

EDN: <https://elibrary.ru/erfdgi>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-7-455-461>

УДК 669.71:616.23/24-057:612.017.1

© Коллектив авторов, 2023

Боклаженко Е.В., Бодиенкова Г.М., Шевченко О.И.

Оценка иммунологических показателей и уровня постоянного потенциала головного мозга у пациентов с вибрационной болезнью

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 12 «А» микрорайон, дом 3, Ангарск, 665827

Введение. В течение последних десятилетий широко изучаются вопросы поразительного сходства нервной и иммунной систем, как систем, обеспечивающих адекватное реагирование целостного организма на изменения окружающей среды, воздействие факторов производственной среды.

Цель исследования — оценка фенотипического состава лимфоцитов, цитокинов и уровня постоянного потенциала (УПП) головного мозга у пациентов с вибрационной болезнью, обусловленной воздействием локальной вибрации.

Материалы и методы. Проведено нейро-иммунологическое обследование 26 мужчин с вибрационной болезнью, сформировавшейся при воздействии локальной вибрации. Группу сравнения представили 15 мужчин, не подвергавшихся в профессиональной деятельности воздействию вибрации. Показатели цитокинового статуса (IL-2, IL-4, IL-8, INF-γ) определяли в сыворотке крови методом ИФА. Регистрацию УПП проводили с помощью метода нейроэнергоскрининга.

Результаты. Установлена взаимосвязь повышенного содержания иммунокомпетентных клеток CD3⁺, CD4⁺, CD8⁺, CD95⁺ и IL-8 с увеличением УПП в лобных (центральной, правой и левой гемисферах), центральном корковом, правом-левым теменном отделах головного мозга. Также, установлена зависимость между пониженным содержанием CD20⁺, INF-γ и повышенными уровнями УПП в правой и левой височных, левой теменной долях головного мозга у пациентов с ВБ от локальной вибрации.

Ограничения исследования. Недостатком данной работы являются малочисленные группы работающих.

Заключение. Выявленные взаимосвязи иммунологических показателей с увеличением УПП в различных отделах головного мозга у обследованных пациентов, могут свидетельствовать о том, что формирование вибрационной патологии сопровождается как сдвигами периферического клеточного иммунитета, так и нарушениями гомеостатической устойчивости межцентральных отношений в коре больших полушарий, что может являться признаком нейровоспалительного процесса и развития цитотоксических реакций.

Этика. Исследование проведено с соблюдением этических норм в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации.

Ключевые слова: вибрационная болезнь; лимфоциты; цитокины; иммунореактивность; метод нейроэнергоскрининга; уровень постоянного потенциала; головной мозг

Для цитирования: Боклаженко Е.В., Бодиенкова Г.М., Шевченко О.И. Оценка иммунологических показателей и уровня постоянного потенциала головного мозга у пациентов с вибрационной болезнью. *Мед. труда и пром. экол.* 2023; 63(7): 455–461. <https://elibrary.ru/erfdgi> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-7-455-461>

Для корреспонденции: Боклаженко Елена Валерьевна, научный сотрудник лаб. иммуно-биохимических и молекулярно-генетических исследований в гигиене, ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», канд. мед. наук. E-mail: immun11@yandex.ru

Участие авторов:

Боклаженко Е.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста;

Бодиенкова Г.М. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста, редактирование;

Шевченко О.И. — сбор и обработка данных, написание текста.

Финансирование работы. Работа выполнена за счёт финансовых средств, выделенных в рамках Государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Дата поступления: 29.05.2023 / Дата принятия к печати: 05.06.2023 / Дата публикации: 05.08.2023

Elena V. Boklazhenko, Galina M. Bodienkova, Oksana I. Shevchenko

Assessment of the immunological parameters and DC-potential level in patients with vibration disease

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 3, 12a mikrodistrict, Angarsk, 665827

Introduction. Over the past decades, scientists have been studying questions about the phenomenal similarity of the nervous and immune systems, as systems that ensure an adequate response of the body to environmental changes, the impact of production factors.

The study aims to assess the phenotypic composition of lymphocytes, cytokines and the level of constant potential of the brain in patients with vibration disease (VD) due to the impact of local vibration.

Materials and methods. The authors have conducted a neuro-immunological examination of 26 men with vibration disease formed when exposed to local vibration. The comparison group consisted of 15 men who were not exposed to vibration in their professional activities. The authors determined cytokine status indicators (IL-2, IL-4, IL-8, INF-γ) in serum by a solid-phase enzyme immunosorbent method. Registration of DC-potential level was carried out using the neuro-energy mapping method.

Results. We have established a relationship between the increased content of CD3⁺, CD4⁺, CD8⁺, CD95⁺ and IL-8 immunocompetent cells with an increase in DC-potential level in the frontal (central, right and left hemispheres), central cortical, right-left parietal parts of the brain. The researchers also established a relationship between a reduced content of CD20⁺, INF-γ and increased levels of DC-potential level in the right and left temporal, left parietal lobes of the brain in patients with VD from local vibration.

Limitations. The disadvantage of this work is the small groups of employees.

Conclusion. The revealed correlations of the content of immunological indicators with an increase of DC-potential level in various parts of the brain in the examined patients may indicate that the formation of vibrational pathology is accompanied by both shifts in peripheral cellular immunity and violations of the homeostatic stability of intercentral relations in the cerebral cortex, which may be a sign of the neuroinflammatory process and the development of cytotoxic reactions.

Ethics. The study was conducted in compliance with Ethical standards in accordance with the Helsinki Declaration of the World Medical Association.

Keywords: vibration disease; lymphocytes; cytokines; immunoreactivity; neuro-energy mapping method; DC-potential level; brain

For citation: Boklazhenko E.V., Bodienkova G.M., Shevchenko O.I. Assessment of the immunological parameters and DC-potential level in patients with vibration disease. *Med. truda i prom. ekol.* 2023; 63(7): 455–461. <https://elibrary.ru/erfdgi> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-7-455-461> (in Russian)

For correspondence: Elena V. Boklazhenko, research assistant at the laboratory of immuno-biochemical and molecular genetic studies in Hygiene, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Cand. of Sci. (Med.). E-mail: immun11@yandex.ru

Information about the authors: Boklazhenko E.V. <https://orcid.org/0000-0002-2025-8303>

Bodienkova G.M. <https://orcid.org/0000-0003-0428-3063>

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

Contribution:

Boklazhenko E.V. — research concepts and design, data collection and processing, writing the text;

Bodienkova G.M. — research concepts and design, data collection and processing, writing the text, editing;

Shevchenko O.I. — data collection and processing, writing the text.

Funding. The work was carried out at the expense of financial resources allocated within the Framework of the State Task of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

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

Received: 29.05.2023 / Accepted: 05.06.2023 / Published: 05.08.2023

Введение. В течение последних десятилетий широко изучаются вопросы поразительного сходства нервной и иммунной систем, как систем, обеспечивающих нормальное реагирование целостного организма на изменения окружающей внешней и внутренней среды. Пролегивается аналогия посредством переноса некоторых участников иммунных взаимодействий в нервную систему, возникновения новых схем, объясняющих облегчение синаптической проводимости на основе иммунохимических механизмов. Очевидно, что комментарии этих взаимодействий будут зависеть от понимания молекулярных событий и определения роли отдельных молекул, вовлечённых в эти процессы [1]. С процессами энергетического обеспечения головного мозга (ГМ) связана эффективность работы мозговых структур, определяющих характер психической деятельности и жизнедеятельность организма в целом [2]. Современными исследователями показано, что изучение УПП помогает раскрыть механизмы взаимообусловленности энергетического метаболизма ГМ и других систем организма человека. [3, 4].

По мере развития нейробиологических наук, всё больший интерес для клиницистов представляет изучение церебральных метаболических процессов, взаимосвязей энергетического обмена головного мозга (ЭОГМ) с состоянием иммунной системы, нарушение взаимодействия которых способствует возникновению сосудистых, неврологических и ряда других заболеваний [5, 6]. Взаимодействие иммунной и нервной систем имеет сопряжённый характер, начиная от индуцирования их афферентных отделов на ранних этапах иммуногенеза и кончая последующей активацией афферентных звеньев указанных систем. В основе этого взаимодействия лежит умение цитокинов выступать в качестве как иммунорегулятора, так и нейротропика. Показано, что цитокины, продуцируемые иммунокомпетентными клетками, проникают через гематоэнцефалический барьер (ГЭБ), воздействуют на гипоталамическую область мозга с последующим преобразованием её как функциональных, так и морфологических параметров [7]. В литературе имеются данные электрофизиологических исследований о существовании взаимосвязи между интенсивностью ЭОГМ в определённых

церебральных структурах и активностью естественных киллеров [8], цитокинов [9]. «О преобладании ЭОГМ в правом полушарии по сравнению с левым при повышении пролиферативного ответа Т-лимфоцитов» свидетельствуют итоги работ Абрамова В.В. с соавторами, данный факт авторы связывают «с возникновением начальных стадий стресса» [10].

Одним из преобладающих заболеваний, развивающихся у работающих в горнорудной и авиационной промышленности при воздействии стрессорного, хронического воздействия локальной вибрации является вибрационная болезнь (ВБ), которая проявляется, прежде всего, полиневритическим, ангиодистоническим синдромом, синдромом пояснично-крестцовой радикулопатии [11–13]. В клинической картине ВБ весомыми являются нейросудистые нарушения, среди которых особое место занимают расстройства периферического кровообращения, наступающие первично в капиллярном и прекапиллярном русле. Гипоксия и расстройства микроциркуляции способствуют активации различных субпопуляций лимфоцитов, которые начинают выделять вазоактивные вещества — цитокины [14]. Вместе с тем, дисрегуляторные понятия нейроиммунопатологии представляют большой интерес, так как нарушение механизмов взаимосвязи и взаиморегуляции ЦНС и иммунной системы при дистрессе может являться причиной или существенным звеном патогенеза многих неврологических расстройств.

Цель исследования — оценка фенотипического состава лимфоцитов, цитокинов и уровня постоянного потенциала головного мозга у пациентов с вибрационной болезнью, обусловленной воздействием локальной вибрации.

Материалы и методы. В исследование включены 26 пациентов (мужчин) с ВБ, сформировавшейся при воздействии локальной вибрации. Средний возраст обследованных составил $49,61 \pm 1,44$ года. Критериями включения в группу являлось наличие установленного во время работы в контакте с вредным производственным фактором диагноза ВБ, отсутствие коморбидной патологии и экспозиции к вибрации на момент исследования. Диагноз ВБ был установлен на основании классификационных критериев болезней и состояний МКБ 10-го пересмотра. Группа

сравнения представлена 15 здоровыми мужчинами в возрасте $53,0 \pm 0,84$ года, которые по специфике профессиональной деятельности не подвергались воздействию вибрации и не имели на момент исследования острых и обострения хронических заболеваний.

Показатели цитокинового статуса (*IL-2*, *IL-4*, *IL-8*, *INF-γ*) определяли в сыворотке крови обследованных твердофазным иммуноферментным методом (тест-системы ЗАО «ВекторБест», г. Новосибирск). УПП регистрировали посредством метода нейрозенергокартирования (НЭК) при 12-ти канальном отведении: *Fz* — лобном центральном, *Fd* — лобном правом, *Fs* — лобном левом, *Cz* — центральном, *Cd* — центральном правом, *Cs* — центральном левом, *Pz* — центральном теменном, *Pd* — теменном правом, *Ps* — теменном левом, *Oz* — затылочном, *Td* — правом височном, *Ts* — левом височном. Рассчитывали уровень интенсивности энергетического обмена по всем отделам ($\bar{X}$ спр.). С помощью градиента *Td-Ts* устанавливали межполушарную височную асимметрию энергетического метаболизма, *Cd-Cs* — центральную, *Pd-Ps* — теменную.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета прикладных программ «STATISTICA 6.0». Проверку нормальности распределения количественных показателей выполняли с использованием критерия Шапиро–Уилкса. Межгрупповое сравнение количественных показателей, характеризующих субпопуляции лимфоцитов, цитокинов и УПП, осуществляли с использованием непараметрического метода *U*-критерия Манна–Уитни (данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха $Me(Q1-Q3)$). Корреляционный анализ проводили методом ранговой корреляции Спирмена. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез $p < 0,05$. Работа соответствует этическим стандартам, разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2013 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утверждёнными Приказом Минздрава РФ от 01.04.2016 г. № 200н. От каждого человека было получено информированное согласие на участие в обследовании, одобренное в установленном порядке локальным этическим комитетом.

Результаты. Ранее выполненные исследования свидетельствуют, о том, что у пациентов с ВБ от воздействия локальной вибрации наблюдаются изменения в субпопуляционном составе лимфоцитов (возрастание количества $CD3^+$, $CD4^+$, $CD8^+$ -лимфоцитов и снижение $CD20^+$, $CD25^+$ -лимфоцитов) при сопоставлении со здоро-

выми лицами [15]. В настоящем исследовании нами отмечено статистически значимое снижение уровней провоспалительных цитокинов *IL-2*, *IL-8*, *INF-γ* (табл. 1), выявленный дисбаланс может быть связан со значительным напряжением иммунной системы.

У этих же пациентов профиль распределения УПП значимо преобладал по всем отведениям при сопоставлении с таковым группы сравнения. В группе сравнения значения УПП не превышали 14 мВ, укладываясь в пределы нормы. Тогда как, у лиц с ВБ зарегистрировано умеренно выраженное повышение энергообмена в лобном левом ($\bar{F}_s$), центральных ($\bar{C}_z$, $\bar{C}_d$, $\bar{C}_s$) и теменном правом ($\bar{P}_d$) корковых отделах головного мозга (табл. 2), указывающее на усиление церебральных энергозатрат в диэнцефальных отделах мозга, правой теменной и лобной коре левого полушария.

Представляло несомненный интерес выявление сопряжённости указанных выше нарушений с УПП, интегрально отражающим мембранные потенциалы нейронов, глии и гематоэнцефалического барьера. Результаты корреляционного анализа (табл. 3) позволили зарегистрировать прямые статистически значимые зависимости между общим количеством Т-лимфоцитов ($CD3^+$) и УПП в центральном лобном, в лобном правом и левом отделах ГМ у лиц с ВБ, а в группе сравнения содержание $CD3^+$ -лимфоцитов коррелировало только с УПП в центральном лобном отделе ГМ ($r = -0,34$, $p = 0,001$). Также, в группе с ВБ отмечались взаимосвязи между содержанием лимфоцитов-хелперов ($CD4^+$) и УПП в центральном отделе ГМ; лимфоцитов-супрессоров-цитотоксических ($CD8^+$) и УПП межполушарных градиентов *Fd-Fs* (разность потенциалов между правым и левым лобными отведениями); обратные корреляции В-лимфоцитов ($CD20^+$) и УПП в височном правом и левом отведении; маркеров поздней активации лимфоцитов ($CD95^+$) и УПП в лобном правом, межполушарными градиентами *Cd-Cs* (разность потенциалов между правым и левым центральными отведениями); *IL-8*, продуцентом Т-хелперов и УПП в лобном левом, межполушарным теменным градиентом *Pd-Ps*; отрицательную связь *INF-γ* и УПП в левом теменном отделе ГМ. Указанные зависимости показывают, что изменения в фенотипическом составе лимфоцитов и нарушения цитокинового профиля сопряжены с УПП головного мозга.

В группе сравнения, приведённые выше зависимости, не были обнаружены, и наблюдалась другая картина корреляционных взаимоотношений (табл. 4).

Так, получена прямая статистически значимая корреляция между УПП теменного центрального отдела ГМ и показателями *IL-4*, *IL-8*, *INF-γ* ($r = 0,54$; $0,69$; $0,65$, $p = 0,036$; $0,022$; $0,018$ соответственно). Повышение *INF-γ* было

Таблица 1 / Table 1

Изменение цитокинового профиля у пациентов с ВБ, $Me(Q1-Q3)$ Change in cytokine profile in patients with VD, $Me(Q1-Q3)$

Наименование показателей, пг/мл	Пациенты с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации ($n=26$)	Группа сравнения ($n=15$)	Уровень статистической значимости (p)
<i>IL-2</i>	2,37 (1,62–4,92)*	6,01 (5,68–8,32)	0,0003
<i>IL-8</i>	1,47 (0,01–11,61)*	10,3 (0,01–14,6)	0,007
<i>IL-4</i>	0,01 (0,01–0,01)	0,01 (0,01–0,32)	—
<i>INF-γ</i>	0,01 (0,01–0,09)*	0,23 (0,01–9,49)	0,008

Примечание: * — различия относительно группы сравнения статистически значимы при $p < 0,05$.

Note: * — differences relative to the comparison group are statistically significant at $p < 0.05$.

Таблица 2 / Table 2

Параметры уровня постоянного потенциала (УПП) у пациентов с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации Me (Q1–Q3)

Options of the DC-potential level in patients with VD, Me (Q1–Q3)

Показатели УПП, мВ	Пациенты с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации (n=26)	Группа сравнения (n=15)	Уровень статистической значимости (p)
<i>Fd</i>	12,16 (9,67–19,41)*	0,31 (–3,34–2,45)	0,002
<i>Fs</i>	16,55 (6,65–22,44)*	3,97 (–1,27–10,62)	0,03
<i>Cd</i>	21,23 (14,92–24,33)*	12,53 (6,25–24,73)	0,02
<i>Cz</i>	17,48 (13,49–25,12)*	10,66 (6,95–14,69)	0,004
<i>Cs</i>	19,9 (17,16–25,30)*	10,37 (6,46–14,95)	0,008
<i>Pd</i>	19,57 (9,53–21,58)*	4,51 (2,07–9,35)	0,02
<i>Oz</i>	12,11 (5,26–25,06)*	1,47 (0,01–9,49)	0,008
<i>Хср.</i>	17,54 (11,38–19,96)*	8,63 (3,78–11,09)	0,002

Примечание: * — различия относительно группы сравнения статистически значимы при $p < 0,05$.

Note: * — differences relative to the comparison group are statistically significant at $p < 0.05$.

Таблица 3 / Table 3

Корреляционные коэффициенты между иммунологическими показателями и УПП у пациентов с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации, ($p < 0,05$)

Correlation factors between immunological parameters and DC-potential level in patients with VD associated with exposure to local vibration, ($p < 0,05$)

Иммунологические показатели, пг/мл	Показатели УПП, мВ									
	<i>Fpz</i>	<i>Fd</i>	<i>Fs</i>	<i>Cz</i>	<i>Td</i>	<i>Ts</i>	<i>Ps</i>	<i>Cd–Cs</i>	<i>Fd–Fs</i>	<i>Pd–Ps</i>
<i>CD3⁺</i>	0,820 $p=0,0002$	0,702 $p=0,004$	0,694 $p=0,004$	—	—	—	—	—	—	—
<i>CD4⁺</i>	—	—	—	0,531 $p=0,04$	—	—	—	—	—	—
<i>CD8⁺</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	0,592 $p=0,02$	—
<i>CD20⁺</i>	—	—	—	—	–0,793 $p=0,0004$	–0,611 $p=0,01$	—	—	—	—
<i>CD95⁺</i>	—	0,585 $p=0,03$	—	—	—	—	—	–0,568 $p=0,04$	—	—
<i>IL-8</i>	—	—	0,473 $p=0,04$	—	—	—	—	—	—	0,437 $p=0,01$
<i>INF-γ</i>	—	—	—	—	—	—	–0,468 $p=0,04$	—	—	—

Таблица 4 / Table 4

Корреляционные коэффициенты между иммунологическими показателями и УПП у лиц группы сравнения, ($p < 0,05$)

Correlation factors between immunological parameters and DC-potential level in comparators, ($p < 0,05$)

Иммунологические показатели	Показатели УПП, мВ					
	<i>Fpz</i>	<i>Fs</i>	<i>Oz</i>	<i>Pz</i>	<i>Ps</i>	<i>Fd–Fs</i>
<i>CD3⁺</i>	–0,343 $p=0,001$	—	—	—	—	—
<i>IL-4</i> , пг/мл	—	—	—	0,540 $p=0,036$	—	—
<i>IL-8</i> , пг/мл	—	—	—	0,690 $p=0,022$	—	—
<i>INF-γ</i> , пг/мл	—	0,540 $p=0,028$	0,530 $p=0,03$	0,650 $p=0,018$	0,640 $p=0,015$	–0,650 $p=0,03$

сопряжено с ростом УПП в лобном левом, затылочном отделах ГМ ($r=0,54$; $0,53$, $p=0,028$; $0,030$ соответственно). Установлено, что усиление выработки *INF-γ* сопровождалось снижением УПП межполушарного лобного градиента (*Fd–Fs*) ($r=–0,65$, $p=0,031$). Данные факты указывают

на то, что усиление продукции цитокинов *IL-4*, *IL-8*, *INF-γ*, связано с преобладанием ЭОГМ в теменном отделе правого полушария. Наличие отрицательной статистически значимой зависимости между значениями УПП межполушарного лобного градиента (*Fd–Fs*) и *INF-γ*, очевидно, отра-

жает преимущественный контроль лобного отдела левого полушария за поддержанием нормальных концентраций $INF-\gamma$ [16], и может свидетельствовать о низком уровне стресса и адекватности иммунного ответа у лиц группы сравнения [17].

Обсуждение. В ходе исследования у пациентов с ВБ от локальной вибрации выявлено нарушение механизмов цитокиновой регуляции иммунного ответа в виде уменьшения концентрации в сыворотке крови $IL-2$, $IL-8$ и $INF-\gamma$ — факторов активации нейтрофилов, моноцитов и мощных ускорителей ангиогенеза [18], на фоне увеличения количества $CD3^+$, $CD4^+$, $CD8^+$ -лимфоцитов и снижения $CD20^+$, $CD25^+$ -лимфоцитов, установленного нами ранее [15]. Известно, что мозг помимо сложнейших психических и неврологических функций, обладая набором лимфоидных и нелимфоидных клеточных элементов и их гуморальных продуктов, участвует в генерации и регуляции иммунных ответов в ЦНС и общей иммунной системы [19]. Головной мозг осуществляет иммунные функции с помощью различных морфологических и функционально отличающихся подсистем: лимфоидные клетки спинномозговой жидкости (Т- и В-лимфоциты и их субпопуляции), естественные киллерные клетки, моноциты и макрофаги, нелимфоидные клетки нервной ткани: микроглия, астроциты, олигодендроциты, клетки эндотелия мозговых сосудов; гуморальные факторы, биологически активные вещества-медиаторы, пептиды, цитокины [19]. Взаимодействие нервной и иммунной систем, осуществляемое по принципу взаиморегуляции, определяет риск расстройства одной из них при патологии другой [20]. Об этом могут свидетельствовать, выявленные нами взаимосвязи повышенного УПП в лобных центральном, правом и левом, центральном корковом, правом-левом теменном отделах ГМ с гиперпродукцией иммунокомпетентных клеток и цитокинов ($CD3^+$, $CD4^+$, $CD8^+$, $CD-95^+$, $IL-8$), а также усиление УПП в правом и левом височных, левом теменном отделах с пониженным содержанием $CD20^+$ -лимфоцитов, $INF-\gamma$. Однако, участие дублирующих факторов регуляции в нейроиммунных процессах, ограничивает риск развития таких расстройств, компенсируя недостаточность или

гиперпродукцию одних регуляторов за счёт соответствующих изменений других, в связи с чем, важно вовремя распознать переход эустресса в дистресс на уровне взаимодействия центральной и иммунной систем у пациентов с ВБ, связанной с воздействием производственной вибрации. Полученные нами результаты согласуются с данными литературы [21, 22, 23] и в какой-то мере дополняют их. Кроме того, в ряде работ [24, 25] показано, что свойством УПП, как интегральных показателей энергетического состояния головного мозга, является не только отражение нейрофизиологических механизмов, которые поддерживают церебральный гомеостаз, но и связь с комплексом биохимических и иммунологических параметров, характеризующих функциональное состояние адаптивных систем организма в целом.

Результаты нашего исследования позволяют предположить, что одним из механизмов развития ВБ, связанной с локальной вибрацией, является гуморально-клеточная регуляция нейроэнергообмена ГМ, а степень выраженности неврологических симптомов у пациентов может зависеть от индивидуальной устойчивости к стрессу.

Заключение. Таким образом, выявленные взаимосвязи иммунологических показателей с увеличением УПП в различных отделах ГМ могут свидетельствовать о том, что формирование вибрационной патологии у пациентов с ВБ от локальной вибрации сопровождается как сдвигами периферического клеточного иммунитета, так и нарушениями гомеостатической устойчивости межцентральных отношений в коре больших полушарий, что может являться признаком нейровоспалительного процесса или развития цитотоксических реакций. Анализ полученных результатов показал необходимость дальнейшего проведения данного рода исследований, поскольку изучение нарушений нейроиммунного взаимодействия будет способствовать пополнению знаний о патогенезе ВБ и, возможно, откроет перспективы для лечения, включающего коррекцию не только состояния иммунной системы, но и её нервной регуляции у пациентов с данной патологией, направленной на предупреждение повреждающего действия вибрационного стресса и его последствий.

Список литературы

- Маркова Е.В., Колосова Н.Г., Козлов В.А. Клеточный иммунный ответ и ориентировочно-исследовательское поведение у экспериментальных животных. *Вестн. Урал. мед. акад. науки*. 2010; 2/1(29): 48–49.
- Schölvinck M.L., Leopold D.A., Brookes M.J., Khader P.H. The contribution of electrophysiology to functional connectivity mapping. *NeuroImage*. 2013; 80: 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.04.010>
- Князева И.В., Соколова А.П., Шмырев В.И., Борисова Ю.В., Денисов А.Б. Адаптационные возможности поддержания гомеостаза у пациентов с когнитивными расстройствами на фоне психоvegetативного синдрома. *Международ. ж. прикл. и фундам. исслед.* 2014; 10: 165.
- Грибанов А.В., Джос Ю.С., Афанасенкова Н.В. *Очерки психофизиологии детей с синдромом дефицита внимания с гиперактивностью: монография*. Архангельск: Поморский гос. ун-т им. М.В. Ломоносова; 2009.
- Депутат И.С., Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В. Большевицкая И.А., Старцева А.Ф. Анализ распределения уровня постоянного потенциала головного мозга в оценке функционального состояния организма (Обзор). *Экол. человек*. 2015; 22(10): 27–36. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2015-10-27-36>
- Созаева Д.И., Бережанская С.Б. Основные механизмы взаимодействия нервной и иммунной систем. *Клинико-экспериментальные данные*. *Кубанский научно-медицинский вестник*. 2014; 3(145): 145–150.
- Перекрест С.В., Гаврилов Ю.В., Абрамова Т.В., Новикова Н.С., Корнева Е.А. Активация клеток гипоталамических структур при введении антигенов различной природы (по экспрессии c-fos гена). *Медицинская иммунология*. 2006; 8(5–6): 631–636.
- Lekander M., Fredrikson M., Wik G. Neuroimmune relations in patients with fibromyalgia: A positron emission tomography study. *Neurosci Lett*. 2000; 282(3): 193–196. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(00\)00901-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(00)00901-0)
- Шевченко О.И., Бодиенкова Г.М., Лахман О.А., Болаженко Е.В. Взаимосвязь показателей цитокинового профиля и изменений нейроэнергообмена у пациентов с вибрационной болезнью. *Экол. человек*. 2020; 11: 14–19. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-11-14-19>
- Абрамов В.В., Ершов О.В., Смык А.В. Взаимосвязь функциональной асимметрии иммунной системы и ЦНС при формировании иммунного ответа. *Нейроиммунология*. 2009; 7(1): 6–7.

11. Измеров Н.Ф., Бухтияров И.В., Прокопенко Л.В., Измерова Н.И., Кузьмина Л.П. *Труд и здоровье (монография)*. М.: ЛитТерра; 2014.
12. Рукавишников В.С., Панков В.А., Кулешова М.В. и др. Теории сенсорного конфликта при воздействии физических факторов: основные положения и закономерности формирования. *Мед. труда и пром. экол.* 2015; 4: 1–6.
13. Pankov V.A., Kuleshova M.V. Endocrine and antioxidant systems in occupational stress at hand-arm vibration exposure workers. *Trace Elem. Electrolytes*. 2021; 38(3): 152.
14. Потеряева Е.А., Несина И.А., Люткевич А.А., Егорова Л.С., Тепляков Г.В. Программы оздоровления лиц, работающих в условиях высокого профессионального риска. *Мед. труда и пром. экол.* 2010; 8: 6–10.
15. Курчевенко С.И., Бодиенкова Г.М., Лахман О.А. Сравнительная характеристика субпопуляционного состава лимфоцитов и белка теплового шока у пациентов с вибрационной болезнью. *Росс. иммунол. жур.* 2019; 13(2–2): 846–848. <https://doi.org/10.31857/S102872210006677-9>
16. Holschneider D.P., Scremin O.U., Chialvo D.R., Kay B.P., Maarek J.-M.I. Flattened cortical maps of cerebral function in the rat: A region-of-interest approach to data sampling, analysis and display. *Neurosci Lett*. 2008; 434(2): 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.01.061>
17. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. *Энергетическая физиология мозга*. М.: Антидор; 2003.
18. Daniel J. Brat, Anita C. Bellail, Erwin G. Van Meir. The role of interleukin-8 and its receptors in gliomagenesis and tumoral angiogenesis. *Neuro Oncol.* 2005; 7(2): 122–133. <https://doi.org/10.1215/S1152851704001061>
19. Девойно А.В., Идова Г.В., Альперина Е.А. *Психонейроиммунотуляция: поведение и иммунитет. Роль «нейромедиаторной установки мозга»*. Н: Наука; 2009.
20. Умрюхин А.Е. Антитела в механизмах вегетативных и поведенческих функций организма. *Фундаментальные исследования*. 2013; 3–2: 425–430.
21. Бабанов С.А., Бараева Р.А., Будащ Д.С., Байкова А.Г. Состояние иммунного профиля и цитокины при вибрационной болезни. *РМЖ «Медицинское обозрение»*. 2018; 1(II): 108–112.
22. Могилевская К.Э., Николенко В.Ю., Ласткова Н.Д. Особенности функционального состояния нервной системы у горнорабочих, подвергающихся воздействию локальной вибрации. *Архив клинической и экспериментальной медицины*. 2018; 27(3): 78–84.
23. Almajwal A., Alam I., Zeb F., Fatima S. Energy Metabolism and Allocation in Selfish Immune System and Brain: A Beneficial Role of Insulin Resistance in Aging. *Food and Nutrition Sciences*. 2019; 10: 64–80. <https://doi.org/10.4236/fns.2019.101006>
24. Бедерева Н.С., Гезалова Н.В., Шилов С.Н. Особенности нейрометаболических реакций и активационных процессов коры головного мозга у младших школьников с различными темпераментными характеристиками в условиях школьных нагрузок. *Сибирский вестник специального образования*. 2013; 1(9): 25–37.
25. Шаяхметова Э.Ш., Муфтахина Р.М. Исследование динамики показателей энергообмена головного мозга у единоборцев в ходе тренировочных и соревновательных нагрузок. *Успехи современного естествознания*. 2013; 11: 83–86.

References

1. Markova E.V., Kolosova N.G., Kozlov V.A. Cellular immune response and indicative research behavior in experimental animals. *Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki*. 2010; 2/1(29): 48–9 (in Russian).
2. Schölvinck M.L., Leopold D.A., Brookes M.J., Khader P.H. The contribution of electrophysiology to functional connectivity mapping. *NeuroImage*. 2013; 80: 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.04.010>
3. Knjazeva I.V., Sokolova L.P., Shmyrev V.I., Borisova Yu.V., Denisov D.B. Adaptive possibilities of maintaining homeostasis in patients with cognitive impairment in the background of psychovegetative syndrome. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2014; 10: 165 (in Russian).
4. Gribov A.V., Dzhos Yu.S., Afanasenkova N.V. *Essays in psychophysiology of children with deficit of attention hyperactivity disorder*. Arkhangelsk: Pomorskiy gos. un-t im. M.V. Lomonosova; 2009 (in Russian).
5. Deputat I.S., Nekhoroshkova A.N., Gribov A.V., Bolshevidceva I.L., Startseva L.F. Analysis of dc-potential level in assessment of body functional state (review). *Ekologiya cheloveka*. 2015; 22(10): 27–6 (in Russian). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2015-10-27-36>
6. Sozaeva D.I., Berezhanskay S.B. The basic mechanisms of interaction nervous and immune systems. Clinico-experimental data. *Kubanskiy nauchno meditsinskiy vestnik*. 2014; 3(145): 145–0 (in Russian).
7. Perekrest S.V., Gavrilov Yu.V., Abramova T.V., Novikova N.S., Korneva E.A. Activation of cells from hypothalamic structures after injection of antigens different in their nature (by the c-fos expression). *Meditsinskaya immunologiya*. 2006; 8(5–6): 631–6 (in Russian).
8. Lekander M., Fredrikson M., Wik G. Neuroimmune relations in patients with fibromyalgia: A positron emission tomography study. *Neurosci Lett*. 2000; 282(3): 193–6. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(00\)00901-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(00)00901-0)
9. Shevchenko O.I., Bodiienkova G.M., Lakhman O.L., Boklazenhenko E.V. Relationship of cytokine profile indicators and changes in neuroenergy exchange in patients with vibration disease. *Ekologiya cheloveka*. 2020; 11: 14–9 (in Russian). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-11-14-19>
10. Abramov V.V., Ershov O.V., Smyk A.V. Relationship of functional asymmetry of the immune system and the CNS in the formation of the immune response. *Neyroimmunologiya*. 2009; 7(1): 6–7 (in Russian).
11. Izmerov N.F., Bukhtiyarov I.V., Prokopenko L.V., Izmerova N.I., Kuz'mina L.P. *Work and health (monograph)*. Moskva: LitTerra; 2014 (in Russian).
12. Rukavishnikov V.S., Pankov V.A., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., Kartapol'tseva N.V., Rusanova D.V. et. al. On theory of sensory conflict under exposure to physical factors: main principles and concepts of formation. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015; 4: 1–6 (in Russian).
13. Pankov V.A., Kuleshova M.V. Endocrine and antioxidant systems in occupational stress at hand-arm vibration exposure workers. *Trace Elem. Electrolytes*. 2021; 38(3): 152.
14. Poteryaeva E.L., Nesina I.A., Liutkevitch A.A., Teplyakov C.V., Egorova L.S. Programs for better health of individuals exposed to increased occupational risk. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2010; 8: 6–10 (in Russian).
15. Kurchevenko S.I., Bodiienkova G.M., Lakhman O.L. Comparative characteristics of the subpopulation composition of lymphocytes and heat shock protein in patients with vibration disease. *Rossiyskiy immunologicheskij zhurnal*. 2019; 13(2): 846–8 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S102872210006677-9>
16. Holschneider D.P., Scremin O.U., Chialvo D.R., Kay B.P., Maarek J.-M.I. Flattened cortical maps of cerebral function in the rat: A region-of-interest approach to data sampling, analysis and display. *Neurosci Lett*. 2008; 434(2): 179–4. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.01.061>
17. Fokin V.F., Ponomareva N.V. *Energetic physiology of the brain*. Moskva: Antidor; 2003 (in Russian).
18. Daniel J. Brat, Anita C. Bellail, Erwin G. Van Meir. The role of interleukin-8 and its receptors in gliomagenesis and tumoral

- angiogenesis. *Neuro Oncol.* 2005; 7(2): 122–3. <https://doi.org/10.1215/S1152851704001061>
19. Devoino L.V., Idova G.V., Alperina E.L. *Psychoneuroimmunomodulation: behavior and immunity. A role for the "neuromediator pattern of the brain"*. Novosibirsk: «Nauka»; 2009 (in Russian).
20. Umryukhin A.E. Antibodies in mechanisms of autonomic functions and behavior. *Fundamental'nye issledovaniya.* 2013; 3-2: 425–30 (in Russian).
21. Babanov S.A., Baraeva R.A., Budash D.S., Baikova A.G. Immune profile condition and cytokines in vibration disease. *RMZh «Medicinskoe obozrenie».* 2018; 1(II): 108–12 (in Russian).
22. Mogilevskaya K.E., Nikolenko V.Yu., Lastkova N.D. Features of the functional state of the nervous system in miners exposed to local vibration. *Arhiv klinicheskoy i eksperimental'noj mediciny.* 2018; 27(3): 78–4 (in Russian).
23. Almajwal A., Alam I., Zeb F., Fatima S. Energy Metabolism and Allocation in Selfish Immune System and Brain: A Beneficial Role of Insulin Resistance in Aging. *Food and Nutrition Sciences.* 2019; 10: 64–80. <https://doi.org/10.4236/fns.2019.101006>
24. Bedereva N.S., Gezalova N.V., Shilov S.N. Peculiarities of neurometabolic reactions and activation processes of the cerebral cortex in primary school children with various temperamental characteristics in terms of school loads. *Sibirskii vestnik special'nogo obrazovaniia.* 2013; 1(9): 25–37 (in Russian).
25. Shaiahmetova Ye.Sh., Muftahina R.M. Study of the dynamics of energy performance of the brain in single combat during training and competition loads. *Uspehi sovremennogo estestvoznaniia.* 2013; 11: 83–86 (in Russian).
-