

EDN: <https://elibrary.ru/bkjhyt>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-5-321-327>

УДК 613.64:612.822.3

© Коллектив авторов, 2024

Шевченко О.И.¹, Лахман О.А.^{1,2}

Особенности реактивности церебрального энергетического обмена у пациентов с вибрационной болезнью различного этиогенеза

¹ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 12а микрорайон, 3, Ангарск, 665826;²Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования — филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, микрорайон Юбилейный, 100, Иркутск, 664049

Введение. Сравнительная оценка реактивности церебрального энергетического обмена (ЦЭО) при стрессе позволит определить особенности течения вибрационной болезни (ВБ), обусловленной воздействием различных видов вибрации.

Цель исследования — изучить особенности реактивности ЦЭО у пациентов с вибрационной болезнью в зависимости от вида воздействия вибрации.

Материалы и методы. Особенности адаптации при стрессе изучались методом нейроэнергетического картирования (НЭК) с измерением уровня постоянного потенциала (УПП). Сформированы группы: I ($n=58$) — пациенты с ВБ, обусловленной воздействием локальной вибрации (ВБлок), II ($n=50$) — с ВБ, связанной с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации (ВБкомб), III ($n=39$) — группа сравнения.

Результаты. Установлено, что для пациентов с ВБлок и ВБкомб характерна ригидная реакция на физический и эмоциональный стресс. У пациентов с ВБ независимо от вида воздействия вибрации отмечено преобладание негативных реакций ЦЭО на физическую нагрузку по сравнению с эмоциональной. Восстановление ЦЭО в постгипервентиляционный период у преобладающего количества пациентов имеет расстройство вегетативной ауторегуляции постоянства внутренних функций, создающее равные риски формирования коморбидной патологии как при ВБлок, так и при ВБкомб.

Ограничения исследования. Исследование ограничено выборкой пациентов, комплексным подходом, опирающимся на современные методы диагностики, применением методов многомерного разведочного анализа.

Заключение. Полученные результаты обосновывают независимость адаптационной реактивности ЦЭО от вида воздействия вибрации, свидетельствуют о преобладании у пациентов с ВБ в структуре адаптивных ответов ригидного варианта реакции, характеризующего расстройство приспособительных реакций по астеническому типу.

Этика. Обследование пациентов проходило в соответствии с этическим стандартом Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правилами надлежащей клинической практики» (утв. приказом Минздрава России 01.04.2016 г. № 200н). Все обследованные подписали информированное согласие на участие в исследовании. Имеется заключение локального этического комитета (протокол № 5 от 21.03.2023 г.).

Ключевые слова: вибрационная болезнь; локальная вибрация; комбинированное воздействие локальной и общей вибрации; адаптационная реактивность церебрального энергообмена; нейроэнергетическое картирование

Для цитирования: Шевченко О.И., Лахман О.А. Особенности реактивности церебрального энергетического обмена у пациентов с вибрационной болезнью различного этиогенеза. *Мед. труда и пром. экол.* 2024; 64(5): 321–327. <https://elibrary.ru/bkjhyt> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-5-321-327>

Для корреспонденции: Шевченко Оксана Ивановна, e-mail: oich68@list.ru

Участие авторов:

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

Лахман О.А. — редактирование.

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

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

Дата поступления: 13.03.2024 / **Дата принятия к печати:** 09.05.2024 / **Дата публикации:** 20.06.2024

Oxana I. Shevchenko¹, Oleg L. Lakhman^{1,2}

Features of the reactivity of cerebral energy metabolism in patients with vibration disease of various etiology

¹East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 3, 12a Microdistrict, Angarsk, 665826;²Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education — branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 100, Yubileiny Microdistrict, Irkutsk, 664049

Introduction. A comparative assessment of the reactivity of cerebral energy metabolism (CEM) under stress will allow us to determine the features of the course of vibration disease (VD) caused by exposure to various types of vibration.

The study aims to consider the features of the reactivity of the cerebral energy metabolism (CEM) in patients with vibration disease, depending on the type of vibration exposure.

Materials and methods. The researchers studied the features of adaptation under stress using the method of neuroenergetic mapping (NEM) with measurement of the level of constant potential (LCP). Groups were formed: I ($n=58$) — patients with VD due to the effects of local vibration (VDloc), II ($n=50$) — with VD associated with the combined effects of local and general vibration (VDcomb), III ($n=39$) — a comparison group.

Results. The authors found that for patients with VDloc and VDcomb it is characterized by a rapid rigid reaction to physical and emotional stress. In patients with VD, regardless of the type of vibration exposure, there was a predominance of negative reactions of cerebral energy metabolism to physical activity compared with emotional activity. The restoration of cerebral energy metabolism in the post-hyperventilation period in the predominant number of patients has a disorder of autonomic

autoregulation of the constancy of internal functions, which creates equal risks of the formation of comorbid pathology in both VDloc and VDcomb.

Limitations. The study is limited to a sample of patients, an integrated approach based on modern diagnostic methods, and the use of multidimensional exploratory analysis methods.

Conclusion. *The results obtained substantiate the independence of the adaptive reactivity of cerebral energy metabolism from the type of vibration exposure and indicate the predominance of a rigid reaction variant characterizing the disorder of adaptive reactions according to the asthenic type.*

Ethics. The examination of patients was conducted in accordance with the ethical standard of the Helsinki Declaration of the World Medical Association "Ethical Principles of conducting scientific medical research with human participation" as amended in 2000 and the "Rules of Good Clinical Practice" (approved by Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 200n on 04/01/2016). All the surveyed signed an informed consent to participate in the study. There is a conclusion of the local Ethics Committee (Protocol No. 5 dated 03/21/2023).

Keywords: vibration disease; local vibration; combined effects of local and general vibration; adaptive reactivity of cerebral energy exchange; neuroenergetic mapping

For citation: Shevchenko O.I., Lakhman O.L. Features of the reactivity of cerebral energy metabolism in patients with vibration disease of various etiogenesis. *Med. truda i prom. ekol.* 2024; 64(5): 321–327. <https://elibrary.ru/bkjhyt> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-5-321-327> (in Russian)

For correspondence: Oksana Ivanovna Shevchenko, e-mail: oich68@list.ru

Contribution:

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

Lakhman O.L. — the editing.

Funding. The funding was carried out within the Framework of the State Assignment for Basic Scientific research.

Conflict of interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest in connection with the publication of this article.

Received: 13.03.2024 / Accepted: 09.05.2024 / Published: 20.06.2024

Введение. Изучению адаптационных возможностей организма человека в условиях профессиональной деятельности при воздействии производственной вибрации посвящён ряд работ современных исследователей [1–4]. Однако вопросам состояния физиологической адаптации (ФА) при вибрационной болезни (ВБ) уделено гораздо меньше внимание [5, 6], несмотря на то, что ВБ занимает второе место в структуре хронической профессиональной патологии от воздействия физических факторов [7].

Известно, что качество адаптационно-приспособительных реакций, позволяющее предупреждать формирование дистрессового состояния, зависит от интенсивности церебрального энергетического обмена (ЦЭО) [8]. Нейрофункциональная дестабилизация обуславливает выраженность метаболических нарушений при гипервентиляции (ГВ), снижающих адаптацию организма к физическому стрессу. У пациентов с комбинированным воздействием локальной (ВБлок) и общей вибрации (ВБкомб) показано нарушение адаптационной реактивности ЦЭО, свидетельствующее о декомпенсации регуляторной функции вегетативной нервной системы (ВНС) [6]. В литературе упоминается об аддитивном действии общей и локальной вибрации, более выраженном риске возникновения негативных реакций при ВБкомб при сопоставлении с ВБлок [9]. Однако при ВБ, сформировавшейся при воздействии локальной вибрации (ВБлок), исследований адаптационных возможностей не проводилось, что явилось основанием для выполнения сравнительной оценки показателей, характеризующих нейрофизиологическую адаптацию у пациентов с ВБ различного этиогенеза.

Цель исследования — изучение особенностей реактивности ЦЭО у пациентов с ВБ в зависимости от вида воздействия вибрации.

Материалы и методы. Обследованы 58 пациентов (по профессиям сборщики-клапальщики, слесари-сборщики, слесари механосборочных работ авиастроительного завода) с ВБлок (I группа, средний возраст $48,5 \pm 3,9$ года, средний стаж в профессии — $20,3 \pm 5,5$ года). Вторая группа представлена 50 пациентами (водители большегрузного и гусеничного автотранспорта, машинисты буровых

станков, занятые при добыче угля открытым способом) с ВБкомб (II группа, возраст $52,9 \pm 3,1$ года, средний стаж в профессии — $24,7 \pm 6,3$ года). Критерием включения пациентов в исследование было наличие установленного во время работы в контакте с вибрацией профессионального заболевания. Критериями исключения — наличие коморбидной патологии, которая могла бы повлиять на результаты исследования ЦЭО (субфебрильное состояние; наличие в анамнезе заболеваний и травм головного мозга, приводящих к изменению показателей УПП; побочное действие лекарственных препаратов; наличие хронических заболеваний сердечно-сосудистой системы, приводящих к гемодинамически значимым изменениям реактивности церебральных сосудов). Группа сравнения (III группа) состояла из 39 человек в возрасте $48,23 \pm 4,7$ года, которые по специфике профессиональной деятельности не подвергались воздействию вибрации и не имели на момент исследования острых и хронических (в стадии обострения) заболеваний. Обследованные всех групп были представителями мужского пола.

Измерение уровня постоянного потенциала (УПП), проводили с помощью метода нейроэнергокартирования (НЭК) на 12-канальном приборе «Нейроэнергокартограф». Активные хлорсеребряные электроды размещали на голове по схеме 10×20 , референтный — на запястье правой руки [10]. Для снижения влияния электрической активности кожи на регистрируемые УПП проводили контроль электродных потенциалов, снижение и выравнивание кожного сопротивления под электродами [11]. Адаптационные возможности организма и варианты адаптивных реакций (адаптивный, ригидный, извращённый, чрезмерный) определяли посредством проведения функциональных афферентных проб (ФАП) по величине отклонений УПП от его фонового уровня (гипервентиляции (ГВ), постгипервентиляционного периода (ПГВП), теста быстрых словесных ответов (ТБСО)). По способности к полному восстановлению к фоновым значениям УПП в ПГВП судили о состоянии адаптации в поддержании гомеостаза [12]. Возраст обследованных пациентов представлен в виде средней (M) и её ошибки (m).

Для статистической оценки данных использовали непараметрические критерии ϕ^* — углового преобразования Фишера и U — Манна-Уитни с применением поправки Бонферрони. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,017$.

Результаты. Результаты предыдущих исследований свидетельствуют об усилении активности ЦЭО при ВБ, проявляющегося умеренно выраженным повышением фонового УПП [13]. Этот факт, по данным источников литературы, отражает состояние ацидоза головного мозга, опосредованно влияющего на качество адаптационных механизмов [14, 15]. Следующим этапом изучения особенностей ЦЭО было проведение ФАП у пациентов с ВБ различного этиогенеза, позволяющее оценить адаптационные возможности к физическому и эмоциональному стрессу в сравнительном аспекте.

Сравнительный анализ изменения усреднённого фонового УПП при проведении ФАП позволил выявить некоторые закономерности. Так, установлено, что для всех обследованных при проведении проб характерен ригидный тип реакций ЦЭО. У пациентов I, II групп при сопоставлении с группой сравнения медианные значения УПП $X_{ср}$ как при фоновой записи (22,0 (15,9–26,2); 20,7 (15,7–30,7); 7,8 (5,3–12,8) соответственно), так и после проведения нагрузочных проб: ГВ — 23,0 (18,3–27,4); 23,5 (17,4–32,9); 8,1 (6,0–15,6) соответственно, ПГВП — 23,0 (17,9–27,6); 21,8 (16,2–32,5); 9,1 (5,0–14,8) соответственно, ТБСО — 25,4 (20,8–32,0); 27,5 (20,3–34,0); 7,9 (5,9–17,2) соответственно были значимо ($p < 0,017$) выше. Межгрупповые показатели УПП на фоне ФАП не имели статистически значимых отличий в зависимости от вида воздействия вибрации.

Отсутствие (ригидность) реакции на физический стрессор диагностировано у преобладающей доли лиц I–III групп (в среднем в 69% случаев), чрезмерная реакция — в 6,5% случаев, извращённая — 6,8% случаев. Доля лиц с адекватной реакцией на ГВ значимо чаще встреча-

лась у лиц группы сравнения, чем у пациентов с ВБлок. Лиц с ригидной реакцией значимо было больше в I и II группах, чем в группе сравнения. При этом чрезмерная и извращённая реакции в I–III группах отмечались в пропорциях, не имеющих статистически значимых различий (рис. 1). Следует отметить, что провокация вегетативных реакций, нейроэнергетических процессов гипервентиляционной нагрузкой указывает на более выраженную ригидность реактивности ЦЭО у пациентов с ВБ, неспособность гомеостаза адаптироваться к физическим нагрузкам.

При анализе данных по восстановлению ЦЭО в ПГВП установлено, что у пациентов с ВБлок среди 4 вариантов адаптивных реакций достоверно чаще отмечалась адекватная (в 43,4% случаев) и извращённая реакции (в 33,3% случаев), с ВБкомб — адекватная реакция (в 55% случаев). Данный факт определяет сохранность механизмов адаптации у преобладающего числа лиц II группы. Проведение пробы ТБСО позволило оценить адаптационные возможности организма в обеспечении жизнедеятельности в ответ на эмоциональное стрессовое воздействие (рис. 2).

Рисунок 2 демонстрирует преобладание в группе пациентов с ВБлок ригидных, адекватных и чрезмерных реакций (93,4%), в группах пациентов с ВБкомб и сравнения — ригидных и адекватных реакций (79% и 80,5% соответственно).

При сопоставлении адаптационной реактивности ЦЭО в зависимости от вида стресса в группах пациентов с ВБлок и ВБкомб особенности реакций имели статистически значимые различия: лиц с ригидным ответом на ГВ было в среднем в 1,7 раза больше, чем при выполнении ТБСО ($p \leq 0,017$), в группе сравнения подобных закономерностей не выявлено (таблица).

Результаты проведённого анализа доказывают независимость адаптационной реактивности ЦЭО от этиогенеза ВБ. Установлено, что для пациентов с ВБлок и ВБкомб характерны ригидная реакция на физическую и эмоциональную нагрузку, преобладание негативных реакций

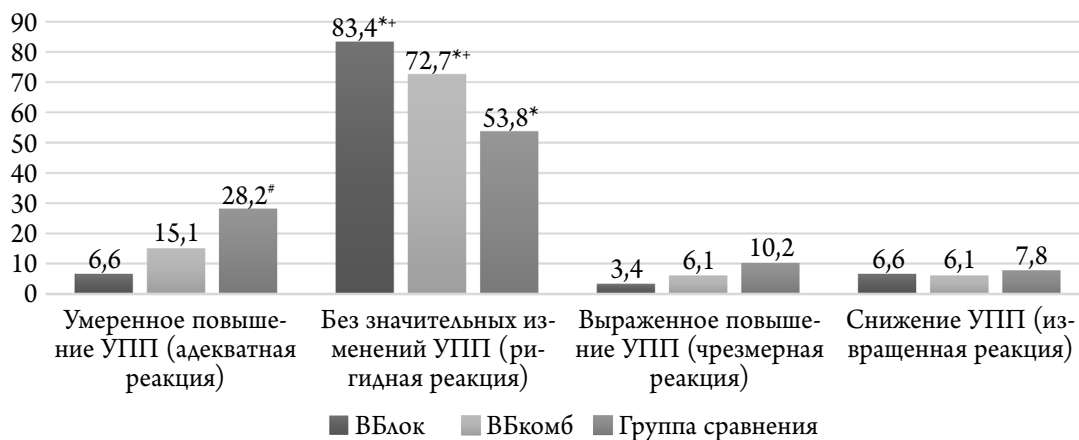


Рис. 1. Варианты адаптивных реакций, полученные с помощью гипервентиляционной пробы по величине отклонений уровня постоянного потенциала от фонового значения

Примечания: * — статистически значимое преобладание доли лиц с ригидной реакцией на физический стресс, $p \leq 0,017$; * — статистически значимое преобладание доли лиц с ригидной реакцией на ГВ при сопоставлении с таковой в группе сравнения, $p \leq 0,017$; # — статистически значимое преобладание доли лиц с адекватной реакцией на ГВ при сопоставлении с таковой в группе пациентов с ВБлок, $p \leq 0,017$

Fig. 1. Variants of adaptive reactions obtained using a hyperventilation test by the magnitude of deviations of the constant potential level from the background value

Notes: * — statistically significant predominance of the proportion of people with a rigid reaction to physical stress, $p \leq 0,017$; * — statistically significant predominance of the proportion of people with a rigid reaction to HV when compared with that in the comparison group, $p \leq 0,017$; # — statistically significant predominance of the proportion of people with an adequate response to HV when compared with that in the group of patients with localized VDloc, $p \leq 0,017$



Рис. 2. Варианты адаптивных реакций, полученные с помощью теста быстрых словесных ответов

Примечания: * — статистически значимое преобладание доли лиц с чрезмерной реакцией при эмоциональном стрессе в группе пациентов с ВБлок при сопоставлении с таковой в группе пациентов с ВБкомб и группе сравнения, $p \leq 0,017$; + — статистически значимое преобладание доли лиц с адекватной и ригидной реакцией в группе пациентов с ВБкомб, $p \leq 0,017$; # — статистически значимое преобладание доли лиц с адекватной и ригидной реакцией в группе сравнения, $p \leq 0,017$

Fig. 2. Options for adaptive reactions obtained using the rapid verbal response test

Notes: * — statistically significant predominance of the proportion of people with an excessive reaction to emotional stress in the group of patients with VDloc when compared with that in the group of patients with VDcomb and comparison group, $p \leq 0.017$; + — statistically significant predominance of the proportion of people with an adequate and rigid reaction in the group of patients with VDcomb, $p \leq 0.017$; # — statistically significant predominance of the proportion of people with adequate and rigid reactions in the comparison group, $p \leq 0.017$

Таблица / Table

Частота встречаемости вариантов адаптивных реакций у пациентов при моделировании физического и эмоционального стресса, %

Frequency of occurrence of variants of adaptive reactions in patients when modeling physical and emotional stress, %

Варианты адаптивных реакций	Пациенты с ВБлок	Пациенты с ВБкомб	Группа сравнения
Умеренное повышение УПП (адекватная реакция)	6,6 23,4⁺	15,1 33,0	26,1 37,0
Без значительных изменений УПП (ригидность реакции)	83,4[*] 43,3	72,7[*] 46,0	60,7 43,5
Выраженное повышение УПП (чрезмерная реакция)	3,4 26,7	6,1 6,0	8,8 13,0
Снижение УПП (извращённая реакция)	6,6 6,6	6,1 15,0	4,4 6,5

Примечания: над чертой — процент лиц с реакцией на ГВ, под чертой — процент лиц с реакцией на ТБСО; * — различия статистически значимы между ригидными реакциями в зависимости от вида стрессора, $p \leq 0,017$; + — различия статистически значимы между адекватной реакцией в зависимости от вида стрессора, $p \leq 0,017$

Notes: above the line — the percentage of persons with a reaction to HV, below the line — the percentage of persons with a reaction to TBSO; * — differences are statistically significant between rigid reactions depending on the type of stressor, $p \leq 0.017$; + — differences are statistically significant between adequate reactions depending on the type of stressor, $p \leq 0.017$

ЦЭО на ГВ по сравнению с ТБСО. Восстановление ЦЭО в ПГВП при ВБ в среднем у 48% лиц имело адекватную реакцию, определяя факт того, что преобладающее количество пациентов имеет расстройство вегетативной ауторегуляции постоянного внутренних функций, создающее равные риски возникновения расстройства приспособительных реакций.

Обсуждение. Результаты исследований демонстрируют степень ФА пациентов с ВБ. При проведении ГВ и ТБСО показано преобладание в структуре адаптивных ответов ригидного варианта реакции. Данный факт позволяет утверждать, что адаптационная реактивность ЦЭО у пациентов с ВБ не зависит от вида воздействия вибрации и проявляется жёстким сохранением гомеостаза, характерным для нарушений астенического характера [16, 17], которые, возможно, являются одной из причин снижения стрессоустойчивости, резистентности организма к фор-

мированию коморбидной патологии, редукции энергетического потенциала [18–22]. В результате сравнительного анализа изменений фонового УПП в зависимости от вида воздействия стрессора у пациентов с ВБлок и ВБкомб выявлено статистически значимое превышение числа случаев ригидной реакции на физическую нагрузку по сравнению с эмоциональной. Поскольку в группе сравнения данная закономерность не являлась значимой, можно предположить, что физиологическое стрессорное воздействие как локальной, так и комбинированной (локальной и общей) вибрации является основным патогенетическим фактором нарушения реактивности ЦЭО, механизмов адаптации у пациентов с ВБ. Восстановление УПП в ПГВП у пациентов с ВБ в большинстве случаев было полным (адекватным). При этом депрессия адаптивных механизмов в виде извращённой реакции в ПГВП значительно чаще (в 33% случаев) определялась при воздействии локальной вибра-

ции. Князева И.В. и др. (2014), Евтушенко П.П. и др. (2014) отмечено, что данный вид реакции присущ для лиц с тревожно-депрессивным расстройством [19, 23]. Вероятно, у пациентов с ВБлок механизмы адаптивной дисрегуляции ЦЭО способствуют формированию неадаптивных психологических состояний невротического спектра. По мнению Шмырева В.И. и др. (2013) наличие извращённых адаптивных реакций на произвольную дозированную ГВ и в ПГВП коррелирует с ангиоспазмом. В то время как наличие ригидных реакций сопряжено с трофическими и атеросклеротическими изменениями, характерными для сердечной недостаточности [12]. Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что для пациентов с ВБ характерны односторонние изменения

адаптивной реактивности ЦЭО, которые не зависят от этиологического фактора профессиональной патологии.

Выводы:

1. Особенности реактивности церебрального энергетического обмена у пациентов с ВБ не зависят от вида воздействия вибрации. У большинства пациентов диагностированы неадекватные реакции наafferентные нагрузки, указывающих на нарушение адаптации.

2. Для пациентов с ВБлок и ВБкомб характерна ригидная реакция на физический и эмоциональный стресс, характеризующая расстройство приспособительных реакций.

3. У пациентов с ВБ, независимо от вида воздействия вибрации, преобладают негативные реакции ЦЭО на физический стресс при сопоставлении с эмоциональным.

Список литературы

- Бухтияров И.В., Матюхин В.В., Рубцов М.Ю. Профессиональный стресс в свете реализации глобального плана действий по здоровью работающих. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016; 3: 53–5. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.45.014>
- Shen S.C., House R.A. Hand-arm vibration syndrome. *Can Fam Physician*. 2017; 63(3): 206–10.
- Кулешова М.В., Панков В.А. Психологические особенности пациентов с вибрационной болезнью в постконтактном периоде. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59(5): 278–83. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-278-283>
- Ходжиев М., Измеров Н.Ф., Бухтияров И.В. Результаты оценки физиологической адаптации и риски нарушений здоровья у трудовых мигрантов из Таджикистана. *Анализ риска здоровью*. 2017; 3: 48–59. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.3.06>
- Ерениев С.И., Плотникова О.В. Адаптационный потенциал системы кровообращения больных вибрационной болезнью и сенсоневральной тугоухостью. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59(9). <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-9-623-624>
- Шевченко О.И., Лахман О.А. Адаптационная реактивность церебрального энергетического обмена у лиц с вибрационной болезнью и сахарным диабетом II типа. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(6): 561–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-6-561-566>
- Бухтияров И.В. ред. *Профессиональная патология: национальное руководство*. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2024. <https://doi.org/10.33029/9704-8177-6-PP2-2024-1-904>
- Соколова А.П., Черняев С.А. Нейрофункциональная активность мозга: возрастной аспект. *Терапия*. 2020; 6(3): 15–20. <https://doi.org/10.18565/therapy.2020.3.15-20>
- Вибрационная болезнь. Шумовая болезнь. *Методическая разработка*. Часть 2. Волгоград; 2018.
- Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Способ оценки энергетического состояния головного мозга. Патент РФ № 2135077С1; 2019.
- Vanhatalo S., Tallgren P., Becker C., Holmes M.D., Miller J.W., Kaila K. et al. Scalp-recorded slow EEG responses generated in response to hemodynamic changes in the human brain. *Clin Neurophysiol*. 2003; 114(9): 1744–54. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(03\)00163-9](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(03)00163-9)
- Шмырев В.И., Соколова А.П., Князева И.В., Аветисова К.Н., Евтушенко П.П., Обманов В.В. Адаптационная реактивность метаболизма мозга как универсальный патогенетический фактор развития болезни и реабилитационных возможностей организма. *Кремлёвская медицина. Клинический вестник*. 2013; 3: 53–6.
- 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): 1341–1346. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1341-1346>
- Wykes R.C., Masvidal-Codina E., Guimerà-Brunet A., Garrido J.A. The advantages of mapping slow brain potentials using DC-coupled graphene micro-transistors: Clinical and translational applications. *Clinical and Translational Medicine*. 2022; 12(7): 1–4. <https://doi.org/10.1002/ctm2.968>
- Фокин В.Ф., Пономарева Н.В., Коновалов Р.Н., Шабалина А.А., Медведев Р.Б., Лагода О.В. и др. Нейросети головного мозга при сочетании хронической церебральной ишемии и сахарного диабета 2-го типа. *Вестник РГМУ*. 2023; 5: 50–7. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2023.042>
- Чутко Л.С., Сурушкина С.Ю., Яковенко Е.А., Анисимова Т.И., Сергеев А.В., Крюкова Е.М. и др. Клинические особенности астении в рамках расстройств адаптации. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2021; 121(7): 55–63. <https://doi.org/10.17116/jnevro202112107155>
- Соколова А.П., Старых Е.В. Астенический синдром в общетерапевтической практике. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2022; 122(4): 44–51. <https://doi.org/10.17116/jnevro202212204144>
- Шишкова В.Н. Астенический синдром в неврологической и общетерапевтической практике. *Consilium Medicum*. 2020; 22(9): 65–7. <https://doi.org/10.26442/20751753.2020.9.200343>
- Евтушенко П.П., Соколова А.П., Шмырев В.И., Ардашев В.Н., Борисова Ю.В. Реакции метаболизма мозга на физический и эмоциональный стресс у кардиологических пациентов. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014; 11(2): 72.
- Ямщикова А.В., Флейшман А.Н., Гидаева М.О. Коморбидные состояния у больных вибрационной болезнью. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(7): 718–22. <https://elibrary.ru/afhzba>
- Лапко И.В., Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Антошина Л.И., Ошкодеров О.А. Влияние производственной вибрации на развитие инсулинорезистентности и сахарного диабета второго типа. *Мед. труда и пром. экол.* 2017; 2: 30–3.
- Tsigos C., Chrousos G.P. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis, neuroendocrine factors and stress. *J. Psychosom. Res.* 2002; 53(4): 865–71. [https://doi.org/10.1016/s0022-3999\(02\)00429-4](https://doi.org/10.1016/s0022-3999(02)00429-4)
- Князева И.В., Соколова А.П., Шмырев В.И., Борисова Ю.В., Денисов Д.Б. Адаптационные возможности поддержания гомеостаза у пациентов с когнитивными расстройствами на фоне психовегетативного синдрома. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014; (10–3): 165. <https://elibrary.ru/stiogj>

References

1. Bukhtiyarov I.V., Matyukhin V.V., Rubtsov M.Yu. Occupational stress in the light of the implementation of the global action plan on workers' health. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2016; 3: 53–5. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.45.014> (in Russian).
2. Shen S.C., House R.A. Hand-arm vibration syndrome. *Can. Fam. Physician*. 2017; 63(3): 206–10.
3. Kuleshova M.V., Pankov V.A. Psychological characteristics of patients with vibration disease in the post-contact period. *Med. truda i prom. ecol*. 2019; 59(5): 278–83. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-278-283> (in Russian).
4. Khodzhiyev M., Izmerov N.F., Bukhtiyarov I.V. Results of assessing physiological adaptation and risks of health disorders among labor migrants from Tajikistan. *Analiz riska zdorov'yu*. 2017; 3: 48–59. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.3.06> (in Russian).
5. Ereniev S.I., Plotnikova O.V. Adaptive potential of the circulatory system of patients with vibration disease and sensorineural hearing loss. *Med. truda i prom. ecol*. 2019; 59(9): 623. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-9-623-624> (in Russian).
6. Shevchenko O.I., Lakhman O.L. Adaptive reactivity of cerebolic energy metabolism in individuals with vibration disease and type II diabetes mellitus. *Gigiena i sanitariya*. 2023; 102(6): 561–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-6-561-566> (in Russian).
7. Bukhtiyarov I.V. ed. *Occupational pathology: national guidelines. 2nd ed., revised. and additional*. M.: GEOTAR-Media, 2024. <https://doi.org/10.33029/9704-8177-6-PP2-2024-1-904> (in Russian).
8. Sokolova L.P. Improving the adaptive capabilities of the brain is a basic factor in the prevention of cerebrovascular diseases. *Terapiya*. 2020; 6(3): 33–8. <https://doi.org/10.18565/therapy.2020.3.33-38> (in Russian).
9. *Vibration disease. Noise sickness. Methodological development. Part 2*. Volgograd; 2018 (in Russian).
10. Fokin V.F., Ponomareva N.V. *A method for assessing the energy state of the brain*. RF Patent No. 2135077C1; 2019 (in Russian).
11. Vanhatalo S., Tallgren P., Becker C., Holmes M.D., Miller J.W., Kaila K. et al. Scalp-recorded slow EEG responses generated in response to hemodynamic changes in the human brain. *Clin. Neurophysiol*. 2003; 114(9): 1744–54. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(03\)00163-9](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(03)00163-9)
12. Shmyrev V.I., Sokolova L.P., Knyazeva I.V., Avetisova K.N., Evtushenko P.P., Obmanov V.V. Adaptive reactivity of brain metabolism as a universal pathogenetic factor in the development of the disease and the rehabilitation capabilities of the body. *Kremlevskaya medicina. Klinicheskij vestnik*. 2013; 3: 53–6 (in Russian).
13. 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): 1341–1346. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-11-1341-1346> (in Russian).
14. Wykes R.C., Masvidal-Codina E., Guimerà-Brunet A., Garrido J.A. The advantages of mapping slow brain potentials using DC-coupled graphene micro-transistors: Clinical and translational applications. *Clinical and Translational Medicine*. 2022; 12(7): 1–4. <https://doi.org/10.1002/ctm2.968>
15. Fokin V.F., Ponomareva N.V., Konovalov R.N., Shabalina A.A., Medvedev R.B., Lagoda O.V. et al. Neural networks of the brain in the combination of chronic cerebral ischemia and type 2 diabetes mellitus. *Vestnik RGMU*. 2023; 5: 50–7. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2023.042> (in Russian).
16. Chutko L.S., Surushkina S.Yu., Yakovenko E.A., Anisimova T.I., Sergeev A.V., Kryukova E.M. and others. Clinical features of asthenia within adaptation disorders. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2021; 121(7): 55–63. <https://doi.org/10.17116/jnevro202112107155> (in Russian).
17. Sokolova L.P., Starykh E.V. Asthenic syndrome in general therapeutic practice. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2022; 122(4): 44–51. <https://doi.org/10.17116/jnevro202212204144> (in Russian).
18. Shishkova V.N. Asthenic syndrome in neurological and general therapeutic practice. *Consilium Medicum*. 2020; 22(9): 65–7. <https://doi.org/10.26442/20751753.2020.9.200343> (in Russian).
19. Evtushenko P.P., Sokolova L.P., Shmyrev V.I., Ardashev V.N., Borisova Yu.V. Brain metabolic responses to physical and emotional stress in cardiac patients. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014; 11(2): 72 (in Russian).
20. Yamshchikova A.V., Fleishman A.N., Gidayatova M.O. Comorbid conditions in patients with vibration disease. *Gigiena i sanitariya*. 2019; 98(7): 718–22. <https://elibrary.ru/afhzba> (in Russian).
21. Lapko I.V., Kir'yakov V.A., Pavlovskaya N.A., Antoshina L.I., Oshkoderov O.A. Influence of occupational vibration on development of resistance to insulin and of II type diabetes mellitus. *Med. truda i prom. ecol*. 2017; (2): 30–3. <https://elibrary.ru/yggnob> (in Russian).
22. Tsigos C., Chrousos G.P. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis, neuroendocrine factors and stress. *J. Psychosom. Res*. 2002; 53(4): 865–71. [https://doi.org/10.1016/s0022-3999\(02\)00429-4](https://doi.org/10.1016/s0022-3999(02)00429-4)
23. Knyazeva I.V., Sokolova L.P., Shmyrev V.I., Borisova Yu.V., Denisov D.B., Chutko L.S., Surushkina S.Yu., Yakovenko E.A., Anisimova T.I., Sergeev A.V., Kryukova E.M., et al. Clinical features of asthenia in the context of adjustment disorders. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2021; 121(7): 55–63. <https://elibrary.ru/stiogj> (in Russian).

Информация об авторах:

Шевченко Оксана Ивановна старший научный сотрудник лаборатории профессиональной и экологически обусловленной патологии ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», канд. биол. наук.
E-mail: oich68@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4842-6791>

Лакхман Олег Леонидович директор ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»; зав. кафедрой профпатологии и гигиены Иркутской государственной медицинской академии последипломного образования — филиала ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, д-р мед. наук, проф., проф. РАН.
E-mail: lakhman_o_l@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0013-8013>

Information about the authors:*Oxana 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**Oleg L. Lakhman*

Director of East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Head of the Department of Occupational Pathology and Hygiene, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education — branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences.

E-mail: lakhman_o_l@mail.ru*https://orcid.org/0000-0002-0013-8013*