



Кулешова М.В., Панков В.А., Катаманова Е.В., Купцова Н.Г.

Биоэлектрическая активность головного мозга работающих в контакте с локальной вибрацией в динамике наблюдения

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В немногочисленных нейрофизиологических исследованиях показано, что у пациентов с вибрационной болезнью (ВБ) наблюдаются изменения биоэлектрической активности головного мозга (БЭА ГМ). Наблюдения в динамике состояния БЭА ГМ у работающих в контакте с вибрацией практически отсутствуют.

Цель исследования — изучение динамики формирования нейрофизиологических изменений у работников при воздействии локальной вибрации.

Материалы и методы. Проведена электроэнцефалография (ЭЭГ) с регистрацией вызванных потенциалов (ВП) у работающих, подвергавшихся воздействию локальной вибрации (практически здоровые работники, лица с ВБ, продолжающие работать по профессии), двукратно в связанной выборке. Результаты представлены в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей, экстенсивных показателей. Оценка значимости различий выполнена с использованием критерия χ^2 Пирсона, углового преобразования Фишера, Т-критерия Вилкоксона.

Результаты. В динамике наблюдали смену паттерна ЭЭГ с дезорганизованного с преобладанием альфа-активности на дезорганизованный с преобладанием медленноволновой активности, снижение спектральной мощности основных ритмов ЭЭГ во всех основных функциональных диапазонах у обследованных обеих групп. Диффузные изменения на ЭЭГ указывали на полисистемный характер нарушений БЭА ГМ с вовлечением коры больших полушарий, стволовых и дисцефальных структур мозга. Изменения амплитудно-временных параметров ВП, проявляющиеся превышением значений нормы латентности основных пиков и снижением амплитуды, свидетельствовали о нарушении равновесия в центральной нервной системе, дисбалансе общемодулирующих влияний на кору больших полушарий таламокортикальных систем ГМ.

Ограничения исследования. В исследование вошли работники только одной профессиональной группы с различным уровнем состояния здоровья — практически здоровые и лица с ВБ.

Заключение. Установлены однонаправленность и прогрессивное развитие изменений БЭА, проявляющееся перестройкой электрической активности ГМ, десинхронизацией активности нейронов, повышением уровня функциональной активности ГМ, дисбалансом общемодулирующих влияний на кору больших полушарий. Выявленные изменения являлись проявлением неспецифической части патогенеза ВБ.

Ключевые слова: биоэлектрическая активность головного мозга; локальная вибрация; работающие

Соблюдение этических стандартов. Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» (с поправками 2013 г.), одобрено Локальным этическим комитетом ФГБНУ ВСИМЭИ (заключения ЛЭК № 6 от 15.11.2012 г., № 5 от 21.03.2023 г.), не ущемляло прав и не подвергало опасности благополучие субъектов исследования, проведено с их согласия.

Для цитирования: Кулешова М.В., Панков В.А., Катаманова Е.В., Купцова Н.Г. Биоэлектрическая активность головного мозга работающих в контакте с локальной вибрацией в динамике наблюдения. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(9): 959–966. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-959-966> <https://elibrary.ru/ldqxjv>

Для корреспонденции: Кулешова Марина Владимировна, e-mail: lmt_angarsk@mail.ru

Участие авторов: Кулешова М.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, редактирование, ответственность за целостность всех частей статьи; Панков В.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Катаманова Е.В. — редактирование; Купцова Н.Г. — сбор материала, редактирование.

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

Финансирование. Исследование выполнено в рамках средств, выделяемых для реализации государственного задания ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований».

Поступила: 21.06.2024 / Поступила после доработки: 14.08.2024 / Принята к печати: 23.09.2024 / Опубликовано: 16.10.2024

Marina V. Kuleshova, Vladimir A. Pankov, Elena V. Katamanova, Natalya G. Kuptsova

Bioelectric brain activity in workers with hand-arm vibration in dynamics

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. A few neurophysiologic studies have shown that changes of the bioelectrical brain activity are observed in hand-arm vibration syndrome (HAVS) patients. There is practically no information about the state of bioelectrical brain activity in the hand-arm vibration.

The purpose is to study the dynamics of the formation of neurophysiologic changes in workers exposed to hand-arm vibration.

Materials and methods. Electroencephalography (EEG) and registration of evoked potentials (EP) was carried out in workers exposed to hand-arm vibration (practically healthy workers, HAVS individuals who continue to work in their occupation), twice in a connected sample. The results are presented as median, upper and lower quartiles, and extensive indicators. The significance of differences was assessed using Pearson's χ^2 test, Fisher's angular transformation, and Wilcoxon T-test.

Results. In dynamics, there is a change in the EEG pattern from disorganized with a predominance of alpha activity to disorganized with a predominance of delta, and theta activity; a decrease in the spectral power of the main EEG rhythms in all main functional leads in both examined groups. Diffuse changes in the EEG indicate a multisystem nature of bioelectrical brain activity disorders with involvement of the cerebral cortex, stem, and diencephalic structures of the brain. Changes in the amplitude-temporal parameters of EP manifested by an excess of the latency of the main peaks and a decrease in amplitude, indicate an imbalance in the central nervous system, general modulating influences on the cerebral cortex of the thalamocortical systems of the brain.

Limitations. One occupational group with different levels of health status — practically healthy workers, HAVS individuals who continue to work in their occupation — was enrolled in the study.

Conclusion. The one-direction and progressive development of changes in the bioelectrical brain activity has been established, manifested by a restructuring of the electrical activity of the brain, desynchronization of neuronal activity, an increase in the level of functional activity of the brain, and an imbalance of general modulating influences on the cerebral cortex. The identified changes are a manifestation of the nonspecific part of the pathogenesis of HAVS.

Keywords: bioelectrical brain activity; hand-arm vibration; workers

Compliance with ethical standards. The study was performed in accordance with ethical standards and approved by the Local Ethics Committee of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research (conclusion No. 6 dated November 15, 2012, conclusion No. 5 dated March 21, 2023).

For citation: Kuleshova M.V., Pankov V.A., Katamanova E.V., Kuptsova N.G. Bioelectric brain activity in workers with hand-arm vibration in dynamics. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2024; 103(9): 959–966. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-959-966> <https://elibrary.ru/ldqxjv> (In Russ.)

For correspondence: Marina V. Kuleshova, e-mail: lmt_angarsk@mail.ru

Contribution: Kuleshova M.V. — concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing text, editing, responsibility for the integrity of all parts of the article; Pankov V.A. — concept and design of the study, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Katamanova E.V. — editing; Kuptsova N.G. — collection of material, editing.

Acknowledgment. The work was performed within the funds allocated for the implementation of the State task for the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

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

Received: June 21, 2024 / Revised: August 14, 2024 / Accepted: September 23, 2024 / Published: October 16, 2024

Введение

Исследования отечественных и зарубежных авторов показывают, что значительная часть работников, занятых в различных отраслях экономики, подвергается воздействию локальной вибрации [1–4]. Выполненные многочисленные исследования по изучению неблагоприятного воздействия локальной вибрации на состояние отдельных систем организма [1, 2, 5–12] недостаточно полно отражают особенности и механизмы формирования ответных реакций, некоторые теоретические и практические вопросы до настоящего времени остаются нерешёнными.

Регистрация электрической активности головного мозга посредством электроэнцефалографии (ЭЭГ) — единственный объективный способ прямой оценки функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) [13, 14]. В немногочисленных нейрофизиологических исследованиях, выполненных в основном у пациентов с вибрационной болезнью (ВБ), показано, что при ВБ нарушаются обычные соотношения во взаимодействии адрено- и холинореактивных структур головного мозга [15], наблюдаются изменения биоэлектрической активности мозга, проявляющиеся увеличением медленноволновой активности в виде одиночных и групповых дельта- и тета-волн, распространяющихся по коре [16], прогрессирующим снижением альфа-ритма, нарастанием доли медленной тета-, дельта-активности в височных отведениях справа, акцентуацией межполушарной асимметрии и дисфункцией верхнестеволовых срединных структур, нарастанием синфазности процессов в лобных, центральных, правых центрально-затылочных и левых лобно-височных отведениях отделов мозга [17].

В литературе практически отсутствуют сведения о длительном наблюдении за состоянием основных функциональных систем организма работающих в контакте с вибрацией в динамике, а представленные результаты немногочисленных исследований противоречивы [18–21]. Следует также отметить, что исследования выполнялись в основном с участием лиц с верифицированным диагнозом «вибрационная болезнь» в условиях стационара, в то время как наблюдения за практически здоровыми работающими, подвергавшимися воздействию вибрации, практически не встречаются.

Цель работы — изучение динамики формирования нейрофизиологических изменений у работающих, подвергавшихся воздействию локальной вибрации.

Материалы и методы

Исследования выполнены на основе созданного информационного массива персонифицированных показателей функциональной активности головного мозга работавших по профессии «сборщик-клепальщик», подвергавшихся воздействию локальной вибрации [22]. В исследование были включены практически здоровые лица ($n = 67$, средний возраст при пер-

вом обследовании $27,5 \pm 0,9$ года, при втором — $33,2 \pm 0,9$ года, средний стаж работы в контакте с локальной вибрацией — $2,8 \pm 0,4$ и $7,9 \pm 0,5$ года соответственно) и лица с верифицированным диагнозом «вибрационная болезнь», продолжавшие работать по профессии ($n = 42$, средний возраст при первом обследовании $42,9 \pm 1,2$ года, при втором — $47,4 \pm 1,3$ года, средний стаж работы в контакте с локальной вибрацией — $19,5 \pm 1$ и $24,1 \pm 1$ год соответственно). Обследование проведено двукратно с интервалом 5,5 года в связанной выборке. Критериями включения в исследование были мужской пол, профессия «сборщик-клепальщик» и наличие подписанного информированного согласия, а критериями исключения — наличие коморбидной патологии, способной повлиять на результаты исследования биоэлектрической активности головного мозга (субфебрильное состояние, обострение хронических патологий на момент обследования, наличие в анамнезе болезней и травм головного мозга). Гигиеническая оценка условий труда работающих в контакте с локальной вибрацией по степени вредности и опасности, тяжести и напряжённости трудового процесса показала, что в динамике наблюдения существенных изменений технологических процессов не произошло, условия труда, интенсивность и длительность воздействия факторов практически не изменились. Общая оценка условий труда по степени вредности и опасности, тяжести и напряжённости трудового процесса работников агрегатно-сборочного производства соответствует классу 3.4 (вредному), основным неблагоприятным фактором производственной среды является преимущественно средне- и высокочастотная локальная вибрация, интегральные корректированные уровни которой превышали ПДУ до 17 дБ [23].

Изучение биоэлектрической активности головного мозга проведено с помощью компьютерной электроэнцефалографии с топографическим картированием электроактивности мозга спектров мощности ритмов альфа-, бета-, тета- и дельта-диапазонов и регистрации вызванных потенциалов (зрительных и слуховых) на комплексе DX-NT 32.V1.9 (производитель DX-Complexes LTD, Харьков, ТУ У22699733–001–95, регистрационное удостоверение № 49919) [24]. Запись ЭЭГ осуществлялась при расположении электродов по системе «10–20» в состоянии спокойного бодрствования. Фоновая запись ЭЭГ составляла не менее трёх минут, затем проводили стандартные функциональные пробы с ритмической фотостимуляцией и гипервентиляцией. Электроэнцефалограммы оценивали как визуально, так и с вычислением относительных количественных показателей, используя спектральный и периодометрический анализ. Спектральный анализ ЭЭГ проводили с применением алгоритма быстрого преобразования Фурье в 19 отведениях при усреднённом монтаже электродов. Перед анализом ЭЭГ корректировали артефакты ЭЭГ. Также рассчитывали относительные показатели спектров мощности ЭЭГ: соотношение мощностей низкочастотных и высокочастотных ритмов в покое по обла-

Таблица 1 / Table 1

Распределение типов ЭЭГ работающих в контакте с локальной вибрацией в динамике наблюдения (связная выборка), % [95% ДИ]
Distribution of EEG types among workers exposed to hand-arm vibration in the dynamics of observation (coherent sample), % [95% CI]

Типы ЭЭГ EEG types	Обследование Examination	Группы обследованных / Groups of examined persons	
		Практически здоровые Practically healthy persons	Лица с ВБ Persons with HAVS
Организованный / Organized	Первое / 1 st	9.0 [0–16.2]	7.4 [0–20.0]
	Второе / 2 nd	11.7 [2.7–24.3]*	12.5 [6.7–53.3]*
Гиперсинхронный / Hypersynchronous	Первое / 1 st	14.6 [8.1–32.4]	22.2 [13.3–60.0]
	Второе / 2 nd	10.0 [0–16.2]	6.2 [0–20.0]*
Десинхронный / Desynchronous	Первое / 1 st	10.9 [2.7–21.6]	14.8 [0–20.0]
	Второе / 2 nd	11.3 [2.7–24.3]	18.8 [0–33.3]
Дезорганизованный (с преобладанием альфа-активности) Disorganized (alpha-dominant)	Первое / 1 st	47.3 [29.7–62.2]	51.9 [26.7–80.0]
	Второе / 2 nd	27.0 [13.5–43.2]*	28.1 [6.7–46.7]*
Дезорганизованный (с преобладанием дельта- и тета-активности) Disorganized (delta&theta-dominant)	Первое / 1 st	18.2 [5.4–27.0]	3.7 [0–16.7]
	Второе / 2 nd	40.0 [21.6–54.1]*	34.4 [6.7–46.7]*

Примечание. * – различия статистически значимы при $p < 0,05$.

Note: * – differences are statistically significant at $p < 0.05$.

стям (интегральный индекс ЭЭГ, $(\Delta + \theta) / (\alpha + \beta)$), соотношение спектров мощности ЭЭГ в альфа- и тета-диапазонах в покое (фоновая запись ЭЭГ, α/θ), соотношение спектров мощности ЭЭГ в альфа- и дельта-диапазонах в покое (фоновая запись ЭЭГ, α/Δ), соотношение спектров мощности ЭЭГ в альфа- и бета-диапазонах (фоновая запись ЭЭГ, α/β). Для визуальной оценки паттерна ЭЭГ использовали классификацию Жирмунской Е.А. [25]. При исследовании длиннотентных зрительных ВП в качестве стимула применяли световую вспышку газоразрядной импульсной лампы (длина волны 640 нм) с подачей стимула монокулярно при закрытых глазах пациента. Эпоха анализа составила 500 мс, число усреднений – 100. При регистрации длиннотентных слуховых ВП использовали звуковой щелчок – короткий импульс прямоугольной формы, подаваемый бинаурально с помощью головного телефона [26], эпоха анализа составила 500 мс, количество усреднений – 100.

Материалы исследования были подвергнуты статистической обработке. Для всех выборок проверялась гипотеза нормальности распределения по критерию Шапиро – Уилка. В описании количественных данных применяли значение медианы (Me), верхний и нижний квартили (Q_1 – Q_3), качественные данные представлены в виде доли (%) и 95%-го доверительного интервала. Значимость различий относительных показателей оценивали с помощью критерия χ^2 Пирсона, критерия углового преобразования Фишера. Для определения значимости различий между связанными выборками применяли T -критерий Вилкоксона. Статистическую обработку данных выполняли с помощью пакетов прикладных программ Excel Office 2003 (в ОС Windows XP), Statistica версии 6.1 Stat_Soft® Inc. (правообладатель лицензии – ФГБНУ ВСИМЭИ).

Результаты

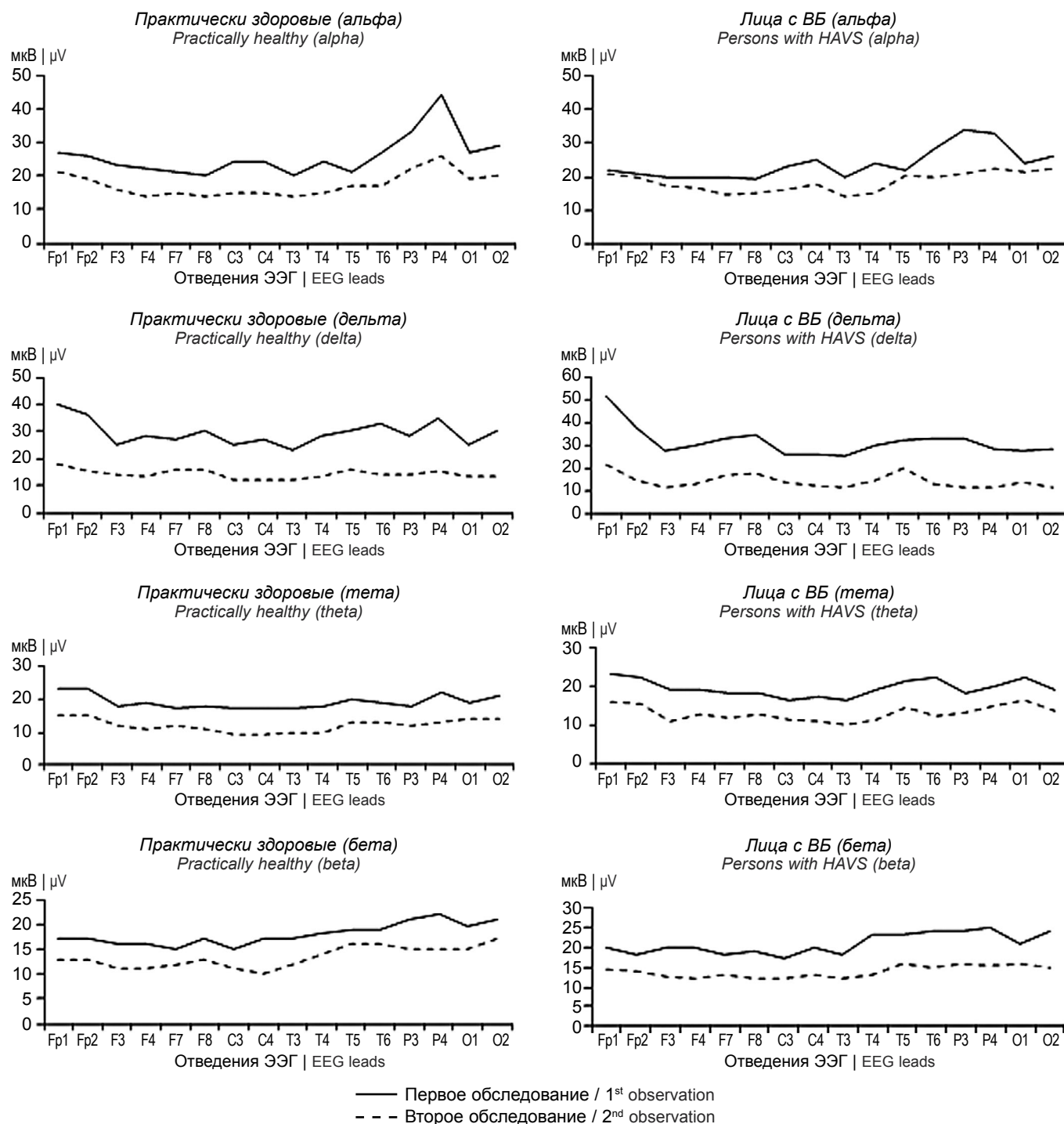
Визуальная оценка паттерна ЭЭГ свидетельствовала о том, что у рабочих обеих групп при первом обследовании преимущественно регистрировался дезорганизованный тип ЭЭГ с преобладанием активности альфа-диапазона, при повторном паттерн ЭЭГ относился к дезорганизованному с преобладанием активности тета- и дельта-диапазона (табл. 1), что может свидетельствовать о микроструктурных поражениях коры головного мозга. Следует отметить, что доля паттернов ЭЭГ (гиперсинхронный, десинхронный типы), отражающих регуляторные изменения в деятельности мозга, в динамике исследования не изменилась.

Как при первом, так и при повторном обследовании на ЭЭГ практически здоровых лиц отмечались в основном умеренные диффузные изменения биоэлектрической активности головного мозга (78,4 [64,9–91,9]% случаев при первом обследовании и 70,3 [56,8–86,5]% случаев – при повторном; $p > 0,05$), однако доля лиц с выявленной дисфункцией стволовых структур при втором обследовании статистически значимо увеличилась (с 48,6 [33,3–66,7]% случаев при первом обследовании до 67,6 [51,4–81,1]% – при втором; $p < 0,01$). На ЭЭГ лиц с ВБ как при первом, так и при повторном обследовании также наблюдали в основном умеренные общемозговые изменения (86,7 [66,7–100]% и 66,7 [40–86,7]% случаев соответственно), в то же время увеличилась доля лиц, у которых в картине ЭЭГ присутствовали выраженные диффузные изменения (с 13,3 [0–33,3]% случаев при первом обследовании до 33,3 [0–40]% случаев – при втором; $p < 0,01$). Также в динамике наблюдения у лиц данной группы отмечалось статистически значимое увеличение доли ЭЭГ с явлениями ирритации (с 13,3 [0–33,3]% случаев до 46,7 [20,0–66,7]% случаев; $p < 0,01$) и дисфункции стволовых структур (с 53,3 [26,7–80]% случаев до 86,7 [66,7–100]% случаев; $p < 0,01$).

Анализ доминирующей активности в картине ЭЭГ в динамике показал следующее. Если при первом обследовании в основном регистрировалась полиритмичная активность (61,9 [47,6–76,2]% случаев у практически здоровых рабочих и 60 [43,3–76,7]% у лиц с ВБ), то при втором наблюдалось перераспределение ритмов ЭЭГ в сторону доминирования дельта-активности (11,9 [2,4–23,8]% у практически здоровых, 13,3 [3,3–26,7]% у лиц с ВБ при первом обследовании и 53,9 [34,6–73,1]% и 28,6 [9,5–47,6]% – при втором соответственно; $p < 0,05$). Альфа- и бета-активность в качестве главной регистрировалась значительно реже (26,2 [12–40,5]% у практически здоровых рабочих, 23,3 [10–40]% у лиц с ВБ при первом обследовании и 11,5 [0–26,9]%, 19 [4,8–38,1]% – при втором соответственно).

Сравнительный анализ спектральной мощности основных ритмов ЭЭГ работающих в контакте с локальной вибрацией в динамике показал статистически значимое снижение амплитуды ритмов во всех основных функциональных диапазонах у обследованных обеих групп (см. рисунок).

Снижение спектральной мощности по основным (стандартным) диапазонам ЭЭГ позволило предположить, что наряду с амплитудными изменениями происходили и частотные модификации структуры мозговой активности. В связи



Спектральная мощность основных ритмов электроэнцефалограммы у работающих в контакте с локальной вибрацией в динамике (связная выборка) (мкВ).

Spectral power of the main electroencephalography rhythms in workers exposed hand-arm vibration (μV).

с этим был выполнен анализ динамики индексов основных ритмов ЭЭГ в связной выборке, который в целом свидетельствовал о перестройке электрической активности головного мозга. Так, в группе практически здоровых работников наблюдалось снижение дельта-индекса (с 49,5 до 36%) и альфа-индекса (с 21 до 16%), увеличение бета1-индекса (с 16,5 до 23,5%; $p = 0,025$), тета- и бета2-индексы не изменялись. У лиц с ВБ регистрировалось снижение дельта-индекса (с 29 до 17%), бета2-индекса (с 3 до 0%; $p = 0,033$), увеличение альфа-индекса (с 23 до 40%), тета- и бета1-индексы практически не изменились.

Анализ межполушарной асимметрии альфа-ритма показал, что в группе практически здоровых рабочих статистически значимо снижались показатели асимметрии в темпоральном отведении (Т3–Т4) (с 7,37 (3,09–17,12) при первом обследовании до 5,75 (0–9,80) – при втором; $p = 0,032$) и париетальном отведении (Р3–Р4) (с 11,49 (6,24–19,97) при первом обследовании до 7,94 (2,59–14,96) – при втором; $p = 0,042$). У лиц с ВБ и у практически здоровых работников статистически значимо уменьшалась межполушарная асимметрия в темпоральном (Т3–Т4) (с 5,97 (2,94–10,41) при первом обследовании до 3,85 (0–8,53) – при втором;

Таблица 2 / Table 2

Относительные показатели ЭЭГ работающих в контакте с локальной вибрацией в динамике наблюдения (связная выборка), *Me* (Q_1 – Q_3)
Ratio of EEG rhythms among workers exposed to hand-arm vibration in the dynamics of observation (coherent sample), *Me* (Q_1 – Q_3)

Относительные показатели ЭЭГ Relative EEG indices	Обследование Examination	Группы обследованных / Groups of examined persons	
		Практически здоровые Practically healthy persons	Лица с ВБ Persons with HAVS
Интегральный индекс ЭЭГ Integral EEG index	Первое / 1 st	1.20 (0.89–1.52)	1.11 (0.84–1.57)
	Второе / 2 nd	0.89 (0.65–1.06); $p = 0.002$	0.90 (0.72–1.17); $p = 0.042$
Соотношение α/θ alpha/theta ratio	Первое / 1 st	4.00 (0.40–14.56)	3.17 (0–9.91)
	Второе / 2 nd	3.10 (0–15.08); $p = 0.943$	3.57 (0–18.00); $p = 0.820$
Соотношение α/Δ alpha/delta ratio	Первое / 1 st	0.83 (0.63–1.34)	0.79 (0.55–1.38)
	Второе / 2 nd	1.25 (0.87–1.84); $p = 0.030$	1.26 (0.93–1.83); $p = 0.042$
Соотношение α/β_1 alpha/beta1 ratio	Первое / 1 st	2.37 (1.63–2.75)	2.25 (1.61–2.80)
	Второе / 2 nd	2.21 (1.54–2.85); $p = 0.561$	2.06 (1.59–3.09); $p = 0.493$

$p = 0,043$) отведении. Кроме того установлено, что увеличивалась доля практически здоровых лиц с межполушарной асимметрией альфа-ритма в центральном отведении (с 9,4% при первом обследовании до 18,6% при втором; $p < 0,05$) преимущественно за счёт высокой амплитуды ритма справа. В группе рабочих с ВБ отмечено увеличение числа лиц с межполушарной асимметрией альфа-ритма во фронтальном (с 3,1% при первом обследовании до 13,2% при втором; $p < 0,05$), височном (с 25% при первом обследовании до 36,8% при втором) отведениях преимущественно за счёт высокой амплитуды ритма слева.

Изменения межполушарной асимметрии дельта-ритма в динамике имели разнонаправленные тенденции, однако статистически значимых различий среднegrupповых показателей в разные периоды обследования не выявлено. В то же время установлено, что увеличивалась доля практически здоровых лиц с межполушарной асимметрией дельта-ритма в заднебожном отведении (с 13,2% при первом обследовании до 30,5% при втором; $p < 0,05$), центральном (с 13,2% при первом обследовании до 28,8% при втором) преимущественно за счёт высокой амплитуды ритма слева. В группе обследованных с ВБ также отмечено увеличение числа лиц с зарегистрированной межполушарной асимметрией дельта-ритма во фронтальном (с 40,6% при первом обследовании до 63,2% при втором; $p < 0,05$), центральном (с 6,2% при первом обследовании до 21,1% при втором; $p < 0,05$), височном (с 25% при первом обследовании до 42,8% при втором) отведениях преимущественно за счёт высокой амплитуды ритма слева.

Расчёты относительных показателей ЭЭГ (соотношение $(\Delta + \theta) / (\alpha + \beta)$, α/θ , α/Δ , α/β_1) показали, что интегральный индекс ЭЭГ в динамике наблюдения статистически значимо снижался, а соотношение «альфа – дельта» увеличивалось как в группе практически здоровых рабочих, так и у лиц с ВБ (табл. 2).

Результаты исследования зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) свидетельствуют о том, что в целом изменения разной степени выраженности выявлены как у практически здоровых рабочих, так и у лиц с ВБ, что проявлялось преимущественно превышением значений нормы латентности основных пиков и снижением амплитудных параметров ЗВП. У практически здоровых работников в динамике в связной выборке латентность первичного коркового ответа (компонент N2) ЗВП находилась в пределах нормы и составляла в левом отведении 254 (207–308,5) мс при первом обследовании и 226 (194–330) мс при втором, в правом отведении – 261 (178–447) и 236 (196–314) мс соответственно. Латентность пика P2 регистрировалась выше нормативных значений как при первом, так и при втором обследовании в левом отведении 306 (246–414) и 268 (228–356) мс соответственно, в правом отведении 310 (258–396) и 300 (243–373)

мс соответственно. Латентность пика N3 в левом отведении составляла 358 (288–434) и 342 (292–438) мс, в правом отведении 344 (277–472,5) и 338 (288–398) мс соответственно. Вышеизложенное может свидетельствовать как о сохранной скорости проведения зрительного сигнала (компонент N2) в динамике наблюдения, так и об особенностях обработки зрительного стимула и снижении активности ассоциативных отделов зрительной коры на поступление сигнала (компоненты P2, N3).

У лиц с ВБ пиковая латентность компонента N2 ЗВП в левом отведении как при первом, так и при втором обследовании регистрировалась ниже нормативного значения и составляла 203 (160–299,5) и 214 (204–240) мс соответственно, при этом скорость проведения сигнала в правом отведении была в пределах нормы (234 (160–413) и 242 (203–295) мс соответственно). Латентность P2 справа (282 (194–442) мс) и слева (269 (202–325) мс) была выше нормы и продолжала увеличиваться в правом отведении в динамике исследования, что может указывать на нарушение проведения сигнала по структурам зрительного анализатора.

Анализ амплитудных параметров ЗВП показал статистически значимое снижение N1, P2, P3 как в группе практически здоровых рабочих, так и лиц с ВБ, что, вероятно, связано с уменьшением числа активных нейронов в ответ на зрительный стимул вследствие снижения афферентного потока по волокнам (табл. 3).

Из особенностей реакции на звуковой стимул следует отметить, что для группы практически здоровых рабочих характерно в основном снижение амплитуды компонентов в динамике исследования, для лиц с ВБ – увеличение латентности и снижение амплитудных показателей компонентов ЗВП. Снижение ранних корковых компонентов ВП у практически здоровых работников в динамике, возможно, происходило за счёт сокращения числа задействованных нервных клеток и синаптических контактов, так как эти компоненты отражают сенсорную часть, связанную с физическими параметрами стимула и активацией подкорково-стволовых структур [26]. Увеличение пиковой латентности (замедление времени кульминации волн) у лиц с ВБ может свидетельствовать о снижении скорости проведения по аксонам ганглиозных клеток, что характерно для демиелинизирующих состояний.

Результаты исследования слуховых вызванных потенциалов (СВП) показали статистически значимое удлинение латентности пиков P1 (с 213 (128–289) до 236 (179,5–296,5) мс; $p = 0,035$), P3 (с 370 (308,5–585,5) до 450 (400,5–552,2) мс; $p = 0,046$) в левых отведениях у практически здоровых рабочих в динамике, что может свидетельствовать об увеличении задействованных синапсов и последующем снижении скорости передачи возбуждения и переработки стимула. Кроме того, у лиц данной группы установлено снижение амплитуды

Таблица 3 / Table 3

Амплитуда зрительных вызванных потенциалов у работающих в контакте с локальной вибрацией в динамике (связная выборка), мкВ, $Me (Q_1-Q_3)$

Amplitudes of the visual evoked potentials' among workers exposed to hand-arm vibration in the dynamics, (coherent sample), μV , $Me (Q_1-Q_3)$

Компонент ЗВП Visual evoked potentials' component	Обследование Examination	Группы обследованных / Groups of examined persons			
		Практически здоровые / Practically healthy persons		Лица с ВБ / Persons with HAVS	
		Отведения ВП / Evoked potentials' leads			
		левые / left	правые / right	левые / left	правые / right
N1	Первое / 1 st	4.02 (2.57–7.77)	4.98 (2.08–9.84)	3.64 (2.45–5.44)	3.76 (2.12–5.60)
	Второе / 2 nd	2.68 (1.53–3.96); $p = 0.014$	2.98 (1.74–4.55); $p = 0.024$	2.46 (1.29–3.23); $p = 0.010$	1.97 (1.71–4.13); $p = 0.088$
P1	Первое / 1 st	4.96 (3.02–7.35)	3.88 (1.91–7.87)	2.60 (1.79–5.06)	2.96 (1.70–5.11)
	Второе / 2 nd	3.16 (1.88–6.03); $p = 0.121$	2.66 (0.98–5.46); $p = 0.130$	2.63 (1.74–4.37); $p = 0.799$	3.25 (1.37–5.77); $p = 0.345$
N2	Первое / 1 st	3.23 (2.28–4.74)	3.42 (1.94–5.73)	3.91 (1.59–8.08)	4.22 (2.00–6.73)
	Второе / 2 nd	2.90 (1.32–4.38); $p = 0.550$	3.24 (1.78–5.36); $p = 0.836$	3.06 (1.70–3.62); $p = 0.177$	2.22 (1.81–5.02); $p = 0.878$
P2	Первое / 1 st	4.56 (2.50–8.18)	3.48 (2.18–6.04)	3.36 (1.97–5.19)	3.86 (2.18–7.38)
	Второе / 2 nd	2.14 (1.22–3.58); $p = 0.101$	1.61 (0.94–3.46); $p = 0.041$	1.82 (1.12–2.36); $p = 0.012$	1.54 (0.63–2.73); $p = 0.046$
N3	Первое / 1 st	2.74 (0.98–5.92)	2.36 (1.43–6.81)	2.89 (0.82–4.76)	2.62 (1.60–5.32)
	Второе / 2 nd	2.34 (0.93–3.67); $p = 0.088$	3.40 (1.84–4.70); $p = 0.184$	2.38 (2.01–3.16); $p = 0.241$	2.75 (1.69–3.23); $p = 0.314$
P3	Первое / 1 st	2.90 (1.21–5.35)	4.32 (1.74–7.12)	3.30 (2.46–4.82)	3.16 (2.18–7.18)
	Второе / 2 nd	2.0 (1.32–3.08); $p = 0.687$	2.05 (1.03–2.87); $p = 0.015$	1.69 (0.35–2.50); $p = 0.012$	2.36 (1.50–3.66); $p = 0.139$

как в левых, так и в правых отведениях всех анализируемых пиков СВП. В группе лиц с ВБ статистически значимых различий между показателями латентности в разные периоды обследования не выявлено, однако зарегистрировано снижение амплитудных параметров – ранних корковых (N1, P1) и поздних (N3) компонентов СВП, что, возможно, связано с десинхронизацией работы нейронов, приводящей к снижению активации корковых процессов и, следовательно, к невозможности формирования новых временных связей.

Таким образом, для лиц, работающих в контакте с локальной вибрацией, характерен дезорганизованный, низкоамплитудный тип ЭЭГ с нарушением регулярности, частотно-пространственной и амплитудной инверсией альфа-ритма. Выявленные в динамике в связной выборке диффузные нарушения на ЭЭГ как у практически здоровых работников, так и у лиц с ВБ могут свидетельствовать о полисистемном характере нарушений биоэлектрической активности головного мозга с заинтересованностью не только коры больших полушарий, но также стволовых и дисэнцефальных структур мозга. Изменения характеристик компонентов ВП у работающих в контакте с локальной вибрацией свидетельствуют о нарушении равновесия в центральной нервной системе, подавлении коркового ответа (депрессия амплитуды зрительного коркового ответа), дисбаланс обще модулирующих влияний на кору больших полушарий таламических систем головного мозга.

Обсуждение

Результаты выполненных ЭЭГ-исследований свидетельствуют о преобладании у обследованных обеих групп дезорганизованного типа ЭЭГ, при этом в динамике наблюдения как среди практически здоровых, так и среди рабочих с ВБ отмечается увеличение доли обследованных с дезорганизованным типом, характеризующимся преобладанием медленноволновой активности в картине ЭЭГ, что указывает на микроструктурные поражения в коре головного мозга. Вместо регулярной доминирующей альфа-активности в картине ЭЭГ обследованных обеих групп регистрировалась полиритмичная активность.

Результаты других авторов также указывают, что при воздействии вибрации у работающих происходили изменения биоэлектрической активности, проявлявшиеся увеличением

медленноволновой активности в виде одиночных и групповых дельта- и тета-волн, распространявшихся по коре [16], нарастанием синфазности процессов в лобных, центральных, правых центрально-затылочных и левых лобно-височных отведениях отделов мозга, увеличением степени их связи, что отражало снижение функционального состояния коры головного мозга [17]. При этом Катамановой Е.В. и соавт. (2016) выявлено, что источники патологической активности у пациентов с ВБ в наибольшей степени локализованы в области таламуса ($35 \pm 4,2\%$), лобно-центральных ($30 \pm 3,9\%$) и височных ($20 \pm 3,1\%$) отделах. В исследовании Ганович Е.А. с соавт. (2012) показано, что при ВБ нарушаются обычные соотношения во взаимодействии адreno- и холинореактивных структур головного мозга, что приводит к значительному повышению тонуса всей неспецифической восходящей активирующей ретикулярной формации [15].

Известно, что альфа-ритм имеет высокую функциональную значимость и является основным графоэлементом нормальной ЭЭГ, функциональным ядром, организующим биоэлектрическую активность мозга [27]. Результаты наших исследований свидетельствуют об ослаблении мозговой деятельности у обследованных обеих групп, что проявляется статистически значимым снижением спектральной мощности альфа-активности во всех основных функциональных диапазонах в динамике наблюдения и может отражать нисходящее контролирующее влияние коры. Кроме того, нами установлено снижение амплитудных параметров волн бета-, дельта- и тета-диапазонов, что ещё более уплощает рисунок ЭЭГ, а плоский паттерн свидетельствует преимущественно о недостаточности обменных процессов в корковых нейронах.

Закономерности межполушарного взаимодействия и межполушарной асимметрии как частного случая взаимодействия характеризуют интегративные особенности работы мозга как единой системы. Статистически значимые изменения среднегрупповых показателей межполушарной асимметрии дельта-ритма у обследованных обеих групп отсутствовали, поэтому нами была определена частота встречаемости лиц с выходящими за границы показателями асимметрии. Установлено увеличение доли лиц с превышающими норму значениями межполушарной асимметрии дельта-ритма в центральном (у обследованных обеих групп), лобном (у практически здоровых), фронтальном и височном (у лиц с ВБ) отведениях за счёт высокой амплитуды ритма

слева. Также выявлено увеличение числа практически здоровых лиц с межполушарной асимметрией альфа-ритма в центральном отведении за счёт высокой амплитуды справа. Увеличение доли лиц с ВБ с превышающими норму значениями межполушарной асимметрии альфа-ритма во фронтальном и височном отведениях обусловлено высокой амплитудой ритма слева.

Результаты изучения ВП головного мозга свидетельствуют об изменении амплитудно-временных характеристик ЗВП в динамике в связанной выборке у обследованных обеих групп. Наиболее характерным изменением ЗВП в группе практически здоровых рабочих является снижение амплитудных параметров анализируемых пиков, у лиц с ВБ — повышение латентности и снижение амплитуды негативных пиков ЗВП, снижение латентности и амплитуды позитивных пиков ЗВП. Как правило, авторы рассматривают пик P2 как наиболее значимый в связи с наибольшей выраженностью, устойчивостью и простотой выделения [26]. Было установлено снижение латентности пика P2 ЗВП, при этом среднегрупповые значения латентности превышали нормативный диапазон, а также выявлено снижение его амплитудных значений у обследованных обеих групп, причём у лиц с ВБ регистрировалось статистически значимое билатеральное снижение амплитуды P2, в то время как у практически здоровых — только справа, что может свидетельствовать о десинхронизации работы ансамблей нейронов. Поскольку источником компонента P2 ЗВП являются подкорковые ядра таламуса и ствола мозга [26], можно предположить дисбаланс общемодулирующих влияний на кору больших полушарий таламических систем головного мозга вследствие снижения афферентного потока по волокнам. Результаты исследования СВП также свидетельствуют о десинхронизации работы нейронов, приводящей к снижению активации корковых процессов, невозможности формирования новых временных связей, что проявляется снижением амплитудных параметров компонентов СВП.

Ограничения исследования. В анализ были включены работники одной наиболее распространённой и многочисленной профессиональной группы (сборщик-клепальщик) одного предприятия — практически здоровые и лица с ВБ,

продолжающие работать по профессии. Это ограничивает интерпретацию результатов выполненного исследования. Для получения более объективной картины происходящих нейрофизиологических изменений, изучения этапов их формирования в дальнейшем целесообразно включить в анализ группу лиц в переходном состоянии, которые при первичном обследовании были здоровы, а затем перешли в группу больных. Тем не менее полученные результаты подтверждают важность мониторинга функциональной активности головного мозга работающих в контакте с локальной вибрацией как при периодических, так и при углублённых медицинских осмотрах в центрах профпатологии, необходимость разработки обоснованных мер профилактики.

Заключение

Результаты выполненного исследования свидетельствуют об односторонности и прогрессивном развитии изменений биоэлектрической активности головного мозга у практически здоровых работников и лиц с ВБ, что проявляется перестройкой электрической активности мозга, десинхронизацией активности нейронов, повышением уровня функциональной активности мозга, дисбалансом общемодулирующих влияний на кору больших полушарий. Учитывая, что существует кумулятивный эффект воздействия вибрации [28] полученные результаты позволяют предположить, что изменения состояния биоэлектрической активности головного мозга в динамике наблюдения являются проявлением неспецифической части патогенеза вибрационной болезни и могут вносить определённый вклад в формирование вибрационной патологии. Продолжающееся действие вибрации может приводить к чрезмерному напряжению деятельности отдельных систем и вызывать нарушения наиболее ослабленных функциональных систем, которые будут проявляться в виде специфических клинических изменений. Вышеизложенное указывает на необходимость и целесообразность изучения неспецифических эффектов воздействия вибрации на организм работающих для обоснования мероприятий по профилактике её неблагоприятного воздействия.

Литература

(п.п. 1, 2, 5, 14, 18–20, 28 см. References)

- Сюрин С.А., Горбанев С.А. Производственная вибрация и вибрационная патология на предприятиях в Арктике. *Российская Арктика*. 2019; (6): 28–36. <https://doi.org/10.24411/2658-4255-2019-10064> <https://elibrary.ru/ifqdlg>
- Бухтияров И.В., Чеботарев А.Г., Курьеров Н.Н., Сокур О.В. Актуальные вопросы улучшения условий труда и сохранения здоровья работников горнорудных предприятий. *Медицина труда и промышленная экология*. 2019; 59(7): 424–9. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-7-424-429> <https://elibrary.ru/ejxzmd>
- Лапко И.В., Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Жеглова А.В. Изменения гормонов гипофизарно-тиреоидной и гипофизарно-гонадной систем у рабочих с вибрационной патологией и нейросенсорной тугоухостью. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 55(10): 26–31. <https://elibrary.ru/umuiqd>
- Трошин В.В., Морозова П.Н. Роль цереброваскулярной патологии и системная профилактика вибрационной болезни у работающих в машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности. *Здоровье населения и среда обитания — 3НКО*. 2015; (1): 24–7. <https://elibrary.ru/tqmidl>
- Сухова А.В., Преображенская Е.А. Оценка риска профессиональной неврологической патологии, связанной с воздействием физических факторов. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017; 57(9): 182. <https://elibrary.ru/zfqmav>
- Малютин Н.Н., Болотова А.Ф., Еремеев Р.Б., Гильманов А.Ж., Соснин Д.Ю. Антиоксидантный статус крови у пациентов с вибрационной болезнью. *Медицина труда и промышленная экология*. 2019; 59(12): 978–82. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-12-978-982> <https://elibrary.ru/zpvtxp>
- Третьяков С.В., Попова А.А. Миокардиальный стресс левого желудочка при действии производственной вибрации. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2021; (3): 4–13. <https://doi.org/10.31549/2542-1174-2021-3-4-13> <https://elibrary.ru/tjoska>
- Курчевенко С.И., Бодиенкова Г.М., Лахман О.Л. Сравнительная характеристика субпопуляционного состава лимфоцитов и белка теплового шока у пациентов с вибрационной болезнью. *Российский иммунологический журнал*. 2019; 13(2–2): 846–8. <https://doi.org/10.31857/S102872210006677-9> <https://elibrary.ru/propnf>
- Шпигель А.С., Вакурова Н.В. Нейрогормональная дисрегуляция при вибрационной болезни (особенности реагирования гормональных комплексов на введение тиролиберина). *Медицина труда и промышленная экология*. 2022; 62(1): 29–35. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-1-29-35>
- Александров М.В., Иванов Л.Б., Лытаев С.А., Черный В.С., Александрова Т.В., Чухловин А.А. и др. *Электрэнцефалография*. СПб.: Стратегия будущего; 2019. <https://elibrary.ru/hojeco>
- Ганович Е.А., Жестикова М.Г., Сименихин В.А., Шоломов И.И., Маключенко Ю.А., Рихтер Т.Н. Особенности спектрального анализа медленноволновой активности у лиц трудоспособного возраста с когнитивно-мнестическим дефицитом. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2012; 8(3): 775–7. <https://elibrary.ru/vqydlh>
- Макогон И.С., Борзунова Ю.М., Гоголева О.И., Гусельников С.Р. Информационная ценность нейрофизиологических методов в изучении проводящих путей и функционального состояния головного мозга у шахтеров. *Фундаментальные исследования*. 2012; (10–1): 60–4. <https://elibrary.ru/puknzi>
- Катаманова Е.В., Нурбаева Д.Ж. Анализ патологической активности ЭЭГ у лиц, подвергающихся воздействию общей и локальной вибрации. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016; (3–4): 570–3. <https://elibrary.ru/vqydlh>
- Смирнова Е.Л., Потеряева Е.Л., Максимов В.Н., Несина И.А. Концепция индивидуального риска в формировании и особенностях течения вибрационной болезни. *Медицина в Кузбассе*. 2020; 19(1): 35–41. <https://doi.org/10.24411/2687-0053-2020-10006> <https://elibrary.ru/ddazub>

22. Панков В.А., Кулешова М.В., Иванов А.Г., Бодиевкова Г.М., Курчевенко С.И., Лизарев А.В. и др. Показатели функциональных систем организма работающих в контакте с локальной вибрацией: динамическое наблюдение. База данных RU 2016620135; 2016.
23. Панков В.А., Кулешова М.В., Бочкин Г.В., Тюткина Г.А., Дьякович М.П. Гигиеническая оценка условий труда и состояние профессиональной заболеваемости работников основных производств в авиастроительной промышленности. *Современные проблемы науки и образования*. 2016; (6): 135. <https://elibrary.ru/xibggz>

24. Зенков Л.Р. *Клиническая электроэнцефалография с элементами эпилептологии*. М.: МЕДпресс-информ; 2002. <https://elibrary.ru/qmcjgt>
25. Жирмунская Е.А. *Атлас классификации ЭЭГ*. М.; 1996.
26. Гнездицкий В.В. *Вызванные потенциалы мозга в клинической практике*. М.; 2003.
27. Александров М.В., Чухловин А.А., Павловская М.Е., Костенко И.А., Архипова Н.Б. Альфа-тета континуум: нейрофизиологические механизмы генерации. *Медицинский алфавит*. 2017; 1(14): 46–50. <https://elibrary.ru/zvpuot>

References

1. Nguyen T.H., Bertin M., Bodin J., Fouquet N., Bonvallot N., Roquelaure Y. Multiple exposures and coexposures to occupational hazards among agricultural workers: a systematic review of observational studies. *Saf. Health Work*. 2018; 9(3): 239–48. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2018.04.002>
2. Mahmood F., Ferguson K.B., Clarke J., Hill K., Macdonald E.B., Macdonald D.J.M. Hand-arm vibration in orthopaedic surgery: a neglected risk. *Occup. Med. (Lond)*. 2017; 67(9): 715–7. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqx154>
3. Syurin S.A., Gorbanev S.A. Production vibration and vibration-related pathology at enterprises in the arctic. *Rossiiskaya Arktika*. 2019; (6): 28–36. <https://doi.org/10.24411/2658-4255-2019-10064> <https://elibrary.ru/lfqdlg> (in Russian)
4. Bukhtiyarov I.V., Chebotarev A.G., Kurerov N.N., Sokur O.V. Topical issues of improving working conditions and preserving the health of workers of mining enterprises. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(7): 424–9. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-7-424-429> <https://elibrary.ru/ejxzm> (in Russian)
5. 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/journal.pone.0180795>
6. Lapko I.V., Kiryakov V.A., Pavlovskaya N.A., Zheglova A.V. Changes in hormones of pituitary-thyroid and pituitary-genital systems in workers with vibration disease and neurosensory deafness. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015; 55(10): 26–31. <https://elibrary.ru/umuiqd> (in Russian)
7. Troshin V.V., Morozova P.N. Role of cerebrovascular pathology. Systemic prevention of vibration disease in workers of engineering and metal-working industries. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNISO*. 2015; (1): 24–7. <https://elibrary.ru/tqmidl> (in Russian)
8. Sukhova A.V., Preobrazhenskaya E.A. Evaluating risk of occupational neurological pathology related to impact of physical factors. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2017; 57(9): 182. <https://elibrary.ru/zfqmav> (in Russian)
9. Maljutina N.N., Bolotova A.F., Ereemeev R.B., Gilmanov A.Zh., Sosnin D.Yu. Antioxidant status of blood in patients with vibration disease. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(12): 978–82. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-12-978-982> <https://elibrary.ru/zpvtxp> (in Russian)
10. Tretyakov S.V., Popova A.A. Myocardial stress of the left ventricle during occupational vibration. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2021; (3): 4–13. <https://doi.org/10.31549/2542-1174-2021-3-4-13> <https://elibrary.ru/tjoska> (in Russian)
11. Kurchevenko S.I., Bodienkova G.M., Lakhman O.L. Comparative characteristics of the subpopulation composition of lymphocytes and heat shock protein in patients with vibration disease. *Rossiiskii immunologicheskii zhurnal*. 2019; 13(2–2): 846–8. <https://doi.org/10.31857/S102872210006677-9> <https://elibrary.ru/propnf> (in Russian)
12. Shpigel A.S., Vakurova N.V. Neurohumoral dysregulation in vibration disease (response features of hormonal complexes to the introduction of tyroliberin). *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2022; 62(1): 29–35. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-1-29-35> (in Russian)
13. Aleksandrov M.V., Ivanov L.B., Lytaev S.A., Chernyi V.S., Aleksandrova T.V., Chukhlovin A.A., et al. *Electroencephalography [Elektroensefalografiya]*. St. Petersburg: Strategiya budushchego, 2019. <https://elibrary.ru/hojeco> (in Russian)
14. Yen C., Lin C.L., Chiang M.C. Exploring the frontiers of neuroimaging: a review of recent advances in understanding brain functioning and disorders. *Life (Basel)*. 2023; 13(7): 1472. <https://doi.org/10.3390/life13071472>
15. Ganovich E.A., Zhestikova M.G., Simenikhin V.A., Sholomov I.I., Maklyuchenko Yu.A., Rikhter T.N. Spectral analysis of slowly wave activity in able to work patients with cognitive-mnestic deficiency. *Saratovskii nauchno-meditsinskii zhurnal*. 2012; 8(3): 775–7. <https://elibrary.ru/pkizbz> (in Russian)
16. Makogon I.S., Borzunova Yu.M., Gogoleva O.I., Gusel'nikov S.R. Information value of neurophysiological methods in studying of carrying-out ways and the functional condition of the brain at miners. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012; (10–1): 60–4. <https://elibrary.ru/puknzi> (in Russian)
17. Katamanova E.V., Nurbaeva D.Zh. Analysis of pathological activity EEG in individuals exposed to general and local vibrations. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2016; (3–4): 570–3. <https://elibrary.ru/vqydh> (in Russian)
18. Lundström R., Noor Baloch A., Hagberg M., Nilsson T., Gerhardsson L. Long-term effect of hand-arm vibration on the thermotactile perception thresholds. *J. Occup. Med. Toxicol.* 2018; 13: 19. <https://doi.org/10.1186/s12995-018-0201-1>
19. Edlund M., Burström L., Gerhardsson L., Lundström R., Nilsson T., Sandén H., et al. A prospective cohort study investigating an exposure-response relationship among vibration-exposed male workers with numbness of the hands. *Scand. J. Work Environ. Health*. 2014; 40(2): 203–9. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3386>
20. Aarhus L., Veiersted K.B., Nordby K.C., Bast-Petersen R. Neurosensory component of hand-arm vibration syndrome: a 22-year follow-up study. *Occup. Med. (Lond)*. 2019; 69(3): 215–8. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqz029>
21. Smirnova E.L., Poteryaeva E.L., Maksimov V.N., Nesina I.A. The concept of individual risk in the formation and features of the course of vibration disease. *Meditsina v Kuzbasse*. 2020; 19(1): 35–41. <https://doi.org/10.24411/2687-0053-2020-10006> <https://elibrary.ru/ddazub> (in Russian)
22. Pankov V.A., Kuleshova M.V., Ivanov A.G., Bodienkova G.M., Kurchevenko S.I., Lizarev A.V., et al. Indicators of functional systems in employees induced hand-arm vibration: dynamic observation. Database RU 2016620135; 2016. (in Russian)
23. Pankov V.A., Kuleshova M.V., Bochkina G.V., Tyutkina G.A., Dyakovich M.P. Working conditions hygienic assessment and a state of occupational morbidity in the main productions of aircraft industry. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2016; (6): 135. <https://elibrary.ru/xibggz> (in Russian)
24. Zhenkov L.R. *Clinical Electroencephalography with Elements of Epileptology [Klinicheskaya elektroensefalografiya s elementami epileptologii]*. Moscow: MEDpress-inform; 2002. <https://elibrary.ru/qmcjgt> (in Russian)
25. Zhirmunskaya E.A. *Atlas of EEG Classification [Atlas klassifikatsii EEG]*. Moscow; 1996. (in Russian)
26. Gnezditskii V.V. *Evoked Brain Potentials in Clinical Practice [Vyzvannye potentsialy mozga v klinicheskoi praktike]*. Moscow; 2003. (in Russian)
27. Aleksandrov M.V., Chukhlovin A.A., Pavlovskaya M.E., Kostenko I.A., Arkhipova N.B. Alpha-theta continuum: underlying neurophysiological mechanism. *Meditsinskii alfavit*. 2017; 1(14): 46–50. <https://elibrary.ru/zvpuot> (in Russian)
28. Bovenzi M., Prodi A., Mauro M. Relationships of neurosensory disorders and reduced work ability to alternative frequency weightings of hand-transmitted vibration. *Scand. J. Work Environ. Health*. 2015; 41(3): 247–58. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3490>

Сведения об авторах

Кулешова Марина Владимировна, ст. науч. сотр. лаб. эколого-гигиенических исследований ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: lmt_angarsk@mail.ru

Панков Владимир Анатольевич, зав. лаб. эколого-гигиенических исследований ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия; профессор каф. экологии и безопасности деятельности человека ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»; старший преподаватель каф. профпатологии и гигиены ИГМАПО – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России. E-mail: lmt_angarsk@mail.ru

Катаманова Елена Владимировна, главный врач клиники ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: katamanova_e_v@mail.ru

Купцова Наталья Гавриловна, врач отделения функциональной диагностики клиники ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: natas_2004@mail.ru

Information about the authors

Marina V. Kuleshova, MD, PhD, senior researcher of the Ecological and Hygienic Research Laboratory, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9253-2028> E-mail: lmt_angarsk@mail.ru

Vladimir A. Pankov, MD, PhD, DSci., head of the Ecological and Hygienic Research Laboratory, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation; Professor of the Department of Ecology and Safety of Human Activities of the Angarsk State Technical University, Angarsk, 665835, Russian Federation; senior lecturer of the Department of Occupational Medicine and Hygiene of the Irkutsk State Medical Academy of Continuing Education—Branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Irkutsk, 664049, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3849-5630> E-mail: lmt_angarsk@mail.ru

Elena V. Katamanova, MD, PhD, DSci., chief physician of the Clinic, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9072-2781> E-mail: katamanova_e_v@mail.ru

Natalya G. Kuptsova, Doctor of the Department of functional diagnostics of the Clinic, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1687-0417> E-mail: natas_2004@mail.ru