypoxia — and hypercapnia-induced DC potential shifts in rat at the scalp and the skull are opposite in polarity to those at the cerebral cortex. *Neurosci. Lett.* 1999; 270: 67–70.
  15. Бабанов С.А., Азовскова Т.А., Вакурова Н.В., Бараева Р.А. *Вибрационная болезнь*. Монография. М: НИЦ ИНФРА; 2016.
  16. Sauni R., Toivio P., Pääkkönen R., Malmström J., Uitti J. Work disability after diagnosis of hand-arm vibration syndrome. *Int Arch Occup Environ Health*. 2015; 8: 1061–8. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1034-1>
  17. Бабанов С.А., Бараева Р.А. Механизмы эндотелиального повреждения при сочетанном течении вибрационной болезни и артериальной гипертензии. *Современные аспекты здоровьясбережения: сб. материалов юбил. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 55-летию мед.-проф. фак-та УО БГМУ. Минск, 23–24 мая 2019 г.* под ред. А.В. Сикорского, А.В. Гиндюка, Т.С. Борисовой. Минск; 2019: 521–7. <http://rep.bsnu.by/handle/BSMU/25965>
  18. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Способ оценки энергетического состояния головного мозга. Патент на изобретение RU 2 135 077 С1. 2019 27.08.2019
  19. Walsh P., Kane N., Butler S. The clinical role of evoked potentials. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*. 2005; 76(2): 16–22. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2005.068130>
  20. Зенков А.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей, 8-е изд. М.: МЕДпресс-информ; 2017.
  21. *Патофизиология: учебник: в 2 т.* Под ред. В.В. Новицкого, Е.Д. Гольдберга, О.И. Уразовой. 4-е изд., перераб. и доп. ГЭ-ОТАР-Медиа; 2009; 1.
  22. Kraaier V., Van Huffelen A.C., Wieneke G.H. Changes in quantitative EEG and blood flow velocity due to standardized hyperventilation; a model of transient ischaemia in young human subjects, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 1988; 70(5): 377–87. [https://doi.org/10.1016/00134694\(88\)90015-6](https://doi.org/10.1016/00134694(88)90015-6)
  23. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В., Медведев Р.Б., Танащян М.М., Шабалина А.А. Влияние газотранспортной системы мозгового кровотока на медленную электрическую активность головного мозга у пациентов с дисциркуляторной энцефалопатией. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2017; 11(4): 29–35. <https://doi.org/10.18454/ACEN.2017.4.3>
  24. Илюхина В.А. Сверхмедленные информационно-управляющие системы в интеграции процессов жизнедеятельности головного мозга и организма. *Физиология человека*. 2013; 39(3): 114–26.
  25. Катаманова Е.В., Лахман О.Л., Нурбаева Д.Ж., Картапольцева Н.В., Судакова Н.Г. Особенности биоэлектрической активности мозга при воздействии на организм вибрации. *Медицина труда и промышленная экология*. 2010; 7: 6–9.
  26. Новиков В.Е., Катунина Н.П. Фармакология и биохимия гипоксии. *Обзоры по клин. фармакол. и лек. терапии*. 2002; 1(2): 13–87.
  27. Кутепов Д.Е., Жигалова М.С., Пасечник И.Н. Патогенез синдрома ишемии-реперфузии. *Казанский мед. ж.* 2018; 99(4): 640–644. <https://doi.org/10.17816/KMJ2018-640>
  28. Gale S.D., Hopkins R.O. Effects of hypoxia on the brain: Neuroimaging and neuropsychological findings following carbon monoxide poisoning and obstructive sleep apnea. *Journal of the International Neuropsychological Society*. 2004. 10(1): 60–71. <https://doi.org/10.1017/S1355617704101082>
  29. Bon L.I., Maksimovich N.E., Zimatkin S.M. Effects of experimental cerebral ischemia on metabolic characteristics of parietal cortex neurons. *Bioprocess Engineering*. 2018; 2(1): 1–5. <https://doi.org/10.11648/j.be.20180201.11>
  30. Brownlee N.N.M., Wilson C.F., Curran D., Lyttle N., McCann J. Neurocognitive outcomes in adults following cerebral hypoxia: A systematic literature review. *Neuro Rehabilitation*. 2020; 47(2): 83–97. <https://doi.org/10.3233/NRE-203135>
  31. Шардакова Я.А., Карпова И.А., Кадырова Е.В. Изучение особенностей внимания, работоспособности и структурно-функциональной организации полушарий головного мозга. *Международный студенческий научный вестник*. 2017; 3. <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=17194> (дата обращения: 27.01.2022)
  32. Александров С.Г. *Функциональная асимметрия и межполушарные взаимодействия головного мозга: учебное пособие для студентов*. Иркутск: ИГМУ; 2014.
  33. 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>

## References

1. Mogilevets O.N., Dshko T.A., Dobrovolskaya T.V., Kotova K.V. Analysis of the incidence of vibration disease in the Grodno region. *Actual problems of medicine: materials of the annual final scientific and practical conference*. Grodno, January 25–26, 2018, Ministry of Health of the Republic of Belarus, Educational Institution "Grodno State Medical University". Grodno; 2018: 545–8. <http://elib.grsmu.by/handle/files/6813> (in Russian).
2. Nilsson T., Wahlström J., Burström L. Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases-A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2017; 12(7): e0180795. <https://doi.org/10.1371>
3. Azovskova T.A., Lavrent'eva N.E., Vakurova N.V. Topical issues in the diagnosis of angiodystonic disorders of vibrational genesis. *Russky meditsinsky zhurnal*. 2015; 2: 109 (in Russian).
4. Babanov S.A., Azovskova T.A., Baraeva R.A. The impact of industrial vibration on the body of workers in all industries. *Ohrana truda i tehnika bezopasnosti v sel'skom hozyajstve*. 2020; 2: 35–44 (in Russian).
5. Ozhogina O.A., Zakrevskaya A.A., Serikov V.V. Mild cognitive impairment in employees of locomotive crews of railway transport (Literature review). *Med. truda i prom. ekol.* 2016; 4: 27–30 (in Russian).
6. Fokin V.F., Ponomareva N.V., Medvedev R.B., Tanashyan M.M., Shabalina A.A. Influence of the gas transport system of cerebral blood flow on the slow electrical activity of the brain in patients

- with discirculatory encephalopathy. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noj nevrologii*. 2017; 11(4): 29–35. <https://doi.org/10.18454/ACEN.2017.4.3> (in Russian).
7. Fokin V.F., Ponomareva N.V. *Energy physiology of the brain*. Moscow: Antidor; 2003.
  8. Klimenko L.L., Skalny A.V., Turna A.A., Savostina M.S., Mazilina A.N., Baskakov I.S., Budanova M.N. Energy metabolism of the brain in ischemic stroke and metal-ligand homeostasis in the etiopathogenesis of ischemic stroke. *Mikroelementy v medicine*. 2015; 16(2): 18–27 (in Russian).
  9. Murik S.E. Omegaelectroencephalography: development of a new method, diagnostic possibilities. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologiya. Ekologiya*. 2018; 26: 69–85. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.26.69> (in Russian).
  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): 16777–87. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3967-10.2010>
  11. Tecchio F., Zappasodi F., Melgari J.M., Porcaro C., Cassetta E., Rossini P.M. Sensory-motor interaction in primary hand cortical areas: a magnetoencephalography assessment. *Neuroscience*. 2006; 141(1): 533–42. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.03.059>
  12. Murik S.E., Shapkin A.G. Simultaneous recording of the EEG and direct current (DC) potential makes it possible to assess the functional and metabolic state of the nervous tissue. *Int. J. Neurosci*. 2004; 114: 921–34. <https://doi.org/10.1080/00207450490450154>
  13. Murik S.E. The use of DCEEG to estimate functional and metabolic state of nervous tissue of the brain at hyper- and hypoventilation. *World J. Neurosci*. 2012; 2: 172–82. <https://doi.org/10.4236/wjns.2012.23027>
  14. Lehmenkuler A., Richter F., Popelmann T. Hypoxia- and hypercapnia-induced DC potential shifts in rat at the scalp and the skull are opposite in polarity to those at the cerebral cortex. *Neurosci. Lett*. 1999; 270: 67–70.
  15. Babanov S.A., Azovskova T.A., Vakurova N.V., Baraeva R.A. *Vibration disease*. Monograph. M: SIC INFRA; 2016 (in Russian).
  16. Sauni R., Toivio P., Pääkkönen R., Malmström J., Uitti J. Work disability after diagnosis of hand-arm vibration syndrome. *Int Arch Occup Environ Health*. 2015; 8: 1061–8. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1034-1>
  17. Babanov S.A., Baraeva R.A. Mechanisms of endothelial damage in the combined course of vibration disease and arterial hypertension. *Modern aspects of health saving: Sat. anniversary materials. scientific-practical. conf. with international participation, dedicated 55<sup>th</sup> anniversary of medical-prof. Faculty of Educational Establishment of BSMU, Minsk, May 23-24, 2019*. Ed. A.V. Sikorsky, A.V. Gindyuka, T.S. Borisova. Minsk, 2019: 521–7. <http://rep.bsmu.by/handle/BSMU/25965> (in Russian).
  18. Fokin V.F., Ponomareva N.V. A method for assessing the energy state of the brain. Patent for invention RU 2 135 077 C1. 2019 27.08.2019 (in Russian).
  19. Walsh P., Kane N., Butler S. The clinical role of evoked potentials. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*. 2005; 76(2): 16–22. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2005.068130>
  20. Zenkov L.R. *Clinical electroencephalography (with elements of epileptology). Manual for Physicians, 8<sup>th</sup> ed.*; Moscow: MEDpress-inform; 2017 (in Russian).
  21. *Pathophysiology: textbook: in 2 volumes*. Ed. V.V. Novitsky, E.D. Goldberg, O.I. Urazova. 4th ed., revised. and additional. GEOTAR-Media; 2009; 1 (in Russian).
  22. Kraaier V., Van Huffelen A.C., Wieneke G.H. Changes in quantitative EEG and blood flow velocity due to standardized hyperventilation; a model of transient ischaemia in young human subjects, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol*. 1988; 70(5): 377–87. [https://doi.org/10.1016/00134694\(88\)90015-6](https://doi.org/10.1016/00134694(88)90015-6)
  23. Fokin V.F., Ponomareva N.V., Medvedev R.B., Tanashyan M.M., Shabalina A.A. Influence of the gas transport system of cerebral blood flow on the slow electrical activity of the brain in patients with discirculatory encephalopathy. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noj nevrologii*. 2017; 11(4): 29–35. <https://doi.org/10.18454/ACEN.2017.4.3> (in Russian).
  24. Ilyukhina V.A. Super-slow information-control systems in the integration of vital processes of the brain and body. *Fiziologiya cheloveka*. 2013; 39(3): 114–26 (in Russian).
  25. Katamanova E.V., Lakhman O.L., Nurbaeva D.Zh., Kartapoltseva N.V., Sudakova N.G. Features of the bioelectrical activity of the brain when exposed to vibration on the body. *Med. truda i prom. ekol*. 2010; 7: 6–9 (in Russian).
  26. Novikov V.E., Katunina N.P. Pharmacology and biochemistry of hypoxia. *Obzory po klin, farmakol. i lek. terapii*. 2002; 1(2): 13–87 (in Russian).
  27. Kutepov D.E., Zhigalova M.S., Pasechnik I.N. The pathogenesis of ischemia-reperfusion syndrome. *Kazanskij med. zh*. 2018; 99(4): 640–4. <https://doi.org/10.17816/KMJ2018-640>
  28. Gale S.D., Hopkins R.O. Effects of hypoxia on the brain: Neuroimaging and neuropsychological findings following carbon monoxide poisoning and obstructive sleep apnea. *Journal of the International Neuropsychological Society*. 2004; 10(1): 60–71. <https://doi.org/10.1017/S1355617704101082>
  29. Bon L.I., Maksimovich N.E., Zimatkin S.M. Effects of experimental cerebral ischemia on metabolic characteristics of parietal cortex neurons. *Bioprocess Engineering*. 2018; 2(1): 1–5. <https://doi.org/10.11648/j.be.20180201.11>
  30. Brownlee N.N.M., Wilson C.F., Curran D., Lyttle N., McCann J. Neurocognitive outcomes in adults following cerebral hypoxia: A systematic literature review. *Neuro Rehabilitation*. 2020; 47(2): 83–97. <https://doi.org/10.3233/NRE-203135>
  31. Shardakova Ya.A., Karpova I.A., Kadyrova E.V. The study of the features of attention, performance and structural and functional organization of the cerebral hemispheres. *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik*. 2017; 3. <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=17194> (accessed: 01/27/2022) (in Russian).
  32. Aleksandrov S.G. *Functional asymmetry and interhemispheric interactions of the brain: a textbook for students*. Irkutsk: IGMU; 2014 (in Russian).
  33. Shevchenko O.I., Lakhman O.L. The state of energy metabolism of the brain in patients with occupational diseases from exposure to physical factors. *Ekologiya cheloveka*. 2020; 2: 18–23. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-2-18-23> (in Russian).