

## ОБЗОРЫ ЛИТЕРАТУРЫ

EDN: <https://elibrary.ru/ptijfb>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-3-172-181>

УДК 613.64:612.822.3

© Шевченко О.И., 2024

Шевченко О.И.

**Современные представления о состоянии нейрофункциональной активности головного мозга при профессиональном воздействии физических и химических факторов**

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 12а микрорайон, 3, Ангарск, 665826

Представлен обзор современных научных подходов к оценке состояния нейрофункциональной активности головного мозга при профессиональном воздействии физических и химических факторов, осуществлённый с использованием библиографических баз данных *Scopus*, *MedLine*, *Web of Science*, *PubMed*, *The Cochrane Library*, РИНЦ, *Cyberleninka*, Академия *Google*, *Index Copernicus*, *SJR*, *Science Direct*, *Arxiv.Org*. В работе отражены результаты исследований отечественных и зарубежных учёных, констатирующих факт нарушений нейробиоэлектрической активности, церебральной гемодинамики, состояния афферентных проводящих структур, цитокинового и нейропсихологического статуса у пациентов с вибрационной болезнью, нейросенсорной тугоухостью, хронической ртутной интоксикацией. Показана перспективность использования нейроэнергетического картирования с регистрацией уровня постоянного потенциала. Отражены эффекты проведения БОС-тренингов (метод биологической обратной связи) по опорной реакции с целью стабилизации и активации нейрофункциональной активности головного мозга при лечении неврологических пациентов. Анализ источников литературы позволил обосновать необходимость применения технологий искусственного интеллекта автоматизированных процессов как высокочувствительного и специфичного метода выявления профессиональной патологии. Представленные данные свидетельствуют об актуальности проблемы изучения нарушений нейрофункциональной активности, взаимоотношения нервной и иммунной систем при воздействии вибрации, шума, металлической ртути для совершенствования критериев диагностики поражений центральной нервной системы.

**Ключевые слова:** *нейрофункциональная активность; головной мозг; вибрационная болезнь; профессиональная нейросенсорная тугоухость; хроническая ртутная интоксикация; уровень постоянного потенциала; соматосенсорные вызванные потенциалы; цитокины; нейропсихологическое тестирование*

**Для цитирования:** Шевченко О.И. Современные представления о состоянии нейрофункциональной активности головного мозга при профессиональном воздействии физических и химических факторов. *Мед. труда и пром. ecol.* 2024; 64(3): 172–181. <https://elibrary.ru/ptijfb> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-3-172-181>

**Для корреспонденции:** Шевченко Оксана Ивановна, e-mail: [oich68@list.ru](mailto:oich68@list.ru)

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

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

*Дата поступления:* 13.02.2024 / *Дата принятия к печати:* 27.03.2024 / *Дата публикации:* 05.04.2024

Oksana I. Shevchenko

**Modern ideas about the state of neurofunctional activity of the brain under the professional influence of physical and chemical factors**

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 3, Microdistrict 12a, Angarsk, 665826

The article provides an overview of modern scientific approaches to assessing the state of neurofunctional activity of the brain under the professional influence of physical and chemical factors is presented, carried out using bibliographic databases *Scopus*, *MedLine*, *Web of Science*, *PubMed*, *The Cochrane Library*, *RSCI*, *Cyberleninka*, *Google Academy*, *Index Copernicus*, *SJR*, *Science Direct*, *Arxiv.Org*. The work reflects the results of research by domestic and foreign scientists stating the fact of violations of neurobioelectric activity, cerebral hemodynamics, afferent conductive structures, cytokine and neuropsychological status in patients with vibration disease, sensorineural hearing loss, chronic mercury intoxication. There are prospects for using neuroenergetic mapping with registration of the level of constant potential. The effects of biofeedback training (biofeedback method) on the reference reaction in order to stabilize and activate the neurofunctional activity of the brain in the treatment of neurological patients are reflected. The analysis of literary sources allowed us to substantiate the need to use artificial intelligence technologies to automate processes as a highly sensitive and specific method of detecting occupational pathology. The presented data indicate the relevance of the problem of studying disorders of neurofunctional activity, the relationship between the nervous and immune systems under the influence of vibration, noise, metallic mercury to improve the criteria for diagnosing lesions of the central nervous system.

**Keywords:** *neurofunctional activity; brain; vibration disease; occupational sensorineural hearing loss; chronic mercury intoxication; constant potential level; somatosensory evoked potentials; cytokines; neuropsychological testing*

**For citation:** Shevchenko O.I. Modern ideas about the state of neurofunctional activity of the brain under the professional influence of physical and chemical factors. *Med. truda i prom. ecol.* 2024; 64(3): 172–181. <https://elibrary.ru/ptijfb> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-3-172-181> (in Russian)

**For correspondence:** Oksana I. Shevchenko, e-mail: [oich68@list.ru](mailto:oich68@list.ru)

**Funding.** The finding was carried out within the Framework of the State Assignment for Fundamental and exploratory scientific research.

**Conflict of interests.** The author declares no conflict of interests.

*Received:* 13.02.2024 / *Accepted:* 27.03.2024 / *Published:* 05.04.2024

Исследование головного мозга (ГМ) является важнейшей фундаментальной и социально значимой научной проблемой, входящей сегодня в число основных приоритетов мировой науки [1, 2]. На заседании Президиума РАН 05.12.2023 г., посвящённого здоровью головного мозга (ГМ), нейрогенетике высших функций мозга, академиками М.А. Пирадовым и П.М. Балабаном подчеркнута актуальность проблемы нарушения функций мозга в современном обществе [3].

Оптимальное функционирование структурно-функциональных единиц нервной системы во многом зависит от интенсивности энергетического обмена ГМ [4, 5]. Результаты исследований Бахтерева Е.В. и др. (2023) [6] корреспондируют с данными других авторов, которые акцентируют внимание на комплексных исследованиях, позволяющих выявлять изменения в центральной нервной системе (ЦНС), и которые должны входить в программу обследования работающих в условиях воздействия как токсических агентов, так и физических производственных факторов [7–10].

В данной работе автором предпринята попытка обобщить известные результаты исследований, посвященные изучению состояния нейрофункциональной активности (НФА) ГМ при профессиональном воздействии вибрации, шума, паров металлической ртути. Поиск и отбор источников литературы, касающихся изучения особенностей НФА ГМ у пациентов с вибрационной болезнью (ВБ), профессиональной нейросенсорной тугоухостью (ПНСТ), профессиональной хронической ртутной интоксикацией (ХРИ), выполнен с использованием библиографических баз данных *Scopus*, *MedLine*, *Web of Science*, *PubMed*, *The Cochrane Library*, РИНЦ, *Cyberleninka*, Академия *Google*, *Index Copernicus*, *SJR*, *Science Direct*, *Arxiv.Org*.

На территории Сибирского федерального округа расположены крупные предприятия деревообрабатывающей, лесной, горнодобывающей, машино- и авиастроения, на которых, организм работников все ещё подвергается воздействию вибрации и шума, превышающим предельно допустимые уровни [11–13]. Вследствие этого ВБ и ПНСТ занимают лидирующие позиции в структуре хронической профессиональной патологии от воздействия физических факторов.

В последнее время исследователями все чаще поднимается тема, касающаяся особенностей функционирования центральной нервной системы (ЦНС), их роли в формировании нейросенсорного дефицита при профессиональных заболеваниях, связанных с воздействием физических производственных факторов, в частности вибрации [13]. В работах современных авторов показано, что как при динамическом наблюдении за пациентами с ВБ, так и при экспериментальном моделировании воздействия вибрации на организм крыс в динамике постконтактного периода, происходит прогрессирование нейрофизиологических нарушений, вызванных ее воздействием [14–16]. В исследованиях Непершиной О.П. и др. (2016) [17], Васильевой Л.С. и др. (2019) [18] представлены данные о возникновении при ВБ постуральных нарушений вследствие вовлечения в патологический процесс нейросенсорного комплекса, объединенного едиными таламическими и корковыми центрами. Итогом современного подхода к изучению функциональной активности мозга с применением информативных методов диагностики являются факты, которые указывают на нарушение нейробиоэлектрической активности [19], церебральной гемодинамики [20, 21],

состояния афферентных проводящих структур [22], нейропсихологического статуса у пациентов с ВБ [23].

Управление летательными аппаратами в гражданской авиации сопряжено с воздействием повышенных уровней шума, вибрации, барометрического давления, психоэмоциональных перегрузок на организм лиц летного состава [13, 24, 25–27]. Авиационный шум, по данным Шешегова П.М. и др. (2021) [24], Панковой В.Б. и др. (2023) [28, 29], способен вызывать развитие ПНСТ. По мнению Рукавишниковой В.С. и др. (2015) хроническое воздействие производственного шума формирует сенсорный конфликт, который инициирует нарушение функционирования нейронов соматосенсорной зоны коры ГМ, таламических образований, а также структур периферических нервов [13].

При изучении закономерностей поражения ЦНС при ПНСТ необходимо опираться на результаты всестороннего обследования пациента, позволяющего выявлять закономерности патологического процесса и течения заболевания, разработать наиболее эффективную лечебную тактику. При этом современные подходы, касающиеся изучения центральных механизмов возникновения и развития ПНСТ у пилотов, должны базироваться на применении информативных методов ее исследования и диагностических признаков [29–33]. Поскольку в экспериментальных исследованиях *Mirza R. et al.* (2018) показан отсроченный эффект дегенерации кохлеарного нерва, проявляющийся после прекращения экспозиции шумом [34], представляется важным динамическое наблюдение за пациентами с ПНСТ. В настоящее время применяются аудиологические, молекулярно-генетические, биохимические, иммунологические, нейрофизиологические методы исследования последствий воздействия производственного шума на организм человека. Получены факты, указывающие на изменения мозгового кровотока, нейробиоэлектрической активности, межполушарного взаимодействия, состояния моторных и сенсорных проводящих структур, нейропсихологического статуса у лиц летного состава воздушных судов гражданской авиации с ПНСТ [35–37].

В практическом отношении весьма значимыми являются вопросы НФА ГМ в зависимости от степени тяжести ПНСТ. Для дифференцирования выраженности нарушений звуковосприятия необходимо рассматривать в совокупности роль расстройств центральных механизмов регуляции в формировании нейросенсорного дефицита с разработкой и обоснованием диагностических критериев [35].

Не исключено, что неблагоприятное воздействие производственного шума и вибрации способствует возникновению минимальной мозговой дефицитарности, сопровождающейся когнитивными нарушениями. Исследования состояния высших психических функций у лиц с ВБ и ПНСТ указывают на снижение работоспособности, внимания, темпа восприятия, модально-неспецифические нарушения памяти [38, 39]. Тем не менее, известные способы диагностики когнитивных нарушений при ВБ и ПНСТ не выявляют взаимосвязи между структурными нарушениями ГМ и изменениями в когнитивной сфере [40–42], что обосновывает целесообразность применения нейропсихологического тестирования в медицине труда [43, 44].

Согласно основным положениям теорий сенсорного конфликта [13], общей когнитивно-энергетической модели [45], современных концепций нейропластичности [46, 47]

и генерализации сосудистых нарушений [48, 49] очевидна актуальность изучения особенностей биопотенциалов и вызванных потенциалов мозга в формировании когнитивного дефекта, поскольку известно, что при ВБ и ПНСТ имеет место дисфункция коры головного мозга, таламо-гипоталамических отделов, развитие патологического процесса в афферентных проводящих структурах, приводящего к разрыву (рассогласованию) между зрительными, проприоцептивными и соматосенсорными входами в ЦНС, дисбалансу пара- и симпатической регуляции, формированию гиперкинетического типа центральной гемодинамики, хронической недостаточности мозгового кровообращения [16, 24, 28, 31, 50].

Профессиональные заболевания, вызванные воздействием химических факторов, имеют существенную значимость по последствиям воздействия на ГМ. Одним из наиболее опасных производственных нейротоксикантов для здоровья человека является металлическая ртуть. Лахманом О.А. и др. (2015) установлено, что прогрессирование клинических проявлений токсической энцефалопатии (ТЭ) у пациентов в постконтактном периоде профессиональной хронической ртутной интоксикации (ХРИ) не прекращается даже при отсутствии взаимодействия с нейротоксикантом [51].

По данным наблюдений ФГБНУ ВСИМЭИ показано, что ранней электроэнцефалографической особенностью интоксикации ртутью является вовлечение в патологический процесс подкорковых структур, развитие начальных форм ХРИ — поражение гиппокампа, в отдаленном периоде интоксикации — мозолистого тела. Кроме того, все стадии ХРИ характеризуются наличием эквивалентных дипольных источников биоэлектрической активности в зонах мозжечка [52]. Нейровизуализационными признаками нейродегенеративных процессов у пациентов в отдаленном периоде ХРИ являются очаги субатрофии или атрофии мозжечка [53].

Мозговая дефицитарность, согласно нейропсихологическим исследованиям, при формировании ТЭ профессионального генеза представлена диффузным характером, проявляющаяся расстройством функционирования лобных, теменных, височных, затылочных, третичных височно-теменно-затылочных областей коры ГМ (ТРО — зоны перекрытия височно-теменно-затылочных отделов коры больших полушарий (*temporalis* (височная) + *parietalis* (теменная) + *occipitalis* (затылочная)) [54].

В последние годы значительно возрос объем нейрофизиологических исследований в области нервно-психических заболеваний. Все большее внимание исследователей уделяется изучению особенностей энергетических процессов в ГМ, которые отвечают за качество его деятельности и, как следствие, — состояние высших психических функций. Изменение энергетического баланса нейронов коры ГМ, зависящего от интенсивности мозгового кровотока, электрических характеристик гематоэнцефалического барьера (ГЭБ), метаболизма глюкозы и кислорода, определяет особенности метаболических реакций нервной ткани на повреждающий фактор [43, 55, 56]. Метод компьютерного нейроэнергокартирования (НЭК), являясь высокоинформативным и неинвазивным электрофизиологическим методом регистрации и анализа уровня постоянного потенциала (УПП, сврехмедленного потенциала милливольтного диапазона), позволяет визуализировать компоненты биохимических реакций мозга. В результате многопланового исследования Клименко Л.А.,

и др. (2015) установлены взаимосвязи между УПП и концентрациями макро-, микроэлементов и нейроспецифических белков, что позволяет использовать показатели НЭК, как репрезентативные и информативные нейрофизиологические биомаркеры энергетического состояния головного мозга [57]. Согласно представлениям Drew P.J., et al. (2020) [58], Фокина В.Ф. и др. (2023) [56] потенциалы милливольтного диапазона, в основном, возникают из-за разницы *pH* по обе стороны ГЭБ. Кроме того, метод НЭК позволяет оценивать адаптационные возможности, варианты адаптивных реакций с помощью функциональных афферентных проб (гипервентиляции, моделирующей физической стресс, с постгипервентиляционным периодом и тестом быстрых словесных ответов, моделирующим эмоциональный когнитивный стресс), активирующих нервно-психические процессы, каскад приспособительных реакций к стрессовым условиям [56, 59].

Следует отметить отсутствие в литературе данных, характеризующих особенности распределения УПП, варианты адаптации реактивности церебрального энергетического обмена, нарушение адаптации высшей нервной деятельности, проявляющейся снижением стрессоустойчивости, угрожающей истощением энергетических ресурсов, снижением резистентности организма к формированию сопутствующей патологии у пациентов с профессиональными заболеваниями.

Кагамановой Е.В. и др. (2015) [52], Русановой Д.В., Лахманом О.А. и др. (2017, 2022, 2023) [22, 60, 61], Шевченко О.И. и др. (2020, 2022) [21, 35] установлены изменения состояния периферических и центральных афферентных проводящих структур при профессиональных патологиях, рассматриваемых в данном обзоре. Вследствие негативного профессионального влияния вибрации, шума и ртути на функциональное состояние стволовых, подкорковых и корковых структур мозга, существует необходимость углубленного исследования центральных проводящих структур путем регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП), определения их роли в изменении церебрального энергетического обмена, формировании когнитивных нарушений для возможного их дальнейшего использования в диагностике поражений ЦНС при ВБ, ПНСТ, ХРИ.

Исследования, посвященные проблеме взаимодействия иммунной и нервной систем, процессам нейровоспаления и нейрональной дисфункции, первопричинности повреждения ГМ, снижения его функционирования вследствие этих взаимоотношений [62], определяют перспективность нейроиммунологического подхода в изучении механизмов неврологической и иммунологической памяти.

При анализе источников литературы Кузьминой Л.П. и др. (2023) показано, что при влиянии таких производственных факторов, как шум и вибрация, возникают разнонаправленные изменения иммунологических показателей, приводящих к формированию иммунопатологических процессов, лежащих в основе развития большой группы заболеваний [63]. Сотрудниками ФГБНУ ВСИМЭИ у пациентов с ВБ выявлены изменения в клеточном и гуморальном звеньях иммунитета показаны изменения цитокинового статуса в виде повышения уровня провоспалительных цитокинов ФНО- $\alpha$ , IL-8, IL-10, снижения IL-4. В результатах исследований Бодиевской Г.М. и др. (2021) сделан акцент на взаимосвязь нарушений в нервной системе при хроническом воздействии паров ртути с выраженными изменениями медиаторов воспаления (IL-1,

IL-6, IL-8, IL-2, IL-4, IL-10, TNF- $\alpha$ ). Показано, что в динамике развития ХРИ важную роль играют аутоиммунные реакции. У пациентов с ПНСТ определен дисбаланс цитокинов, являющихся маркерами повреждения мозговой и нервной ткани, который характеризуется чрезмерной активацией основных воспалительных цитокинов (IL-1 $\beta$ , TNF- $\alpha$ ), противовоспалительного IL-4 на фоне снижения IL-2 [64]. Вместе с тем данные исследования чаще устанавливают факт нарушений, не всегда объясняя патогенетическую значимость выявленных изменений и взаимодействий. В доступных источниках литературы не рассматривается соотношение топографии УПП, интегрально отражающего мембранные потенциалы нейронов, глии и ГЭБ, с сывороточными концентрациями про- и противовоспалительных цитокинов, являющихся маркерами повреждения мозговой и нервной ткани, у пациентов с ВБ, ПНСТ, ХРИ. Поэтому необходимо рассматривать в совокупности роль нарушений нейрофункциональной активности мозга и изменений сывороточных концентраций медиаторов воспаления в формировании нейровоспалительных реакций, разрабатывать новые подходы с выделением наиболее информативных методов исследования профессиональных заболеваний, их диагностических признаков.

Новые знания о закономерностях изменений НФА ГМ, механизмах формирования КН позволят прогнозировать развитие церебральной дисфункции, своевременно подключать адекватные лечебно-профилактические меры, направленные на коррекцию мозговой дефицитарности. Необходимость проведения подобного рода исследований очевидна, поскольку изучение нарушений нейроиммунного взаимодействия, позволяющего организму адаптироваться к условиям окружающей среды, будет способствовать дополнению знаний о патогенезе ВБ, ПНСТ, ХРИ, откроет перспективы для новых подходов в лечении, включающих коррекцию регуляции нейроиммунного ответа у пациентов с профессиональной патологией.

Несмотря на наличие многочисленных методов лечения и профилактики, число вновь выявленных случаев профессиональной патологии не уменьшается, а пациенты пожизненно имеют приобретенное заболевание, в большинстве случаев с утратой трудоспособности и иногда получением инвалидности. Поскольку сенсорный конфликт является триггер-состоянием в формировании профессиональной патологии при воздействии физических факторов, возникает необходимость поиска эффективных методов профилактики и лечения пациентов с профессиональными заболеваниями, направленных на формирование оптимального функционального состояния

регуляторных структур мозга [13]. В настоящее время большинство экспертов сходятся во мнении, что опорная реакция является наиболее важным стимулом активации НФА мозга [65, 66]. Ее использование в нейрореабилитационном процессе обосновано и целесообразно при решении разнонаправленных задач, начиная от процесса тренировки устойчивости, повышения толерантности пациента к физической нагрузке, сенсорного выравнивания и заканчивая когнитивной стимуляцией, коррекцией речевых расстройств [67]. Перспективность применения БОС-тренингов (метода биологической обратной связи) по опорной реакции показана в работах ряда авторов при лечении неврологических пациентов [66–68]. Васильевой А.С. и др. (2021) разработан способ реабилитации пациентов с ВБ с использованием БОС-тренингов для коррекции нарушений равновесия [69].

В настоящее время в России и за рубежом чрезвычайно актуальна тема использования технологий искусственного интеллекта (ИИ) автоматизированных процессов для диагностики и лечения пациентов, которым требуется оказание помощи [70]. В отечественной и зарубежной литературе представлены работы, посвященные применению инструмента ИИ для точной медицины [71–73]. Обзор существующих данных позволил определить основные задачи ИИ в медицине: диагностика, включающая в себя процессы визуализации, распознавания, классификации и прогнозирования, а также проведение операций и медицинских манипуляций с большей точностью и меньшими временными затратами [74, 75]. Однако работы, посвященные разработке методов диагностики и лечения заболеваний мозга, постановке диагноза по комплексу факторов-предикторов, встречаются пока крайне редко [76–79]. На основании проведенного обзора существующих данных, ИИ в медицине труда не встречается совсем. Поэтому профпатологическая служба нуждается в автоматизированных, быстрых, экономичных, но при этом высокочувствительных и специфичных методах выявления профессиональной патологии. Платформы на основе ИИ могут стать потенциальным дополнением в практике врача-профпатолога к диагностике и лечению профессиональных заболеваний, обусловленных воздействием физических и химических факторов.

Вышеперечисленное свидетельствует об актуальности проблемы изучения нарушений НФА ГМ, взаимоотношения нервной и иммунной систем при воздействии физических и химических факторов как в теоретическом, так и практическом аспекте.

### Список литературы

1. Паламарчук О.Т. Тайны мозга человека: философский подход. *Общество: социология, психология, педагогика*. 2016; 11: 17–24.
2. Распоряжение Президиума РАН № 65 «О создании Рабочей группы при президиуме РАН по изучению фундаментальных и прикладных проблем мозга и научному обеспечению борьбы с заболеваниями системы». М., № 10012-990 от 12.09.2019.
3. Президиум РАН. Заседание Президиума, посвященное нейрогенетике высших функций мозга. <https://new.ras.ru/upload/medialibrary/af1/gi1j404ixhhfw65bf836lrdkyov6nu73.mp4>
4. 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>
5. Coggan J.S., Keller D., Cali C., Lehväsaiho H., Markram H., Schürmann F. et al. Norepinephrine stimulates glycogenolysis in astrocytes to fuel neurons with lactate. *PLoS Comput Biol*. 2018; 14(8): e1006392. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006392>
6. Бахтерева Е.В., Лейдерман Е.А., Плотко Э.Г., Рябкова Т.А. Оценка нейрофизиологических параметров состояния нервной системы у работающих в производстве цветных металлов. *Анализ риска здоровью*. 2023; 3: 156–62. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.3.15>

7. Rehman K., Fatima F., Waheed I., Akash M.S.H. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *J. Cell. Biochem.* 2018; 119(1): 157–84. <https://doi.org/10.1002/jcb.26234>
8. Ravibabu K., Bagepally B.S., Barman T. Association of musculoskeletal disorders and inflammation markers in workers exposed to lead (Pb) from Pb-battery manufacturing plant. *Indian J. Occup. Environ. Med.* 2019; 23(2): 68–72. [https://doi.org/10.4103/ijoom.IJOEM\\_192\\_18](https://doi.org/10.4103/ijoom.IJOEM_192_18)
9. Habrat B., Silczuk A., Klimkiewicz A. Nutrients. Manganese Encephalopathy Caused by Homemade Methcathinone (Ephedrone) Prevalence in Poland. *Nutrients.* 2021; 13(10): 3496. <https://doi.org/10.3390/nu13103496>
10. Gerhardsson L., Hagberg M. Vibration induced injuries in hands in long-term vibration exposed workers. *J. Occup. Med. Toxicol.* 2019; 14(1): 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12995-019-0242-0>
11. Панков В.А., Кулешова М.В. Профессиональная заболеваемость и производственный травматизм в здравоохранении Иркутской области. *Гигиена и санитария.* 2021; 100(8): 839–844. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-8-839-844>
12. Шпагина Л.А., Герасименко О.Н., Новикова И.И., Радоуцкая Е.Ю., Горбунова А.М., Сергеева Я.С. Клинико-функциональная и молекулярная характеристика вибрационной болезни в сочетании с артериальной гипертензией. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(3): 146–58. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-3-146-158>
13. Рукавишников В.С., Панков В.А., Кулешова М.В., Катаманова Е.В., Картапольцева Н.В., Русанова Д.В. и др. К теории сенсорного конфликта при воздействии при воздействии физических факторов: основные положения и закономерности формирования. *Мед. труда и пром. экол.* 2015; 4: 1–6.
14. Смирнова Е.А., Потеряева Е.А., Никифорова Н.Г., Песков С.А. Анализ иммуно-генетических показателей у больных пневмокозиозом в послеконтактном периоде. *Мед. труда и пром. экол.* 2015; 4: 199–203.
15. Якимова Н.А., Лизарев А.В., Панков В.А., Кулешова М.В., Катаманова Е.В., Рукавишников В.С. и др. Нейрофизиологические и морфологические эффекты воздействия вибрации в динамике постконтактного периода при экспериментальном моделировании. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59(5): 284–90. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-284-290>
16. Воробьева В.В., Левченкова О.С. Клинические проявления и механизмы формирования неврологических нарушений у пациентов с Вибрационной болезнью. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии.* 2023; 21(3): 243–53. <https://doi.org/10.17816/RCF567786>
17. Непершина О.П., Лагутина Г.Н., Кузьмина Л.П., Скрыпник О.В., Рябинина С.Н., Лагутина А.П. Современный подход к оценке сенсорных нарушений при полинейропатии вибрационного генеза. *Мед. труда и пром. экол.* 2016; 6: 37–42.
18. Васильева Л.С., Сливницына Н.В., Лахман О.А. Постуральные нарушения у пациентов с вибрационной болезнью. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59(5): 314–8. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-314-318>
19. Шевченко О.И., Катаманова Е.В., Лахман О.А. Взаимосвязь показателей ЭЭГ и нейроэнергетического картирования при вибрационной болезни. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(12): 814–20. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-12-814-820>
20. Азовскова Т.А., Лаврентьева Н.Е., Вакурова Н.В. Актуальные вопросы диагностики ангиодистонических нарушений вибрационного генеза. *Русский медицинский журнал.* 2015; 2: 109.
21. Шевченко О.И., Лахман О.А., Катаманова Е.В., Русанова Д.В., Пятков Ю.С., Кодинец И.Н. Взаимоотношения показателей, характеризующих нейрофункциональную активность при вибрационной болезни. *Гигиена и санитария.* 2022; 101(11): 1341–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1341-1346>
22. Русанова Д.В., Лахман О.А. Особенности поражения проводящих структур нервной системы у пациентов с вибрационной болезнью, отягощенной сахарным диабетом и метаболическим синдромом. *Мед. труда и пром. экол.* 2023; 63(4): 249–255. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-4-249-255>
23. Шевченко О.И., Лахман О.А. Нейропсихологические критерии диагностики когнитивных нарушений у пациентов с профессиональными заболеваниями от воздействия физических факторов. *Acta Biomedica Scientifica.* 2022; 7(5–2): 164–72. <https://doi.org/10.29413/ABS.2022-7-5-2.17>
24. Шешегов П.М., Сливина Л.П., Зинкин В.Н. Особенности клинических проявлений профессиональной нейросенсорной тугоухости в зависимости от спектра шума. *Врач.* 2021; 32(12): 69–75. <https://doi.org/10.29296/25877305-2021-12-11>
25. Зинкин В.Н., Шешегов П.М. Механизмы действия авиационного шума на профессиональную работоспособность и надежность. *Noise Theory and Practice.* 2021; 7(2.24): 165–82.
26. Coles R.R., Lutman M.E., Buffin J.T. Guidelines on the diagnosis of noise-induced hearing loss for medicolegal purposes. *Clin. Otolaryngol. Allied Sci.* 2000; 25(4): 264–73. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2273.2000.00368.x>
27. Alves-Pereira M., Branco N.C. Vibroacoustic disease: biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signaling. *Prog. Biophys. Mo. Biol.* 2007; 93(1–3): 256–79. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2006.07.011>
28. Панкова В.Б., Федина И.Н., Андреева И.В., Башмакова Е.Е., Бобошко М.Ю., Бомштейн Н.Г. и др. *Профессиональные заболевания Лор-органов. Руководство для врачей (2-е издание, переработанное и дополненное).* М.: ГЭОТАР-Медиа; 2023. <https://doi.org/10.33029/9704-7704-5-ENT-2023-1-552>
29. Панкова В.Б., Лецкая О.А., Федина И.Н., Смирнова Н.Г. Порядок разработки и основные разделы программы реабилитации пострадавшего на производстве с профессиональными оториноларингологическими заболеваниями. *Вестник оториноларингологии.* 2023; 88(4): 87–92. <https://doi.org/10.17116/otorino20228804187>
30. Бухтияров И.В., Панкова В.Б., Федина И.Н., Дайхес Н.А., Бомштейн Н.Г. Актуальные проблемы экспертизы профессиональной нейросенсорной тугоухости у пилотов гражданской авиации. *Медицина экстремальных ситуаций.* 2022; 3: 39–43. <https://doi.org/10.47183/mes.2022.025>
31. Панкова В.Б., Вильк М.Ф., Зибарев Е.В., Федина И.Н. К вопросу учёта новых факторов в пагогенезе профессиональной потери слуха (на примере работников транспорта). *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(8): 488–500. <https://elibrary.ru/hqfnnr> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-8-488-500>
32. Дайхес Н.А., Сааркопель Л.М., Зайцева О.В., Бомштейн Н.Г. Состояние вестибулярной системы при шумовибрационном воздействии. *Оториноларингология. Восточная Европа.* 2023; 13(1): 33–40. <https://doi.org/10.34883/PI.2023.13.1.022>
33. Аденинская Е.Е., Симонова Н.И., Мазитова Н.Н., Низяева И.В. Принципы диагностики потери слуха, вызванной шумом, в современной России (систематический обзор литературы). *Вестник современной клинической медицины.* 2017; 10(3): 48–55. [https://doi.org/10.20969/VSKM.2017.10\(3\).48-55](https://doi.org/10.20969/VSKM.2017.10(3).48-55)
34. Mirza R., Kirchner D.B., Dobie R.A., Crawford J. Occupational Noise-Induced Hearing Loss. *J Occup Environ Med.* 2018; 60(9): 498–501. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001423>
35. Шевченко О.И., Лахман О.А., Русанова Д.В., Тихонова И.В. Функциональная активность головного мозга в зависимости от выраженности профессиональной нейросенсорной тугоухости. *Вестник оториноларингологии.* 2020; 85(5): 33–9. <https://doi.org/10.17116/otorino20208505133>
36. Дьякович М.П., Панков В.А., Казакова П.В., Кулешова М.В., Тихонова И.В. Качество жизни лиц лётного состава гражд-

- данской авиации, пострадавших от воздействия производственного шума. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(10): 887–93. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-10-887-893>
37. Харитонов О.И., Потеряева Е.А., Крутликва Н.В. Профессиональная нейросенсорная тугоухость у членов экипажей воздушных судов гражданской авиации. *Мед. труда и пром. экол.* 2015; 6: 12–4.
  38. 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.
  39. Ганович Е.А., Семенихин В.А. Дисфункция когнитивно-мнестической сферы при вибрационной болезни у горнорабочих Кузбасса. *Мед. труда и пром. экол.* 2011; 12: 43–8.
  40. Кулешова М.В., Панков В.А. Психологический профиль пациентов с нейросенсорной тугоухостью профессионального генеза: пилотное исследование. *Acta Biomedica Scientifica*. 2021; 6(5): 136–44. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.5.13>
  41. Otoghile B., Onakoys P.A., Otoghile C.C. Auditory effects of noise and its prevalence among sawmill workers. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*. 2018; 10(2): 27–30. <https://doi.org/10.5897/IJMMMS2017.1344>
  42. Аденинская Е.Е., Симонова Н.И., Мазитова Н.Н., Низяева И.В. Принципы диагностики потери слуха, вызванной шумом, в современной России (систематический обзор литературы). *Вестник современной клинической медицины*. 2017; 10(3): 48–55. [https://doi.org/10.20969/VSKM.2017.10\(3\).48-55](https://doi.org/10.20969/VSKM.2017.10(3).48-55)
  43. Фрай А.В., Воронцова В.С., Пичугина И.М. Использование нейроэнергокартирования для построения персонализированного подхода к когнитивной реабилитации пациентов с сосудистыми поражениями головного мозга. *Медико-социальная экспертиза и реабилитация*. 2020; 23(1): 5–8. <https://doi.org/10.17816/MSER34232>
  44. Екушева Е.В. Когнитивные нарушения — актуальная междисциплинарная проблема. *Российский медицинский журнал*. 2018; 12(1): 32–7.
  45. Sergeant J.A. Modeling attention-deficit/hyperactivity disorder: a critical appraisal of the cognitive-energetic model. *Biological Psychiatry*. 2005; 57(11): 1248–55.
  46. Живолупов С.А., Самарцев И.Н., Сыроежкин Ф.А. Современная концепция нейропластичности (теоретические аспекты и практическая значимость). *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2013; 113(10): 102–8
  47. Юсупов Ф.А., Юлдашев А.А. Нейропластичность и возможности современной нейрореабилитации. *Бюллетень науки и практики*. 2022; 8(3): 251–73. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/76/27>
  48. Бирюкбаева Г.Н., Кузьмина А.Ю. Возможности профилактики прогрессирования цереброваскулярных заболеваний у авиационных специалистов. *Лечащий врач*. 2014; 10: 34–6.
  49. Peters J.L., Zevitas C.D., Redline S., Hastings A., Sizov N., Hart J.E., et al. Aviation noise and cardiovascular health in the United States: A review of the evidence and recommendations for research direction. *Curr Epidemiol Rep*. 2018; 5(2): 140–52. <https://doi.org/10.1007/s40471-018-0151-2>
  50. Васильева Л.С., Русанова Д.В., Сливницкая Н.В., Лахман О.А. Особенности поражения нервной системы, выявляемые при регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов у пациентов с вибрационной болезнью. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(10): 1073–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1073-1078>
  51. Лахман О.А., Рукавишников В.С., Шаяхметов С.Ф., Соседова Л.М., Катаманова Е.В., Бодяенкова Г.М. и др. Профессиональные нейротоксикации: клиничко-экспериментальные исследования. *Мед. труда и пром. экол.* 2015; 9: 82–3.
  52. Катаманова Е.В., Шевченко О.И., Лахман О.А., Ещина И.М., Русанова Д.В. Нейрофизиологические методы диагностики некоторых форм профессиональных нейротоксикаций. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2015; 1: 35–42.
  53. Агбаш А.З., Лахман О.А., Зайка Е.А., Постовалова Е.А. Опыт применения перфузионной компьютерной томографии у больных с хронической ртутной интоксикацией. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2009; 1(65): 147–53.
  54. Шевченко О.И., Катаманова Е.В., Лахман О.А. Особенности психопатологических изменений у больных с хронической ртутной интоксикацией. *Доктор.Ру*. 2015; 8–9(109–110): 59–64.
  55. Kovacs S., Speckmann E.J., Gorji A. Uncensored EEG: The role of DC potentials in neurobiology of the brain. *Prog Neurobiol*. 2018; 165–167: 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2018.02.001>
  56. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В., Коновалов Р.Н., Медведев Р.Б., Лагода О.В., Кротенкова М.В. и др. Влияние связанной с изменением уровня постоянного потенциала нейросети на мнестические процессы больных хронической ишемией мозга. *Асимметрия*. 2023; 17(2): 25–31. <https://doi.org/10.25692/ASY.2023.17.2.003>
  57. Клименко Л.А., Скальный А.В., Турна А.А., Савостина М.С., Мазилкина А.Н., Баскаков И.С. и др. Энергетический метаболизм мозга при ишемическом инсульте и металло-лигандный гомеостаз в этиопатогенезе ишемического инсульта. *Микроэлементы в медицине*. 2015; 16(2): 18–27.
  58. Drew P.J., Mateo C., Turner K.L., Yu X., Kleinfeld D. Ultra slow Oscillations in fMRI and Resting-State Connectivity: Neuronal and Vascular Contributions and Technical Confounds. *Neuron*. 2020; 107(5): 782–804. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.07.020>
  59. Соколова Л.П. Улучшение адаптационных возможностей мозга — базовый фактор профилактики цереброваскулярных заболеваний. *Терапия*. 2020; 6(3): 33–8. <https://doi.org/10.18565/therapy.2020.3.33-38>
  60. Русанова Д.В., Лахман О.А., Бодяенкова Г.М., Купцова Н.Г. Механизмы формирования изменений состояния центральных проводящих структур нервной системы при воздействии металлической ртути. *Мед. труда и пром. экол.* 2017; 1: 42–6.
  61. Русанова Д.В., Лахман О.А., Кудаева И.В., Купцова Н.Г. Роль нейромедиаторов и показателей оксидативного стресса в формировании нарушений центральных проводящих структур у пациентов, контактировавших с металлической ртутью. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(12): 802–8. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-12-802-808>
  62. Корнева Е.А. Пути взаимодействия нервной и иммунной системы: история и современность, клиническое применение. *Медицинская иммунология*. 2020; 22(3): 405–18. <https://doi.org/10.15789/1563-0625-PON-1974>
  63. Кузьмина Л.П., Измерова Н.И., Хотулева А.Г., Цидильковская Э.С., Кислякова А.А., Мили Х. Влияние физических производственных факторов на иммунную систему. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(11): 694–701. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-11-694-701>
  64. Бодяенкова Г.М., Боклаженко Е.В. Сравнительная оценка нейрхимических показателей у пациентов с профессиональной патологией, обусловленной воздействием физических и химических факторов. *Нейрохимия*. 2021; 38(4): 385–90. <https://doi.org/10.31857/S1027813321040026>
  65. Храмов А.Е., Фролов Н.С., Максименко В.А., Куркин С.А., Казанцев В.Б., Писарчик А.Н., Функциональные сети головного мозга: от восстановления связей до динамической интеграции. *Успехи физических наук*. 2021; 191(6): 614–50. <https://doi.org/10.3367/UFNR.2020.06.038807>
  66. Левин О.С., Боголепова А.Н. Постинсультные двигательные и когнитивные нарушения: клинические особенности и современные подходы к реабилитации. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2020; 120(11): 99–107. <https://doi.org/10.17116/jnevro202012011199>
  67. Чуян Е.Н., Бирюкова Е.А., Бабанов Н.Д. Двигательная реабилитация пациентов с нарушениями моторики верхних конечностей: анализ современного состояния исследований

- (обзор литературы). *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия.* 2019; 5(71-1): 163–78.
68. Sergio L.E., Gorbet D.J., Adams M.S., Dobney D.M. The Effects of Mild Traumatic Brain Injury on Cognitive-Motor Integration for Skilled Performance. *Front Neurol.* 2020; 11: 541630. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.541630>
  69. Васильева Л.С., Сливницына Н.В., Русанова Д.В., Лахман О.А. Способ реабилитации пациентов с вибрационной болезнью: пат. Рос. Федерация: МПК А61Н1/00 А61Н 1/00; RU2740564C1
  70. Германов Н.С. Концепция ответственного искусственного интеллекта — будущее искусственного интеллекта в медицине. *Digital Diagnostics.* 2023; 4(1): 27–9. <https://doi.org/10.17816/DD430334>
  71. Kann B.H., Hosny A., Aerts H.J.W.L. Artificial Intelligence for Clinical Oncology. *Cancer Cell.* 2021; 39: 916–27. <https://doi.org/10.1016/j.ccell.2021.04.002>
  72. Catherine A.G., Markov N.S., Stoeger T., Pawlowski A., Kang M., Nannapaneni P. et al. Machine learning links unresolving secondary pneumonia to mortality in patients with severe pneumonia, including COVID. 2023. *J Clin Invest.* 2023; 133(12): e170682. <https://doi.org/10.1172/JCI170682>
  73. Kumar S., Pilania U., Nandal N. A systematic study of artificial intelligence-based methods for detecting brain tumors. *Informatics and Automation.* 2023; 22(3): 541–75. <https://doi.org/10.15622/ia.22.3.3>
  74. Liu P.R., Lu L., Zhang J.Y., Huo T.T., Liu S.X., Ye Z.W. Application of Artificial Intelligence in Medicine: An Overview. *Curr Med Sci.* 2021; 41(6): 1105–15. <https://doi.org/10.1007/s11596-021-2474-3>
  75. Каледа Е.П., Пронькин Н.Н. Задачи искусственного интеллекта в медицине. *International Journal of Professional Science.* 2023; 5: 58–66. <https://doi.org/10.56429/2414-4894-2022-39-1-84-96>
  76. Выходец Р.С. Международное сотрудничество в области исследований мозга как фактор развития технологий искусственного интеллекта в России. *Вестник Московского университета. Серия 27: Глобалистика и геополитика.* 2022; (1): 84–96. <https://doi.org/10.56429/2414-4894-2022-39-1-84-96>
  77. Illes J., Weiss S.A. Neuroethics Backbone for the Evolving Canadian Brain Research Strategy. *Neuron.* 2019; 101: 370–4. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.12.021>
  78. Сергювенцев А.А., Левин В.И., Борисов Д.Н. Современная функциональная диагностика и искусственный интеллект. *Военно-медицинский журнал.* 2020; 341(2): 40–5. <https://doi.org/10.17816/RMMJ82242>
  79. Каталевская Е.А., Сизов А.Ю., Гилемзянова Л.И. Алгоритм искусственного интеллекта для сегментации патологических структур на сканах оптической когерентной томографии сетчатки глаза. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения.* 2022; 8(3): 21–7. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-3-21-27>

## References

1. Palamarchuk O.T. Secrets of the human brain: a philosophical approach. *Obshchestvo: sociologija, psihologija, pedagogika.* 2016; 11: 17–24 (in Russian).
2. Order of the Presidium of the Russian Academy of Sciences No. 65 "On the creation of a Working Group under the Presidium of the Russian Academy of Sciences to study fundamental and applied problems of the brain and scientific support for the fight against diseases of the system". М., № 10012-990 dated 09/12/2019 (in Russian).
3. Presidium of the Russian Academy of Sciences. Presidium meeting dedicated to the neurogenetics of higher brain functions. <https://new.ras.ru/upload/medialibrary/af1/gilj404ixhhfw65bf836lrdkyov6nu73.mp4> (in Russian).
4. Fokin V.F., Ponomareva N.V., Medvedev R.B., Tanashyan M.M., Shabalina A.A. The influence of the gas transport system of cerebral blood flow on the slow electrical activity of the brain in patients with dyscirculatory encephalopathy. *Annaly klinicheskoy i jeksperimental'noj neurologii.* 2017; 11(4): 29–35. <https://doi.org/10.18454/ACEN.2017.4.3> (in Russian).
5. Coggan J.S., Keller D., Cali C., Lehvälaiho H., Markram H., Schürmann F. et al. Norepinephrine stimulates glycogenolysis in astrocytes to fuel neurons with lactate. *PLoS Comput Bio.* 2018; 14(8): e1006392. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006392>
6. Bakhtereva E.V., Leiderman E.L., Plotko E.G., Ryabkova T.A. Assessment of neurophysiological parameters of the state of the nervous system in workers in the production of non-ferrous metals. *Analiz riska zdorov'ju.* 2023; 3: 156–62. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.3.15> (in Russian).
7. Rehman K., Fatima F., Waheed I., Akash M.S.H. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *J. Cell. Biochem.* 2018; 119(1): 157–84. <https://doi.org/10.1002/jcb.26234>
8. Ravibabu K., Bagepally B.S., Barman T. Association of musculoskeletal disorders and inflammation markers in workers exposed to lead (Pb) from Pb-battery manufacturing plant. *Indian J. Occup. Environ. Med.* 2019; 23(2): 68–72. [https://doi.org/10.4103/ijocem.IJOEM\\_192\\_18](https://doi.org/10.4103/ijocem.IJOEM_192_18)
9. Habrat B., Silczuk A., Klimkiewicz A. Nutrients. Manganese Encephalopathy Caused by Homemade Methcathinone (Ephedrone) Prevalence in Poland. *Nutrients.* 2021; 13(10): 3496. <https://doi.org/10.3390/nu13103496>
10. Gerhardsson L., Hagberg M. Vibration induced injuries in hands in long-term vibration exposed workers. *J. Occup. Med. Toxicol.* 2019; 14(1): 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12995-019-0242-0>
11. Pankov V.A., Kuleshova M.V. Occupational morbidity and occupational injuries in healthcare of the Irkutsk region. *Gigiya i sanitariya.* 2021; 100(8): 839–44. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-8-839-844> (in Russian).
12. Shpagina L.A., Gerasimenko O.N., Novikova I.L., Radoutskaya E.Yu., Gorbunova A.M., Sergeeva Ya.S. Clinical, functional and molecular characteristics of vibration disease in combination with arterial hypertension. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology.* 2022; 62(3): 146–58. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-3-146-158> (in Russian).
13. Rukavishnikov V.S., Pankov V.A., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., Kartapol'tseva N.V., Rusanova D.V. et al. On the theory of sensory conflict under the influence of physical factors: the main provisions and patterns of formation. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology.* 2015; 4: 1–6. (in Russian).
14. Smirnova E.L., Poteryayeva E.L., Nikiforova N.G., Peskov S.A. Analysis of immunogenetic parameters in patients with pneumoconiosis in the post-contact period. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology.* 2015; 4: 199–203 (in Russian).
15. Yakimova N.L., Lizarev A.V., Pankov V.A., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., Rukavishnikov V.S. et al. Neurophysiological and morphological effects of vibration in the dynamics of the post-contact period during experimental modeling. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology.* 2019; 59(5): 284–90. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-284-290> (in Russian).
16. Vorobyova V.V., Levchenkova O.S. Clinical manifestations and mechanisms of formation of neurological disorders in patients with vibration disease. *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoj terapii.* 2023; 21(3): 243–53. <https://doi.org/10.17816/RCF567786> (in Russian).
17. Nepershina O.P., Lagutina G.N., Kuzmina L.P., Skrypnik O.V., Ryabinina S.N., Lagutina A.P. A modern approach to the

- assessment of sensory impairments in polyneuropathy of vibrational origin. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2016; 6: 37–42 (in Russian).
18. Vasilyeva L.S., Slivnitsyna N.V., Lakhman O.L. Postural disturbances in patients with vibration disease. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2019; 59(5): 314–8. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-314-318> (in Russian).
  19. Shevchenko O.I., Katamanova E.V., Lakhman O.L. The relationship between EEG indicators and neuroenergy mapping in vibration disease. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2022; 62(12): 814–20. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-12-814-820> (in Russian).
  20. Azovskova T.A., Lavrentyeva N.E., Vakurova N.V. Current issues in the diagnosis of angiodystonic disorders of vibration genesis. *Russkij medicinskij zhurnal*. 2015; 2: 109 (in Russian).
  21. Shevchenko O.I., Lakhman O.L., Katamanova E.V., Rusanova D.V., Pyatkov Yu.S., Kodinets I.N. Relationships between indicators characterizing neurofunctional activity in vibration disease. *Gigiena i sanitariya*. 2022; 101(11): 1341–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1341-1346> (in Russian).
  22. Rusanova D.V., Lakhman O.L. Features of damage to the conductive structures of the nervous system in patients with vibration disease, aggravated by diabetes mellitus and metabolic syndrome. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2023; 63(4): 249–255. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-4-249-255> (in Russian).
  23. Shevchenko O.I., Lakhman O.L. Neuropsychological criteria for diagnosing cognitive impairment in patients with occupational diseases caused by exposure to physical factors. *Acta Biomedica Scientifica*. 2022; 7(5-2): 164–72. <https://doi.org/10.29413/ABS.2022-7.5-2.17> (in Russian).
  24. Sheshegov P.M., Slivina L.P., Zinkin V.N. Features of clinical manifestations of occupational sensorineural hearing loss depending on the noise spectrum. *Vrach*. 2021; 32(12): 69–75. <https://doi.org/10.29296/25877305-2021-12-11> (in Russian).
  25. Zinkin V.N., Sheshegov P.M. Mechanisms of the effect of aircraft noise on professional performance and reliability. *Noise Theory and Practice*. 2021; 7(2.24): 165–82 (in Russian).
  26. Coles R.R., Lutman M.E., Buffin J.T. Guidelines on the diagnosis of noise-induced hearing loss for medicolegal purposes. *Clin. Otolaryngol. Allied Sci*. 2000; 25(4): 264–73. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2273.2000.00368.x>
  27. Alves-Pereira M., Branco N.C. Vibroacoustic disease: biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signaling. *Prog. Biophys. Mo. Biol*. 2007; 93(1–3): 256–79. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2006.07.011>
  28. Pankova V.B., Fedina I.N., Andreeva I.V., Bashmakova E.E., Boboshko M.Yu., Bomshtein N.G. et al. *Occupational diseases of ENT organs. Guide for doctors (2<sup>nd</sup> edition, revised and expanded)*. Moscow: GEOTAR-Media; 2023. <https://doi.org/10.33029/9704-7704-5-ENT-2023-1-552> (in Russian).
  29. Pankova V.B., Letskaya O.A., Fedina I.N., Smirnova N.G. The procedure for developing and the main sections of the rehabilitation program for victims at work with occupational otorhinolaryngological diseases. *Vestnik otorinolaringologii*. 2023; 88(4): 87–92. <https://doi.org/10.17116/otorino20228804187> (in Russian).
  30. Bukhtiyarov I.V., Pankova V.B., Fedina I.N., Daykhes N.A., Bomshtein N.G. Current problems in the examination of professional sensorineural hearing loss in civil aviation pilots. *Medicina jekstremal'nyh situacij*. 2022; 3: 39–43. <https://doi.org/10.47183/mes.2022.025> (in Russian).
  31. Pankova V.B., Vil'k M.F., Zibarev E.V., Fedina I.N. On the issue of taking into account new factors in the pathogenesis of occupational hearing loss (using the example of transport workers). *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2022; 62(8): 488–500. <https://elibrary.ru/hqfnnr>
  32. Dykhes N.A., Saarkoppel L.M., Zaitseva O.V., Bomshtein N.G. State of the vestibular system under noise vibration exposure. *Otorinolaringologija. Vostochnaja Evropa*. 2023; 13(1): 33–40. <https://doi.org/10.34883/PI.2023.13.1.022>
  33. Adeninskaya E.E., Simonova N.I., Mazitova N.N., Nizyaeva I.V. Principles for diagnosing noise-induced hearing loss in modern Russia (systematic review of the literature). *Vestnik sovremennoj klinicheskoy mediciny*. 2017; 10(3): 48–55. [https://doi.org/10.20969/VSKM.2017.10\(3\).48-55](https://doi.org/10.20969/VSKM.2017.10(3).48-55) (in Russian).
  34. Mirza R., Kirchner D.B., Dobie R.A., Crawford J. Occupational Noise-Induced Hearing Loss. *J Occup Environ Med*. 2018; 60(9): 498–501. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001423>
  35. Shevchenko O.I., Lakhman O.L., Rusanova D.V., Tikhonova I.V. Functional activity of the brain depending on the severity of occupational sensorineural hearing loss. *Vestnik otorinolaringologii*. 2020; 85(5): 33–9. <https://doi.org/10.17116/otorino20208505133> (in Russian).
  36. Dyakovich M.P., Pankov V.A., Kazakova P.V., Kuleshova M.V., Tikhonova I.V. Quality of life of civil aviation flight personnel affected by occupational noise. *Gigiena i sanitariya*. 2018; 97(10): 887–93. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-10-887-893> (in Russian).
  37. Kharitonova O.I., Poteryayeva E.L., Kruglikova N.V. Occupational sensorineural hearing loss in civil aviation crew members. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2015; 6: 12–4 (in Russian).
  38. Ozhogina O.A., Zakrevskaya A.A., Serikov V.V. Mild cognitive impairment in workers of locomotive crews of railway transport (literature review). *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2016; (4): 27–30 (in Russian).
  39. Ganovich E.A., Semenikhin V.A. Dysfunction of the cognitive-mnemonic sphere in vibration disease among Kuzbass miners. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2011; 12: 43–8 (in Russian).
  40. Kuleshova M.V., Pankov V.A. Psychological profile of patients with occupational sensorineural hearing loss: a pilot study. *Acta Biomedica Scientifica*. 2021; 6(5): 136–44. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.5.13> (in Russian).
  41. Otoghile B., Onakoya P.A., Otoghile C.C. Auditory effects of noise and its prevalence among sawmill workers. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*. 2018; 10(2): 27–30. <https://doi.org/10.5897/IJMMS2017.1344>
  42. Adeninskaya E.E., Simonova N.I., Mazitova N.N., Nizyaeva I.V. Principles for diagnosing noise-induced hearing loss in modern Russia (systematic review of the literature). *Vestnik sovremennoj klinicheskoy mediciny*. 2017; 10(3): 48–55. [https://doi.org/10.20969/VSKM.2017.10\(3\).48-55](https://doi.org/10.20969/VSKM.2017.10(3).48-55) (in Russian).
  43. Fray A.V., Vorontsova V.S., Pichugina I.M. Using neuroenergy mapping to build a personalized approach to cognitive rehabilitation of patients with vascular lesions of the brain. *Mediko-social'naja jekspertiza i rehabilitacija*. 2020; 23(1): 5–8. <https://doi.org/10.17816/MSER34232> (in Russian).
  44. Ekusheva E.V. Cognitive impairment is a pressing interdisciplinary problem. *Rossijskij medicinskij zhurnal*. 2018; 12(1): 32–7 (in Russian).
  45. Sergeant J.A. Modeling attention-deficit/hyperactivity disorder: a critical appraisal of the cognitive-energetic model. *Biological psychiatry*. 2005; 57(11): 1248–55.
  46. Zhivolupov S.A., Samartsev I.N., Syroezhkin F.A. Modern concept of neuroplasticity (theoretical aspects and practical significance). *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2013; 113(10): 102–8 (in Russian).
  47. Yusupov F.A., Yuldashev A.A. Neuroplasticity and the possibilities of modern neurorehabilitation. *Bulleten' nauki i praktiki*. 2022; 8(3): 251–73. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/76/27> (in Russian).
  48. Biryukbaeva G.N., Kuzmina A.Yu. Possibilities for preventing the progression of cerebrovascular diseases

- among aviation specialists. *Lechashnij vrach*. 2014; 10: 34–6 (in Russian).
49. Peters J.L., Zevitas C.D., Redline S., Hastings A., Sizov N., Hart J.E., et al. Aviation noise and cardiovascular health in the United States: A review of the evidence and recommendations for research direction. *Curr Epidemiol Rep*. 2018; 5(2): 140–52. <https://doi.org/10.1007/s40471-018-0151-2>
  50. Vasilyeva L.S., Rusanova D.V., Slivnitsyna N.V., Lakhman O.L. Features of damage to the nervous system revealed by recording somatosensory evoked potentials in patients with vibration disease. *Gigiena i sanitariya*. 2020; 99(10): 1073–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1073-1078> (in Russian).
  51. Lakhman O.L., Rukavishnikov V.S., Shayakhmetov S.F., Sosedova L.M., Katamanova E.V., Bodienkova G.M. and others. Professional neurointoxication: clinical and experimental studies. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2015; 9: 82–3 (in Russian).
  52. Katamanova E.V., Shevchenko O.I., Lakhman O.L., Eshchina I.M., Rusanova D.V. Neurophysiological methods for diagnosing some forms of occupational neurointoxication. *Nejrokompijutery: razrabotka, primenenie*. 2015; 1: 35–42 (in Russian).
  53. Agbash A.Z., Lakhman O.L., Zaika E.A., Postovalova E.A. Experience of using perfusion computed tomography in patients with chronic mercury intoxication. *Bjulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo centra Sibirskogo otdelenija Rossijskoj akademii medicinskih nauk*. 2009; 1(65): 147–53 (in Russian).
  54. Shevchenko O.I., Katamanova E.V., Lakhman O.L. Features of psychopathological changes in patients with chronic mercury intoxication. *Doktor.Ru*. 2015; 8–9(109–110): 59–64 (in Russian).
  55. Kovac S., Speckmann E.J., Gorji A. Uncensored EEG: The role of DC potentials in neurobiology of the brain. *Prog Neurobiol*. 2018; 165–167: 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2018.02.001>
  56. Fokin V.F., Ponomareva N.V., Konovalov R.N., Medvedev R.B., Lagoda O.V., Krotenkova M.V. and others. The influence of the neural network associated with changes in the level of constant potential on the mnestic processes of patients with chronic cerebral ischemia. *Asimetrija*. 2023; 17(2): 25–31. <https://doi.org/10.25692/ASY.2023.17.2.003> (in Russian).
  57. Klimenko L.L., Skalny A.V., Turna A.A., Savostina M.S., Mazilina A.N., Baskakov I.S. and others. Energy metabolism of the brain in ischemic stroke and metal-ligand homeostasis in the etiopathogenesis of ischemic stroke. *Mikrojelementy v medicine*. 2015; 16(2): 18–27 (in Russian).
  58. Drew P.J., Mateo C., Turner K.L., Yu X., Kleinfeld D. Ultra slow Oscillations in fMRI and Resting-State Connectivity: Neuronal and Vascular Contributions and Technical Confounds. *Neuron*. 2020; 107(5): 782–804. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.07.020>
  59. Sokolova L.P. Improving the adaptive capabilities of the brain is a basic factor in the prevention of cerebrovascular diseases. *Terapija*. 2020; 6(3): 33–8. <https://doi.org/10.18565/therapy.2020.3.33-38> (in Russian).
  60. Rusanova D.V., Lakhman O.L., Bodienkova G.M., Kuptsova N.G. Mechanisms of formation of changes in the state of the central conducting structures of the nervous system when exposed to metallic mercury. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2017; 1; 42–6 (in Russian).
  61. Rusanova D.V., Lakhman O.L., Kudaeva I.V., Kuptsova N.G. The role of neurotransmitters and indicators of oxidative stress in the formation of disorders of central conducting structures in patients exposed to metallic mercury. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2022; 62(12): 802–8. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-12-802-808> (in Russian).
  62. Korneva E.A. Pathways of interaction between the nervous and immune systems: history and modernity, clinical applications. *Medicinskaja immunologija*. 2020; 22(3): 405–18. <https://doi.org/10.15789/1563-0625-PON-1974> (in Russian).
  63. Kuzmina L.P., Izmerova N.I., Khotuleva A.G., Tsidilkovskaya E.S., Kisljakova A.A., Mili H. The influence of physical occupational factors on the immune system. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2023; 63(11): 694–701 (In Russ.) <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-11-694-701>
  64. Bodienkova G.M., Boklazhenko E.V. Immunochemical markers of sensorineural hearing loss. *Neurochemical Journal*. 2021; 38(1): 83–7. <https://doi.org/10.31857/S1027813321010039> (in Russian).
  65. Khranov A.E., Frolov N.S., Maksimenko V.A., Kurkin S.A., Kazantsev V.B., Pisarchik A.N., Functional networks of the brain: from restoration of connections to dynamic integration. *Uspehi fizicheskikh nauk*. 2021; 191(6): 614–50. <https://doi.org/10.3367/UFNr.2020.06.038807> (in Russian).
  66. Levin O.S., Bogolepova A.N. Post-stroke motor and cognitive impairments: clinical features and modern approaches to rehabilitation. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2020; 120(11): 99–107. <https://doi.org/10.17116/jnevro202012011199> (in Russian).
  67. Chuyan E.N., Biryukova E.A., Babanov N.D. Motor rehabilitation of patients with motor disorders of the upper limbs: analysis of the current state of research (literature review). *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo Biologija. Himija*. 2019; 5(71–1): 163–78 (in Russian).
  68. Sergio L.E., Gorbet D.J., Adams M.S., Dobney D.M. The Effects of Mild Traumatic Brain Injury on Cognitive-Motor Integration for Skilled Performance. *Front Neurol*. 2020; 11: 541630. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.541630>
  69. Vasilyeva L.S., Slivnitsyna N.V., Rusanova D.V., Lakhman O.L. Method for rehabilitation of patients with vibration disease: Pat. Ross. Federation: A61H1/00 A61H 1/00; RU2740564C1 (in Russian).
  70. Germanov N.S. The concept of responsible artificial intelligence is the future of artificial intelligence in medicine. *Digital Diagnostics*. 2023; 4(1): 27–9. <https://doi.org/10.17816/DD430334> (in Russian).
  71. Kann B.H., Hosny A., Aerts H.J.W.L. Artificial Intelligence for Clinical Oncology. *Cancer Cell*. 2021; 39: 916–27. <https://doi.org/10.1016/j.ccell.2021.04.002>
  72. Catherine A.G., Markov N.S., Stoeger T., Pawlowski A., Kang M., Nannapaneni P. et al. Machine learning links unresolved secondary pneumonia to mortality in patients with severe pneumonia, including COVID. 2023. *J Clin Invest*. 2023; 133(12): e170682. <https://doi.org/10.1172/JCI170682>
  73. Kumar S., Paliana U., Nandal N. A systematic study of artificial intelligence-based methods for detecting brain tumors. *Informatics and Automation*. 2023; 22(3): 541–75. <https://doi.org/10.15622/ia.22.3.3>
  74. Liu P.R., Lu L., Zhang J.Y., Huo T.T., Liu S.X., Ye Z.W. Application of Artificial Intelligence in Medicine: An Overview. *Curr Med Sci*. 2021; 41(6): 1105–15. <https://doi.org/10.1007/s11596-021-2474-3>
  75. Kaleda E.P., Pronkin N.N. Problems of artificial intelligence in medicine. *International Journal of Professional Science*. 2023; 5: 58–66. <https://doi.org/10.56429/2414-4894-2022-39-1-84-96> (in Russian).
  76. Native of R.S. International cooperation in the field of brain research as a factor in the development of artificial intelligence technologies in Russia. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 27: Globalistika i geopolitika*. 2022; (1): 84–96. <https://doi.org/10.56429/2414-4894-2022-39-1-84-96> (in Russian).
  77. Illes J., Weiss S.A. Neuroethics Backbone for the Evolving Canadian Brain Research Strategy. *Neuron*. 2019; 101: 370–4. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.12.021>
  78. Sergoventsev A.A., Levin V.I., Borisov D.N. Modern functional diagnostics and artificial intelligence. *Voenno-medicinskij*

- zhurnal*. 2020; 341(2): 40–5. <https://doi.org/10.17816/RMMJ82242> (in Russian).
79. Katalovskaya E.A., Sizov A.Yu., Gilemzyanova L.I. An artificial intelligence algorithm for segmenting pathological structures on optical coherence tomography scans of the retina. *Rossiiskij zhurnal telemeditsiny i jelektronnoho zdavoohraneniya*. 2022; 8(3): 21–7. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-3-21-27> (in Russian).
- 

**Информация об авторе:**

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

**Information about the author:**

*Oksana I. Shevchenko* senior Researcher Associate of Laboratory of the Professional and Ecologically Caused Pathology, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Cand. Sci. (Med.).  
*E-mail: oich68@list.ru*  
<https://orcid.org/0000-0003-4842-6791>

---