

EDN: <https://elibrary.ru/hansax>

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-11-694-701>

УДК 613.64; 616-057

© Коллектив авторов, 2023

Кузьмина Л.П.^{1,2}, Измерова Н.И.¹, Хотулева А.Г.^{1,2}, Цидильковская Э.С.^{1,2}, Кислякова А.А.¹, Мили Х.²

Влияние физических производственных факторов на иммунную систему

¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, 105275;

²ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), ул. Трубецкая, 8/2, Москва, 119991

Факторы окружающей среды могут оказывать влияние на различные звенья иммунитета, потенцируя формирование иммунопатологических процессов, лежащих в основе развития большой группы заболеваний.

Цель исследования — анализ результатов экспериментальных и наблюдательных исследований по оценке влияния шума, вибрации, ЭМП на иммунологические показатели.

Среди механизмов воздействия физических факторов на иммунную систему большинство авторов выделяют действие через нейроэндокринную систему и потенцирование окислительного стресса.

Экспериментальные исследования на лабораторных животных по оценке воздействия шума на иммунную систему демонстрируют влияние шума на показатели клеточного и гуморального иммунитета, интенсивность аллергической реакции, чувствительность к инфекционным агентам.

Результаты обследований работников, подвергающихся воздействию производственной вибрации, свидетельствуют о влиянии этого производственного фактора на гуморальный, клеточный иммунитет, цитокиновый статус, однако выявляемые изменения данных иммунологических показателей могут быть разнонаправленными.

Экспериментальные исследования *in vitro* свидетельствуют, что после воздействия ЭМП на иммунные клетки в них выявляются многочисленные изменения. Имеются исследования, демонстрирующие изменение показателей иммунной системы у лиц, подвергающихся воздействию ЭМП.

Таким образом, анализ литературных источников свидетельствует о влиянии физических производственных факторов (шум, вибрация, ЭМП) на иммунный статус организма, что определяет перспективность исследований, направленных на разработку критериев оценки изменений иммунологических показателей для выделения групп повышенного риска развития патологии.

Ключевые слова: шум; вибрация; электромагнитные поля; иммунный статус; лимфоциты; иммуноглобулины; цитокины

Для цитирования: Кузьмина Л.П., Измерова Н.И., Хотулева А.Г., Цидильковская Э.С., Кислякова А.А., Мили Х. Влияние физических производственных факторов на иммунную систему. *Мед. труда и пром. экол.* 2023; 63(11): 694–701 <https://elibrary.ru/hansax> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-11-694-701>

Для корреспонденции: Хотулева Анастасия Григорьевна, ст. науч. сотр. лаб. медико-биологических исследований ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», канд. мед. наук. E-mail: hotuleva_an@mail.ru

Вклад авторов:

Кузьмина Л.П. — концепция и дизайн обзора, редактирование;
Измерова Н.И. — концепция и дизайн обзора, редактирование;
Хотулева А.Г. — сбор, обработка материала и написание текста;
Цидильковская Э.С. — сбор, обработка материала и написание текста;
Кислякова А.А. — сбор, обработка материала;
Мили Х. — сбор материала.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 28.11.2023 / Дата принятия к печати: 01.12.2023 / Дата публикации: 15.12.2023

Lyudmila P. Kuzmina^{1,2}, Natalia I. Izmerova¹, Anastasia G. Khotuleva^{1,2}, Elvira S. Tsidilkovskaya^{1,2}, Agata A. Kisljakova¹, Haithem Mili²

The influence of physical occupational factors on the immune system

¹Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, 105275;

²I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8/2, Trubetskaya St., Moscow, 119991

Environmental factors can influence various parts of the immune system, potentiating the formation of immunopathological processes underlying the development of a large group of diseases.

The study aims to analyze the results of experimental and observational studies to assess the effect of noise, vibration, and electromagnetic fields (EMF) on immunological parameters.

Among the mechanisms of the influence of physical factors on the immune system, most authors single out the action through the neuroendocrine system and the potentiation of oxidative stress.

Experimental studies on laboratory animals to assess the effects of noise on the immune system demonstrate the effect of noise on cellular and humoral immunity, the intensity of an allergic reaction, and sensitivity to infectious agents.

The results of surveys of workers exposed to industrial vibration indicate the influence of this production factor on humoral, cellular immunity, and cytokine status, however, the detected changes in these immunological parameters may be multidirectional.

In vitro experimental studies indicate that after exposure to EMF on immune cells, numerous changes are detected in them. There are studies demonstrating changes in the immune system in people exposed to EMF.

Thus, the analysis of literary sources indicates the influence of physical production factors (noise, vibration, EMF) on the immune status of the body, which determines the prospects of research aimed at developing criteria for evaluating changes in immunological parameters to identify groups at increased risk of developing pathology.

Keywords: noise; vibration; electromagnetic fields; immune status; lymphocytes; immunoglobulins; cytokines

For citation: Kuzmina L.P., Izmerova N.I., Khotuleva A.G., Tsidilkovskaya E.S., Kislyakova A.A., Mili H. The influence of physical production factors on the immune system. *Med. truda i prom. ekol.* 2023; 63(11): 694–701. <https://elibrary.ru/hansax> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-11-694-701> (in Russian)

For correspondence: Anastasia G. Khotuleva, the senior researcher at the Laboratory of Biomedical Research, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Cand. of Sci. (Med.). E-mail: khotuleva_an@mail.ru

Author IDs: Kuzmina L.P. <https://orcid.org/0000-0003-3186-8024>
 Izmerova N.I. <https://orcid.org/0000-0002-7053-568X>
 Khotuleva A.G. <https://orcid.org/0000-0003-0359-1785>
 Tsidilkovskaya E.S. <https://orcid.org/0000-0003-2974-775X>
 Kislyakova A.A. <https://orcid.org/0000-0002-7024-6634>
 Mili H. <https://orcid.org/0000-0001-7574-343X>

Contribution:

Kuzmina L.P. — concept and design of the review, editing;
 Izmerova N.I. — concept and design of the review, editing;
 Khotuleva A.G. — collection, processing of material and writing the text;
 Tsidilkovskaya E.S. — collection, processing of material and writing the text;
 Kislyakova A.A. — collection, processing of material;
 Mili H. — collecting material.

Funding. The study had no funding.

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

Received: 28.11.2023 / Accepted: 01.12.2023 / Published: 15.12.2023

Введение. Раннее выявление признаков воздействия неблагоприятных факторов рабочей среды и трудового процесса на организм работающих является важной задачей при изучении состояния здоровья работников. Под действием неблагоприятных производственных факторов в организме происходят изменения на молекулярном и клеточном уровнях, изменяются уровни иммунологических, гематологических, биохимических маркеров, показателей окислительного метаболизма, гормонов и др.

Иммунная система относится к важнейшим защитным и регуляторным системам организма, от состояния которых зависит адаптация к различным условиям внешней среды и развитие ответных реакций на воздействие стрессорных факторов, в том числе и производственных [1]. Факторы окружающей среды могут оказывать влияние на состояние иммунной системы, воздействуя на различные звенья иммунитета [2]. При этом выраженность иммунотоксического эффекта связана не столько с интенсивностью разового воздействия, сколько с длительностью хронического низкоуровневого воздействия факторов. Нарушения функций иммунной системы могут проявляться в виде гипер-, гиподисфункции, дисфункции, в изменениях толерантности к антигенам, клиническими проявлениями которых являются повышенная чувствительность к бактериальным и вирусным инфекциям, развитие аутоиммунных и аллергических заболеваний, опухолей.

Удельный вес рабочих мест на промышленных предприятиях Российской Федерации, не соответствующих гигиеническим нормативам по отдельным физическим факторам в 2022 г. составлял: по шуму — 15,48%, по вибрации (общей и локальной) — 6,5%, электромагнитным полям (ЭМП) — 0,77% [3], что определяет значимость исследований в области медицины труда, направленных на изучение изменений иммунного статуса при воздействии физических факторов производственной среды.

В структуре профессиональной заболеваемости в России первое ранговое место занимают заболевания и их последствия, связанные с воздействием производственных физических факторов, доля которых в 2022 г. составила 47,11%. В группе профессиональных заболеваний, связанных с воздействием физических факторов, заболевания, связанные с воздействием производственного шума, составляют 56,07%, случаи вибрационной болезни

— 42,64% [3]. При этом в формировании вибрационной болезни, нейросенсорной тугоухости имеют значение иммунопатологические механизмы [4–6].

Цель исследования — анализ результатов экспериментальных и наблюдательных исследований по оценке влияния шума, вибрации, ЭМП на иммунологические показатели.

Механизмы воздействия физических факторов на иммунную систему. Воздействие физических факторов на иммунную систему может реализовываться как за счёт прямого воздействия на клетки и их функциональную активность, так и опосредованно через вегетативные отделы нервной системы [7]. Так значимым является влияние на нейроэндокринную систему (влияние на гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую, симпатoadреналовую системы, изменения функционирования которых воздействуют на иммунный статус) [5, 8] и индукция развития окислительного стресса, оказывающего повреждающее влияние на белки, мембраны, ДНК иммунных клеток, что также может привести к развитию апоптоза [9].

Шум вызывает стрессовую реакцию с увеличением уровней катехоламинов и кортизола [10–13]. Через глюкокортикоидные рецепторы, экспрессирующиеся на различных иммунных клетках, кортизол влияет на активность транскрипционного фактора NF-κB, регулирующего продукцию цитокинов клетками иммунной системы. Также регуляция экспрессии генов цитокинов осуществляется через адренергические рецепторы. Изменения генной экспрессии, вызываемые глюкокортикоидами и катехоламинами, может привести к дисрегуляции иммунной системы, приводя к изменению транспорта, пролиферации иммунных клеток, секреции цитокинов, продукции антител и цитолитической активности [14, 15].

Супрессирующее действие кортизола на иммунную систему проявляется в снижении активности NK-клеток [16], являющихся важным компонентом врождённого иммунитета и обладающих защитными функциями против вирусной инфекции и опухолевого процесса [17, 18]. Также воздействие кортизола способствует уменьшению абсолютного содержания T-лимфоцитов (CD3⁺), T-хелперов (CD4⁺), увеличение процентного содержания T-супрессоров (CD8⁺), уменьшение CD4⁺/CD8⁺ индекса и абсолютного количества B-лимфоцитов (CD20⁺),

что сопровождается нарушением функционально-метаболической активности лейкоцитов и дисбалансом продукции цитокинов [19, 20]. В оценке состояния иммунной системы важное значение имеет соотношение *T*-хелперов и *T*-супрессоров, так как от этого зависит интенсивность иммунного ответа: избыточная активность *T*-супрессоров приводит к подавлению и abortивному течению иммунного ответа, что повышает предрасположенность к инфекционным заболеваниям и злокачественному росту.

На основании многочисленных исследований показана роль физических факторов (шума [21, 22], вибрации [23], электромагнитных полей [24]) в индукции оксидативного стресса, играющего важную роль в развитии различных патологических процессов.

Функционирование иммунной системы неразрывно связано с образованием активных форм кислорода (АФК) и активных форм азота, которые играют важную роль в элиминации чужеродных или повреждённых клеток путём фагоцитоза и участвуют в воспалительной реакции и активации иммунного ответа [24, 25]. Присутствие свободных радикалов индуцирует постоянную активацию гранулоцитов и макрофагов, продуцирующих АФК, но состояние постоянной активации в некоторых случаях может привести к истощению иммунной системы [26, 27]. При избыточной продукции АФК могут также возникать иммунопатологические нарушения, связанные с повреждением иммунных клеток [28], повышением риска развития аутоиммунной патологии в связи с окислительной модификацией собственных белков [29, 30].

Воздействие шума на иммунную систему. По данным проведённых исследований воздействие шума на организм вызывает нарушения функций различных звеньев иммунной системы: системы неспецифической иммунной защиты, клеточного и гуморального иммунитета [5, 20, 31–33], при этом шум разной интенсивности и продолжительности может вызывать различные изменения в иммунной системе [5, 21, 34, 35].

Имеются данные, что длительное воздействие шума в процессе профессиональной деятельности ассоциировано с увеличением уровня общей заболеваемости с преобладанием болезней органов дыхания и инфекционных заболеваний (преимущественно острые респираторные заболевания), а также утяжелению течения инфекционных болезней и возникновению других патологических процессов [20, 36].

Экспериментальные исследования на крысах свидетельствуют о влиянии шума 98–100 дБА на снижение количества лейкоцитов [37], преимущественно лимфоцитов [38], хроническое воздействие шума оказывает определённое влияние на гуморальную иммунную функцию, проявляющееся в значительном снижении уровней *IgA* и отсутствии существенных изменений в *IgG* и *IgM*, повышении *ИЛ-1* [37].

Исследование, сравнивающее влияние воздействия шума 90 дБА в течение 3 дней и 4 недель на иммунную функцию мышей, показало, что 3-дневное воздействие шума усиливало способность лимфоцитов к пролиферации и повышало концентрацию *IgM* сыворотки, 4-недельное воздействие шума подавляло адаптивный иммунитет. Различия изменений показателей иммунной системы при кратковременном и хроническом воздействии шума показывает и исследование, демонстрирующее повышение количества и активность *T*-лимфоцитов, *IgM* у мышей при кратковременном воздействии, при хроническом воздей-

ствии отмечается снижение *IgG* и *IgM* [21]. Также продемонстрированы разнонаправленные изменения активности *NK*-клеток у крыс линии *Wistar* при воздействии шума 85 дБА: активность была повышена после периода воздействия 24 ч и 7 дней, но была снижена после 3 недель [39].

При оценке воздействия шума на механизмы защиты от инфекций в результате экспериментальных исследований показано, что выживаемость и средняя продолжительность жизни животных, заражённых инфекционными возбудителями брюшного тифа и туляремии и подвергшихся воздействию низкочастотного шума 110 дБА в течение 30 сут., ниже, чем среди животных, не подвергавшихся воздействию низкочастотного шума до заражения [20].

Имеются также данные экспериментов о влиянии воздействия шума 90 дБА на интенсивность аллергической реакции немедленного типа: в условиях воздействия шума развивается более сильная аллергическая реакция, сенсibilизация в условиях воздействия шума у морских свинок происходит на фоне снижения количества *T*- и *B*-лимфоцитов, а также функциональной активности нейтрофилов [40, 41].

По данным поперечного исследования 172 женщин выявлена ассоциация воздействия шума от транспортных магистралей с количеством *NKT*-клеток и уровнем *ИЛ-12*, основная функция которого — регуляция дифференцировки клонов *T*-хелперов, активированных при встрече с антигеном: при увеличении уровня шума на 1 дБА процент *NKT*-клеток снижается на 0,038%, уровень *ИЛ-2* увеличивается на 0,006 пг/мл; ассоциации с процентом *NK*-клеток и уровнем *ИФН-γ* не получено [35].

На основании обследования работников предприятия теплоэнергетики, подвергающихся воздействию шума, со стажем работы $4,2 \pm 1,3$ года выявлены изменения показателей гуморального иммунитета: повышение уровня *IgA*, снижение уровня *IgM* и отсутствие различий по уровню *IgG* по сравнению с контрольной группой [42].

Воздействие шума может способствовать развитию локального и системного воспалительного процесса, активируя образование провоспалительных цитокинов, отмечается увеличение экспрессии маркеров воспаления, хемокинов и молекул адгезии в улитке [43–45], головном мозге [46] и сыворотке [47], при этом в развитии профессиональной нейросенсорной тугоухости значимую роль играет воспалительный процесс во внутреннем ухе [5, 48].

Обсуждаются данные о возможном влиянии шума на развитие аутоиммунных заболеваний [5]. В исследовании, проведённом в рамках *NHANES (the National Health and Nutrition Examination Survey)*, на основании данных обследования 4192 человек продемонстрировано наличие ассоциации развития ревматоидного артрита с воздействием шума (80–85 дБА и выше) в течение 15 и более лет ($ОШ=2,84$; 95% ДИ: 1,23–6,57) по сравнению с лицами, не подвергавшимися воздействию шума, с производственной коррекцией по социальным факторам, факторам образа жизни и по воздействию промышленного аэрозоля [49], в другом исследовании данная ассоциация не выявлена [50].

Воздействие вибрации на иммунную систему. Относительно вопроса воздействия производственной вибрации на организм работающих отечественными авторами проведены многочисленные исследования, свидетельствующие о развитии изменений иммунного статуса как в доклинической стадии развития заболевания, так и при развитии вибрационной болезни, охарактеризованы основ-

ные иммунопатологические механизмы, принимающие участие в формировании вибрационной болезни.

При анализе воздействия вибрации на клеточный иммунитет отмечается повышение В-лимфоцитов ($CD20^+$) и снижение Т-лимфоцитов ($CD3^+$), Т-супрессоров ($CD8^+$), Т-хелперов ($CD4^+$) и Т-киллеров ($CD16^+$) [51–53], при этом степень снижения Т-супрессоров и Т-хелперов зависит от степени вибрационной болезни и типа воздействующей вибрации [52]. По данным других исследователей отмечается повышение содержания $CD3^+$, $CD4^+$ лимфоцитов [54], при вибрационной болезни от воздействия локальной вибрации выявлено увеличение абсолютного количества $CD3^+$, $CD4^+$, $CD8^+$ лимфоцитов, при вибрационной болезни от сочетанного воздействия локальной и общей вибрации наблюдалось возрастание абсолютного количества также $CD3^+$, $CD4^+$, $CD8^+$ лимфоцитов и дополнительно $CD16^+$, $CD20^+$, $CD25^+$, $CD95^+$ лимфоцитов [55].

Результаты оценки состояния гуморального иммунитета при воздействии вибрации свидетельствуют об изменении уровня иммуноглобулинов сыворотки, при этом если одни исследования демонстрируют повышение IgG [56] и IgA [56, 57], другие свидетельствуют о снижении IgG [53] и IgA [58], выявляется снижение IgM [58, 59], при этом степень снижения коррелирует со стажем работы [56].

Выраженные изменения выявляют при воздействии вибрации в цитокиновом статусе. Цитокины представляют собой группу полипептидных молекул, которые продуцируются клетками иммунной системы и осуществляют регуляцию межклеточных взаимодействий. Являясь главными медиаторами иммунной системы, цитокины участвуют в патогенезе всех воспалительных заболеваний, влияют на функциональную активность клеток, принимающих участие в реакциях врожденного и приобретенного иммунитета [60].

Развитие адекватного иммунного ответа зависит от баланса клеточно-опосредованных и гуморальных иммунных реакций, регулируемых двумя группами цитокинов: провоспалительных (ИЛ-1, ИЛ-2, ИЛ-8, ИЛ-6, ФНО- α , ИФН- γ) и противовоспалительных (ИЛ-4, ИЛ-10, ИЛ-13). При нарушении цитокинового баланса развивается состояние хронического воспаления. Известно, что многие органы в норме находятся в состоянии «контролируемого воспаления», которое регулируется балансом провоспалительных и противовоспалительных цитокинов, дисбаланс же в их продукции может вызывать развитие патологических процессов, составляющих основу развития большой группы заболеваний [60–62]. Поэтому определение содержания цитокинов имеет большое значение в оценке функциональной активности иммунокомпетентных клеток и регуляции иммунного ответа.

У стажированных работников без признаков нарушения здоровья от воздействия вибрации выявляются разнонаправленные изменения уровней цитокинов: повышение ИЛ-1 [58, 63] или отсутствие изменений данного цитокина [64, 65], повышение ИЛ-8 [64, 65], снижение [58, 65] или повышение [63] ФНО- α , снижение ИФН- γ [65], снижение ИЛ-10 [65], повышение ИЛ-4 [58, 65] или отсутствие изменений уровня данного интерлейкина [64], что может быть связано с развитием адаптационных изменений или формированием состояния дезадаптации.

При оценке цитокинового статуса при вибрационной болезни отмечается увеличение уровней провоспалительных цитокинов: ИЛ-1 [6, 51, 52, 63, 64],

ИЛ-2 [6, 59], ИЛ-8 [51–53, 64–66], ФНО- α [6, 51–53, 59, 63], ИФН- γ [66], и снижение уровней противовоспалительных цитокинов: ИЛ-4 [51–53, 63, 65], ИЛ-10 [63, 65], хотя есть данные о противоположных изменениях: снижении ИЛ-2 [66] и ИФН- γ [65], отсутствии изменений ИЛ-10 [64, 65] и ИЛ-4 [66].

При вибрационной болезни выявлено повышение антител к ряду регуляторных белков нервной системы, установлены корреляционные взаимосвязи уровня их изменений с уровнями цитокинов [64], нейрофизиологическими показателями, отражающими состояние центральных афферентных проводящих структур и периферических нервов [67].

Таким образом, данные большинства литературных источников свидетельствуют о влиянии вибрации на состояние клеточного и гуморального звеньев иммунитета и формировании провоспалительного фенотипа при воздействии производственной вибрации. Разнонаправленные изменения некоторых иммунологических показателей, выявленные в разных работах, обуславливают актуальность продолжения исследований по данной тематике с выделением информативных иммунологических показателей и разработкой критериев их анализа для оценки степени влияния производственной вибрации на организм.

Воздействие электромагнитных полей на иммунную систему. Влияние электромагнитного излучения антропогенного происхождения на клетки иммунной системы также было актуальной темой исследований в последние годы [24, 68, 69]. В проводимых работах внимание уделяется неблагоприятному воздействию как низкочастотных, так и высокочастотных электромагнитных полей, их воздействие как стрессовых факторов может вызывать морфологические и физиологические изменения в системах, связанных с реакцией на стресс [70]. Имеются исследования, демонстрирующие, что электромагнитные поля могут вызывать реакции клеток, характерные для общей реакции на стресс: активацию внутриклеточных компенсаторных механизмов и изменение функциональной активности иммунной и гормональной систем [71].

Многочисленные исследования демонстрируют, что электромагнитные поля могут оказывать как стимулирующее, так и тормозящее действие на иммунную систему, в зависимости от физических параметров ЭМП и типа подвергающихся воздействию клеток [72]. Одним из наиболее важных эффектов воздействия электромагнитных полей на иммунные клетки является увеличение концентрации кальция внутри клетки за счёт активации потенциал зависимых кальциевых каналов, что приводит к последующим эффектам, таким как увеличение оксида азота и производство большого количества свободных радикалов и цитокинов [73]. Накопленные данные свидетельствуют о том, что воздействие ЭМП может влиять на количество и функцию иммунных клеток, влияя на процесс апоптоза, киллинговую активность, содержание цитокинов [74].

Экспериментальные исследования *in vitro* свидетельствуют, что после воздействия ЭМП на иммунные клетки в них выявляются многочисленные изменения, такие как дисрегуляция метаболизма кальция, нарушение клеточного деления, изменения уровня транскрипции генов и активация свободнорадикального окисления [72].

Имеются исследования, демонстрирующие изменения показателей иммунной системы у лиц, подвергающихся воздействию ЭМП. Изучение воздействия ЭМП

на изменение количества NK-клеток, ответственных за противовирусный и противоопухолевый иммунитет, свидетельствует об их снижении у работников электросетевых объектов (воздействие ЭМП 60 Гц) в зависимости от интенсивности воздействия [75], у находящихся в контакте с ЭМП 50 Гц [76], у женщин, подвергающихся воздействию ЭМП, производимых радиотелевизионными станциями (500 кГц – 3 ГГц), [77] также отмечается снижение активности натуральных киллеров при воздействии ЭМП низкочастотного диапазона [78], при этом имеются результаты о повышении данных иммунных клеток у лиц, подвергающихся воздействию низкочастотных ЭМП (50 Гц), создаваемых трансформаторами, [79] и при воздействии ЭМП от индукционных нагревателей [80].

Также выявляется снижение CD3-CD25⁺ лимфоцитов (В-лимфоциты, активированные ИЛ-2) у лиц, подверга-

ющихся воздействию ЭМП 50 Гц [76], цитотоксических Т-лимфоцитов и активированных В-лимфоцитов у женщин, подвергающихся воздействию ЭМП (500 кГц – 3 ГГц) [77].

Заключение. Анализ результатов проведенных исследований свидетельствует о влиянии физических производственных факторов (шум, вибрация, ЭМП) на иммунный статус организма, изменения которого ассоциированы с развитием различных патологических состояний, однако выявляемые изменения не всегда однозначны. Полученные данные обуславливают значимость продолжения исследований по выделению информативных иммунологических показателей для выявления ранних функциональных сдвигов и развития дезадаптации при хроническом воздействии физических факторов производственной среды.

Список литературы (пп. 5, 8–18, 21, 22, 24–27, 29, 30, 33–35, 37–39, 43–50, 54, 68–80 см. References)

- Жигулина В.В. Биохимический ответ на стресс (обзор литературы). *Тверской медицинский журнал*. 2015; 1: 91–100.
- Чепель Э., Хейни М., Миссах С. Основы клинической иммунологии. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2008.
- О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023.
- Курчевенко С.И., Бодиенкова Г.М. Формирование естественной реактивности организма при воздействии производственных физических факторов. XXI век. *Техносферная безопасность*. 2016; 1(4): 73–78.
- Бодиенкова Г.М., Иванская Т.И., Лизарев А. В. Иммунопатогенез вибрационной болезни. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. 2006; 49(3): 72–77.
- Абишева А.А., Беаихина Т.И., Казымов М.С., Жунусова Т., Манарбеков Е.М. Многофакторное негативное антропогенное воздействие и система иммунитета у взрослых лиц в г. Усть-Каменогорске. *Наука и здравоохранение*. 2021; 4(23): 172–179. <https://doi.org/10.34689/SH.2021.23.4.019>
- Вобликов И.В. Оценка роли иммунной системы в развитии нарушений состояния здоровья у лиц, подвергающихся воздействию низкочастотных акустических колебаний в процессе профессиональной деятельности. В кн.: *Актуальные проблемы и перспективы развития военной медицины: науч. тр. НИИЦ (МБЗ) ГНИИИВМ МО РФ*. СПб., 2000; 2: 55–60.
- Сайфуллин Р.Ф., Селезнев А.Б., Сергеев С.Н., Степанов А.В., Комиссаров Н.В., Гордиенко А.В. Экспериментальная оценка устойчивости организма к инфекционным заболеваниям в условиях воздействия низкочастотного шума. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2017; 1(57): 105–110.
- Крючкова Е.Н., Антошина Л.И., Жеглова А.В., Сааркопель Л.М. Критериальная значимость показателей оксидативного стресса при вибрационном воздействии. *Медицина труда и промышленная экология*. 2016; 3: 30–34.
- Цейликман В.Э., Лукин А.А. Влияние окислительного стресса на организм человека. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2022; 3(117): 206–211. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.117.3.037>
- Плужников Н.Н., Владимирова В.Г., Зинкин В.Н., Вобликов И.В., Васильева И.Н., Родионов Г.Г. и др. Исследование некоторых механизмов повреждающих эффектов низкочастотных шумов. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2001; 41(1): 67–72.
- Ахметзянов И.М., Редько А.А., Сергеев О.Е. Неспецифическое действие шума на организм: неблагоприятное влияние на здоровье человека и возможные пути профилактики. В кн.: *Защита населения от повышенного шумового воздействия: сб. докл. Всеросс. научн.-практ. конф. с междунар. участием*. ИННОВА; 2006: 168–173.
- Зинкин В.Н., Свиловый В.И., Ахметзянов И.М. Неблагоприятное действие низкочастотных акустических колебаний на органы дыхания. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2011; 3(40): 280–284.
- Лычова О.А., Галиев Р.С. Влияние городского шума на особенности развития аллергической реакции немедленного типа. *Экология человека*. 2012; 4: 11–15.
- Галиев Р.С., Дробленков А.В., Галиева С.А. Особенности течения аллергии в условиях шума. *Медицина и образование*. 2020; 2(6): 10–14.
- Курчевенко С.И., Боклаженко Е.В., Бодиенкова Г.М. Сравнительный анализ иммунного ответа у рабочих при воздействии различных производственных факторов. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(10): 905–909. <https://elibrary.ru/yocquh>
- Бараева Р.А., Бабанов С.А. Иммунный профиль при вибрационной болезни от воздействия локальной и общей вибрации. *Санитарный врач*. 2015; 7: 11–19.
- Бабанов С., Бараева Р. Показатели клеточного иммунитета и цитокиновый профиль при вибрационной болезни. *Врач*. 2017; 1: 53–56.
- Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Лапко И.В., Богатырева И.А., Антошина Л.И., Ошкодеров О.А. Воздействие производственной вибрации на организм человека на молекулярно-клеточном уровне. *Медицина труда и промышленная экология*. 2018; 9: 34–43. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-9-34-43>
- Курчевенко С.И., Бодиенкова Г.М., Лахман О.А. Сравнительная характеристика субпопуляционного состава лимфоцитов и белка теплового шока у пациентов с вибрационной болезнью. *Российский иммунологический журнал*. 2019; 13(2–2): 846–848. <https://doi.org/10.31857/S102872210006677-9>
- Павловская Н.А., Антошина Л.И., Сааркопель Л.М. Действие вибрации на биохимические показатели, характеризующие окислительный метаболизм, иммунитет, обмен мышечной и соединительной тканей (обзор литературы). *Медицина труда и промышленная экология*. 2009; 2: 32–37.
- Азовская Т.А., Лаврентьева Н.Е. Изменение иммунного гомеостаза при воздействии производственной вибрации. *Медицинский Совет*. 2016; 10: 174–176. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2016-10-174-176>
- Курчевенко С.И., Бодиенкова Г.М. Донозологическая диагностика вибрационной болезни. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2017; 8: 482–485. <https://elibrary.ru/zfmcxh>
- Азовская Т.А., Лаврентьева Н.Е. О роли иммунной системы в патогенезе вибрационной болезни. *Фарматека*. 2016; 10: 14–16.

60. Симбирцев А.С. Цитокины в патогенезе и лечении заболеваний человека. СПб: Фолиант, 2018.
 61. Серебренникова С.Н., Семинский И.Ж. Роль цитокинов в воспалительном процессе. *Сибирский медицинский журнал*. 2008; 81(6): 5–8.
 62. Крючкова Е.Н., Сааркоппель Л.М., Яцына И.В. Особенности иммунного ответа при хроническом воздействии промышленных аэрозолей. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(11): 1058–1061. <https://elibrary.ru/xsnrrb>
 63. Бодиевкова Г.М., Курчевенко С.И. Нейроиммуноэндокринные взаимоотношения при воздействии локальной вибрации на работающих. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 4: 39–43.
 64. Бодиевкова Г.М., Курчевенко С.И. Взаимосвязь между концентрацией цитокинов и уровнем антител к нейрональным белкам у рабочих при воздействии вибрации. *Нейрохимия*. 2016; 33(1): 85–89. <https://doi.org/10.7868/S1027813316010039>
 65. Бодиевкова Г.М., Курчевенко С.И. Оценка медиаторов воспаления при воздействии вибрации на рабочих в зависимости от выраженности патологического процесса. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(5): 460–462. <https://elibrary.ru/ysqdhb>
 66. Боклаженко Е.В., Бодиевкова Г.М. Дисбаланс состава лимфоцитов и цитокинового профиля как фактор риска развития вибрационной болезни. *Анализ риска здоровью*. 2022; 1: 140–145. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.15>
 67. Бодиевкова Г.М., Курчевенко С.И., Русанова Д.В. Нейроаутоиммунные процессы при вибрационной болезни. *Нейрохимия*. 2018; 35(3): 269–274. <https://doi.org/10.1134/S1027813318030020>
- ## References
1. Zhigulina V.V. Biochemical response to stress (overview). *Tverskoy medicinskij zhurnal*. 2015; 1: 91–100. (in Russian).
 2. Chapel H., Haeney M., Misbah S. *Essentials of clinical immunology*. M.: GEOTAR-Media; 2008 (in Russian).
 3. On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2022: State report. M.: Federal'naja sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebitel'ej i blagopoluchija cheloveka, 2023 (in Russian).
 4. Kurchevenco S.I., Bodienkova G.M. Formation of natural body reactivity when exposed to industrial physical factors. XXI vek. *Tehnosfernaja bezopasnost'*. 2016; 1(4): 73–78 (in Russian).
 5. Zhang A., Zou T., Guo D., Wang Q., Shen Y., Hu H. et al. The Immune System Can Hear Noise. *Front Immunol*. 2020; 11: 619189. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.619189>
 6. Bodienkova G.M., Ivanskaya T.I., Lizarev A.A. Immunological pathogenesis of vibration-induced disease. *Bulleten' VSNC SO RAMN*. 2006; 49(3): 72–77 (in Russian).
 7. Abisheva A.A., Belikhina T.I., Kazimov M.S., Zhunusova T., Manarbekov E.M. Multifactorial negative anthropogenic impact and the immune system in adults in Ust-Kamenogorsk. *Nauka i Zdravoohranenie*. 2021; 4(23): 172–179. <https://doi.org/10.34689/SH.2021.23.4.019> (in Russian).
 8. Padgett D.A., Glaser R. How stress influences the immune response. *Trends Immunol*. 2003; 24: 444–448. [https://doi.org/10.1016/S1471-4906\(03\)00173-X](https://doi.org/10.1016/S1471-4906(03)00173-X)
 9. Gille G., Sigler K. Oxidative stress and living cells. *Folia Microbiol (Praha)*. 1995; 40(2): 131–152 <https://doi.org/10.1007/BF02815413>
 10. Ising H. Acute and chronic endocrine effects of noise: review of the research conducted at the Institute for Water, Soil and Air Hygiene. *Noise and health*. 2000; 31(7): 7–24.
 11. Selander J., Bluhm G., Theorell T., Pershagen G., Babisch W., Seiffert I. et al. Saliva cortisol and exposure to aircraft noise in six European countries. *Environ. Health Perspect*. 2009; 117: 1713–1717. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900933>
 12. Fouladi D.B., Nassiri P., Monazzam E.M., Farahani S., Hassanzadeh G., Hoseini M. Industrial noise exposure and salivary cortisol in blue collar industrial workers. *Noise & Health*. 2012; 14(59): 184–189. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.99894>
 13. Schmidt F.P., Basner M., Kroger G., Weck S., Schnorbus B., Muttray A. et al. Effect of nighttime aircraft noise exposure on endothelial function and stress hormone release in healthy adults. *Eur. Heart J*. 2013; 34: 3508–3514. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehd269>
 14. Padgett D.A., Glaser R. How stress influences the immune response. *Trends in Immunology*. 2003; 24(8): 444–448. [https://doi.org/10.1016/s1471-4906\(03\)00173-x](https://doi.org/10.1016/s1471-4906(03)00173-x)
 15. Rickard A.J., Young M.J. Corticosteroid receptors, macrophages and cardiovascular disease. *Journal of Molecular Endocrinology*. 2009; 42(6): 449–459. <https://doi.org/10.1677/JME-08-0144>
 16. Hartono H. Cortisol level decreases natural killer cell activity among women with aircraft noise. *Universa Medicina*. 2016; 29(3): 153–161. <https://doi.org/10.18051/UnivMed.2010.v29.153-161>
 17. Imai K., Matsuyama S., Miyake S., Suga K., Nakachi K. Natural cytotoxic activity of peripheral-blood lymphocytes and cancer incidence: an 11-year follow-up study of a general population. *Lancet*. 2000; 356(9244): 1795–1799. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)03231-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)03231-1)
 18. Ljunggren H.G., Malmberg K.J. Prospects for the use of NK cells in immunotherapy of human cancer. *Nature Reviews Immunology*. 2007; 7(5): 329–339. <https://doi.org/10.1038/nri2073>
 19. Voblikov I.V. Assessment of the role of the immune system in the development of health disorders in individuals exposed to low-frequency acoustic vibrations during professional activities. In book.: *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya voennoj mediciny: nauch. tr. NIIC (MBZ) GNIIIVM MO RF. SPb.*, 2000; 2: 55–60 (in Russian).
 20. Sayfullin R.F., Seleznev A.B., Sergeev S.N., Stepanov A.V., Komissarov N.V., Gordienko A.V. Experimental evaluation of resistance of the organism to infectious diseases in conditions of low-frequency noise. *Vestnik Rossijskoj Voenno-meditsinskoj akademii*. 2017; 1(57): 105–110 (in Russian).
 21. Zheng K.C., Ariizumi M. Modulations of immune functions and oxidative status induced by noise stress. *J Occup Health*. 2007; 49(1): 32–38. <https://doi.org/10.1539/joh.49.32>
 22. Münzel T., Sørensen M., Schmidt F., Schmidt E., Steven S., Kröller-Schön S. et al. The Adverse Effects of Environmental Noise Exposure on Oxidative Stress and Cardiovascular Risk. *Antioxid Redox Signal*. 2018; 28(9): 873–908. <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7118>
 23. Kriuchkova E.N., Antoshina L.I., Zheglova A.V., Saarkoppel' L.M. Critical value of oxidative stress parameters in exposure to vibration. *Medicina truda i promyshlennaja jekologija*. 2016; 3: 30–34 (in Russian).
 24. Schuermann D., Mevissen M. Manmade Electromagnetic Fields and Oxidative Stress-Biological Effects and Consequences for Health. *Int J Mol Sci*. 2021; 22(7): 3772. <https://doi.org/10.3390/ijms22073772>
 25. Yang Y., Bazhin A.V., Werner J., Karakhanova S. Reactive oxygen species in the immune system. *Int Rev Immunol*. 2013; 32(3): 249–270. <https://doi.org/10.3109/08830185.2012.755176>
 26. Lotze M.T., Zeh H.J., Rubartelli A., Sparvero L.J., Amoscato A.A., Washburn N.R. et al. The grateful dead: damage-associated molecular pattern molecules and reduction/oxidation regulate immunity. *Immunol Rev*. 2007; 220: 60–81. <https://doi.org/10.1111/j.1600-065X.2007.00579.x>
 27. Gill R., Tsung A., Billiar T. Linking oxidative stress to inflammation: toll-like receptors. *Free Radic Biol Med*. 2010; 48: 1121–1132. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.01.006>
 28. Tseylikman V.E., Lukin A.A. On the effect of oxidative stress on the human body. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2022; 3(117): 206–211. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.117.3.037> (in Russian).

29. Casciola-Rosen L., Wigley F., Rosen. A. Scleroderma autoantigens are uniquely fragmented by metal-catalyzed oxidation reactions: implications for pathogenesis. *Journal of Experimental Medicine*. 1997. 185(1): 71–79. <https://doi.org/10.1084/jem.185.1.71>
30. Buttari B., Profumo E., Mattei V., Siracusano A., Ortona E., Margutti P. et al. Oxidized 2-glycoprotein I induces human dendritic cell maturation and promotes a T helper type 1 response. *Blood*. 2005; 106(12): 3880–3887. <https://doi.org/10.1182/blood-2005-03-1201>
31. Pluzhnikov N.N., Vladimirov V.G., Zinkin V.N., Voblikov I.V., Vasilyeva I.N., Rodionov G.G. et al. The study of certain mechanisms of injurious effects of low-frequency noise. *Radiacionnaja biologija. Radioekologija*. 2001; 41(1): 67–72 (in Russian).
32. Akhmetzyanov I.M., Redko A.A., Sergeev O.E. Nonspecific effects of noise on the body: adverse effects on human health and possible ways of prevention. In book: *Zashchita naselenija ot povyshennogo shumovogo vozdejstviya: sb. dokl. Vseross. nauchn.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem*. INNOVA; 2006: 168–173. (in Russian)
33. Recio A., Linares C., Banegas J.R., Diaz J. Road traffic noise effects on cardiovascular, respiratory, and metabolic health: An integrative model of biological mechanisms. *Environ Res*. 2016; 146: 359–370. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.12.036>
34. Pascuan C.G., Uran S.L., Gonzalez-Murano M.R., Wald M.R., Guelman L.R., Genaro A.M. Immune alterations induced by chronic noise exposure: comparison with restraint stress in BALB/c and C57Bl/6 mice. *J Immunotoxicol*. 2014; 11: 78–83. <https://doi.org/10.3109/1547691X.2013.800171>
35. Kim A., Sung J.H., Bang J.-H., Cho S.W., Lee J., Sim C.S. Effects of self-reported sensitivity and road-traffic noise levels on the immune system. *PloS One*. 2017; 12(10): e0187084. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187084>
36. Zinkin V.N., Svidovyi V.I., Akhmetzyanov I.M. Adverse effects of low-frequency acoustic vibrations on the respiratory system. *Profilakticheskaja i klinicheskaja medicina*. 2011; 3(40): 280–284 (in Russian).
37. She X., Gao X., Wang K., Yang H., Ma K., Cui B. et al. Effects of noise and low-concentration carbon monoxide exposure on rat immunity. *J. Occup. Health*. 2021; 63(1): e12235. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12235>
38. Angrini M.A., Leslie J.C. Vitamin C attenuates the physiological and behavioural changes induced by long-term exposure to noise. *Behav Pharmacol*. 2012; 23(2): 119–125. <https://doi.org/10.1097/FBP.0b013e32834f9f68>
39. Van Raaij M.T., Oortgiesen M., Timmerman H.H., Dobbe C.J., Van Loveren H. Time-Dependent Differential Changes of Immune Function in Rats Exposed to Chronic Intermittent Noise. *Physiol Behav*. 1996; 60: 1527–1533. [https://doi.org/10.1016/s0031-9384\(96\)00327-7](https://doi.org/10.1016/s0031-9384(96)00327-7)
40. Lycheva O.A., Galiev R.S. Influence of city noise on development of immediate-onset allergy. *Jekologija cheloveka*. 2012; 4: 11–15 (in Russian).
41. Galiev R.S., Droblenkov A.V., Galieva S.A. Structural specific features of the course of allergy in noise conditions. *Medicina i obrazovanie*. 2020; 2(6): 10–14 (in Russian).
42. Kurchevenko S.I., Boklazhenko E.V., Bodienkova G.M. Comparative analysis of the immune response of workers exposed to various production factors. *Gigiena i sanitarija*. 2018; 97(10): 905–909. <https://elibrary.ru/yocquh> (in Russian).
43. Fujioka M., Kanzaki S., Okano H.J., Masuda M., Ogawa K., Okano H. Proinflammatory cytokines expression in noise-induced damaged cochlea. *J. Neurosci. Res*. 2006; 83(4): 575–583. <https://doi.org/10.1002/jnr.20764>
44. Tan W.J., Thorne P.R., Vlajkovic S.M. Noise-induced cochlear inflammation. *World J Otorhinolaryngol*. 2013; 3(3): 89–99. <https://doi.org/10.5319/wjo.v3.i3.89>
45. Rai V., Wood M.B., Feng H., Schabla N.M., Tu S., Zuo J. The immune response after noise damage in the cochlea is characterized by a heterogeneous mix of adaptive and innate immune cells. *Sci. Rep*. 2020; 10(1): 15167. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72181-6>
46. Lin F., Zheng Y., Pan L., Zuo Z. Attenuation of noisy environment-induced neuroinflammation and dysfunction of learning and memory by minocycline during perioperative period in mice. *Brain Res. Bull*. 2020; 159: 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2020.03.004>
47. Cui B., Su D., Li W., She X., Zhang M., Wang R. et al. Effects of chronic noise exposure on the microbiome-gut-brain axis in senescence-accelerated prone mice: implications for Alzheimer's disease. *J. Neuroinflammation*. 2018; 15(1): 190. <https://doi.org/10.1186/s12974-018-1223-4>
48. Wang Q., Shen Y., Hu H., Fan C., Zhang A., Ding R et al. Systematic Transcriptome Analysis of Noise-Induced Hearing Loss Pathogenesis Suggests Inflammatory Activities and Multiple Susceptible Molecules and Pathways. *Front Genet*. 2020; 11: 968. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00968>
49. Dzhambov A.M., Dimitrova D.D. Lifetime exposure to self-reported occupational noise and prevalent rheumatoid arthritis in the National Health and Nutrition Examination Survey (2011–2012). *Int. J. Occup. Environ. Health*. 2017; 23(3): 215–221. <https://doi.org/10.1080/10773525.2018.1451809>
50. De Roos A.J., Koehoorn M., Tamburic L., Davies H.W., Brauer M. Proximity to traffic, ambient air pollution, and community noise in relation to incident rheumatoid arthritis. *Environ. Health Perspect*. 2014; 122: 1075–1080. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307413>
51. Baraeva R.A., Babanov S.A. Immune profile in vibration disease from exposure to local and general vibration. *Sanitarnyj vrach*. 2015; 7: 11–19 (in Russian).
52. Babanov S., Baraeva R. Cellular immunity indicators and cytokine profile in vibration disease. *Vrach*. 2017; 1: 53–56 (in Russian).
53. Kiryakov V.A., Pavlovskaya N.A., Lapko I.V., Bogatyreva I.A., Antoshina L.I., Oshkoderov O.A. Impact of occupational vibration on molecular and cell level of human body. *Med. truda i prom. ecol*. 2018; 9: 34–43. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-9-34-43> (in Russian).
54. Castro A.P., Aguas A.P., Grande N.R., Monteiro E., Castelo N.A. Increase in CD8⁺ and CD4⁺ T-lymphocytes in patients with vibroacoustic disease. *Aviat Space Environ Med*. 1999; 70 (3 Pt 2): A141–A144.
55. Kurchevenko S.I., Bodienkova G.M., Lakhman O.L. Comparative characteristics of the subpopulation composition of lymphocytes and heat shock protein in patients with vibration disease. *Rossiyskij immunologicheskij zhurnal*. 2019; 13(2–2): 846–848. <https://doi.org/10.31857/S102872210006677-9> (in Russian).
56. Antoshina L.I., Saarkoppel L.M., Pavlovskaya N.A. Influence of vibration on biochemical values characterizing oxidative metabolism, immunity, metabolism in muscular and connective tissues (review of literature). *Med. truda i prom. ecol*. 2009; 2: 32–37 (in Russian).
57. Azovskova T.A., Lavrentieva N.E. Change of immune homeostasis exposed to production vibration. *Medicinskij Sovet*. 2016; 10: 174–176. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2016-10-174-176> (in Russian).
58. Kurchevenko S.I., Bodienkova G.M. The pre-nosologic diagnostic of vibration disease. *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika*. 2017; 8: 482–485. <https://elibrary.ru/zfmcxh> (in Russian).
59. Azovskova T.A., Lavrentyeva N.E. About the role of immune system in the pathogenesis of vibration disease. *Farmateka*. 2016; 10: 14–16 (in Russian).
60. Simbirtsev A.S. *Cytokines in the pathogenesis and treatment of human diseases*. SPb: Foliant; 2018 (in Russian).
61. Serebrennikova S.N., Seminsky I.Zh. The role of cytokines in the inflammatory process. *Sibirskij medicinskij zhurnal*. 2008; 81(6): 5–8 (in Russian).

62. Kryuchkova E.N., Saarkoppel L.M., Yatsyna I.V. Features of immune response in chronic exposure to industrial aerosols. *Gigiena i sanitarija*. 2016; 95(11): 1058–1061. <https://elibrary.ru/xsnrrb> (in Russian).
63. Bodienkova G.M., Kurchevenko S.I. Neuroimmune endocrine relationships under exposure to local vibration in workers. *Med. truda i prom. ekol*. 2015; 4: 39–43 (in Russian).
64. Bodienkova G.M., Kurchevenko S.I. The relationship between the cytokine concentrations and levels of antibodies to neuronal proteins in workers who were exposed to vibration. *Nejrohimija*. 2016; 33(1): 85–89. <https://doi.org/10.7868/S1027813316010039> (in Russian).
65. Bodienkova G.M., Kurchevenko S.I. Assessment of inflammation mediators under exposure to the vibration in employees in dependence on pronouncement of the pathological process. *Gigiena i sanitarija*. 2017; 96(5): 460–462. <https://elibrary.ru/ysqdhb> (in Russian).
66. Boklazhenko E.V., Bodienkova G.M. Imbalance in lymphocyte composition and cytokine profile as a risk factor of vibration disease. *Analiz riska zdorov'ju*. 2022; 1: 140–145. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.1.15> (in Russian).
67. Bodienkova G.M., Kurchevenko S.I., Rusanova D.V. Neuroautoimmune processes in vibration disease. *Nejrohimija*. 2018; 35(3): 269–274. <https://doi.org/10.1134/S1027813318030020> (in Russian).
68. Rosado M.M., Simko M., Mattsson, M.O., Pioli C. Immune-Modulating Perspectives for Low Frequency Electromagnetic Fields in Innate Immunity. *Front. Public Health*. 2018; 6: 85. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00085>
69. Manna D., Ghosh R. Effect of radiofrequency radiation in cultured mammalian cells: A review. *Electromagn. Biol. Med*. 2016; 35: 265–301. <https://doi.org/10.3109/15368378.2015.1092158>
70. Szemerszky R., Zelena D., Barna I., Bardos G. Stress-related endocrinological and psychopathological effects of short- and long-term 50 Hz electromagnetic field exposure in rats. *Brain research bulletin*. 2010; 81(1): 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2009.10.015>
71. Klimek A., Rogalska J. Extremely Low-Frequency Magnetic Field as a Stress Factor — Really Detrimental? — Insight into Literature from the Last Decade. *Brain Sci*. 2021; 11: 174. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020174>
72. Piszczek P., Wójcik-Piotrowicz K., Gil K., Kaszuba-Zwoińska J. Immunity and electromagnetic fields. *Environ Res*. 2021; 200: 111505. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111505>
73. Pall M.L. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *J Cell Mol Med*. 2013; 17(8): 958–965. <https://doi.org/10.1111/jcmm.12088>
74. Yao C., Zhao L., Peng R. The biological effects of electromagnetic exposure on immune cells and potential mechanisms. *Electromagn Biol Med*. 2022; 41(1): 108–117. <https://doi.org/10.1080/15368378.2021.2001651>
75. Ichinose T.Y., Burch J.B., Noonan C.W., Yost M.G., Keefe T.J., Bachand A. et al. Immune markers and ornithine decarboxylase activity among electric utility workers. *J. Occup. Environ. Med*. 2004; 46(2): 104–112. <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000111963.64211.3b>
76. Boscolo P., Bergamaschi A., Di Sciascio M.B., Benvenuti F., Reale M., Di Stefano F. et al. Effects of low frequency electromagnetic fields on expression of lymphocyte subsets and production of cytokines of men and women employed in a museum. *Sci. Total Environ*. 2001; 270(1–3): 13–20. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00796-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00796-8)
77. Boscol P., Di Sciascio M.B., D'Ostilio S., Del Signore A., Reale M., Conti P. et al. Effects of electromagnetic fields produced by radiotelevision broadcasting stations on the immune system of women. *Sci Total Environ*. 2001; 273(1–3): 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00815-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00815-4)
78. Gobba F., Bargellini A., Bravo G., Scaringi M., Cauteruccio L., Borella P. Natural killer cell activity decreases in workers occupationally exposed to extremely low frequency magnetic fields exceeding 1 microT. *Int J Immunopathol Pharmacol*. 2009; 22(4): 1059–1066. <https://doi.org/10.1177/039463200902200422>
79. Bonhomme-Faivre L., Marion S., Bezie Y., Auclair H., Fredj G., Hommeau C. Study of human neurovegetative and hematologic effects of environmental low-frequency (50-Hz) electromagnetic fields produced by transformers. *Arch. Environ. Health*. 1998; 53(2): 87–92. <https://doi.org/10.1080/00039896.1998.10545968>
80. Tuschl H., Neubauer G., Schmid G., Weber E., Winker N. Occupational exposure to static, ELF, VF and VLF magnetic fields and immune parameters. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*. 2000; 13(1): 39–50.