



Ведущие факторы риска формирования патологии системы кровообращения и костно-мышечной системы у работников металлургического предприятия

Е.Л. Базарова^{1,2,3}, А.Н. Вараксин⁴, Т.А. Маслакова⁴, Е.Д. Константинова⁴, А.А. Федорук¹, И.С. Ошеров²

¹ ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья работников промпредприятий» Роспотребнадзора, ул. Попова, д. 30, г. Екатеринбург, 620014, Российская Федерация

² Частное медицинское учреждение «Медико-санитарная часть «Тирус», ул. Парковая, д. 1, г. Верхняя Салда, 624760, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Репина, д. 2, г. Екатеринбург, 620028, Российская Федерация

⁴ ФГБУН «Институт промышленной экологии» УрО РАН, ул. Софьи Ковалевской, д. 20, г. Екатеринбург, 620990, Российская Федерация

Резюме

Введение. Для разработки персонализированных мер профилактики общесоматической патологии у работающих необходима оценка степени влияния на здоровье всей совокупности разнородных факторов риска и выделение ключевых из них.

Цель исследования: выделить ведущие факторы риска формирования патологии системы кровообращения и костно-мышечной системы у работников металлургического предприятия.

Материалы и методы. Использовались обезличенные данные специальной оценки условий труда и производственного контроля кузнечных отделений кузнечно-прутковом и кузнечно-прессовом цехах металлургического предприятия по производству титановых сплавов за 2016–2020 годы; для определения наличия индивидуальных биологических и поведенческих факторов риска развития болезней системы кровообращения и заболеваний костно-мышечной системы – использовались обезличенные данные материалов периодического медицинского осмотра 2020 года 146 мужчин, занятых в профессии «кузнец на молотах и прессах». Средний возраст работников составил $35,9 \pm 8,8$ года (от 21 до 57 лет), средний стаж в профессии кузнеца – $18,9 \pm 9,7$ года (от 2 до 41 года). Для построения моделей прогнозирования вероятности возникновения патологии применен метод простой и множественной логистической регрессии, рассчитано отношение шансов с 95 % доверительным интервалом. Оценка качества моделей проводилась по критерию максимального правдоподобия.

Результаты. Определены факторы, на основе которых можно осуществить прогноз вероятности развития патологии. Распространенность болезней системы кровообращения имела статистически значимую связь с возрастом, стажем и индексом массы тела, экспозициями общей и локальной вибрации, шума, повышенной температуры, теплового излучения, тяжести трудового процесса; костно-мышечной системы – с теми же факторами риска, но с меньшей степенью связи.

Построены модели прогнозирования вероятности развития заболеваний системы кровообращения и костно-мышечной системы. Для болезней системы кровообращения модель с наилучшим качеством прогнозирования включала совместное влияние индекса массы тела и тяжести трудового процесса. Для болезней костно-мышечной системы – индекса массы тела и локальной вибрации.

Заключение. Применение метода множественной логистической регрессии при анализе статистических связей между воздействующими факторами риска и заболеваемостью работников в конкретных профессиях позволило выделить ведущие факторы с наибольшим вкладом в развитие патологии и может быть рекомендовано для решения практических задач медицины труда.

Ключевые слова: здоровье работников металлургии, факторы риска нарушений здоровья, логистическая регрессия.

Для цитирования: Базарова Е.Л., Вараксин А.Н., Маслакова Т.А., Константинова Е.Д., Федорук А.А., Ошеров И.С. Ведущие факторы риска формирования патологии системы кровообращения и костно-мышечной системы у работников металлургического предприятия // Здоровье населения и среда обитания. 2023. Т. 31. № 11. С. 50–57. doi: 10.35627/2219-5238/2023-31-11-50-57

Leading Risk Factors for Diseases of the Circulatory and Musculoskeletal Systems in Metallurgical Workers

Ekaterina L. Bazarova,^{1,2,3} Anatoly N. Varaksin,⁴ Tatiana A. Maslakova,⁴
Ekaterina D. Konstantinova,⁴ Anna A. Fedoruk¹, Ilya S. Oshero²

¹ Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, 30 Popov Street, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation

² "Tirus" Medical Unit, 1 Parkovaya Street, Verkhnyaya Salda, 624760, Russian Federation

³ Ural State Medical University, 3 Repin Street, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation

⁴ Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Sofia Kovalevskaya Street, Yekaterinburg, 620990, Russian Federation

Summary

Introduction: It is important to assess health impact of the entire set of heterogeneous risk factors and identify the key ones in order to develop personalized measures for prevention of non-occupational diseases in workers.

Objective: To establish the major risk factors for circulatory and musculoskeletal disorders in employees of a metallurgical enterprise.

Materials and methods: We used anonymized data from a special assessment of working conditions and production control of the forging departments of the forging-rod and forging-press shops of a metallurgical enterprise producing titanium alloys for the years 2016–2020. To determine the presence of personal biological and behavioral risk factors for diseases of the circulatory and musculoskeletal systems, we examined anonymized data of the periodic medical check-up conducted in

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-11-50-57>
Original Research Article

2020 of 146 male blacksmiths working with hammers and presses. The mean age of the workers was 35.9 ± 8.8 years (range: 21 to 57 years) and their mean length of current employment was 18.9 ± 9.7 years (range: 2 to 41 years). The method of simple and multiple logistic regression was used to build models for predicting the likelihood of a disease; odds ratios were calculated with a 95 % confidence interval. The quality of the models was assessed using the maximum likelihood estimation.

Results: We determined the factors allowing prediction of the disease likelihood. The prevalence of circulatory diseases correlated with age, length of employment, and the body mass index, whole-body and hand-arm vibration, noise exposure, high ambient temperature, thermal radiation, and heavy physical work. The prevalence of musculoskeletal diseases, in its turn, had a somewhat weaker statistically significant association with the same risk factors.

Models predicting the likelihood of circulatory and musculoskeletal diseases have been built. The best predictive model for circulatory diseases included the combined effect of the body mass index and heavy physical work while that for musculoskeletal disorders – of the body mass index and hand-arm vibration.

Conclusion: Multiple logistic regression used to analyze statistical relationships between work-related risk factors and disease prevalence in employees in specific occupations allowed identification of the leading factors contributing the most to the disease development and can be recommended for solving practical problems in occupational medicine.

Keywords: metallurgical workers, health risk factors, logistic regression.

For citation: Bazarova EL, Varaksin AN, Maslakova TA, Konstantinova ED, Fedoruk AA, Osherov IS. Leading risk factors for diseases of the circulatory and musculoskeletal systems in metallurgical workers. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2023;31(11):50–57. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2023-31-11-50-57

Введение. Прогрессирующее снижение численности населения трудоспособного возраста требует разработки научно обоснованного комплекса приоритетных мер, направленных на сохранение здоровья и трудового потенциала работающих и обоснования их эффективности в системе управления профессиональными рисками для здоровья [1, 2]. Оценка риска развития общесоматических заболеваний у работников при постоянном воздействии сверхнормативных уровней комплекса вредных производственных факторов – вибрации, тяжести и напряженности труда, показала высокую распространенность заболеваний костно-мышечной системы (КМС) и системы кровообращения, которая значимо повышается с увеличением стажа работы во вредных условиях труда, что позволило считать их производственно обусловленными [3]. Эти заболевания являются социально и экономически значимыми, ухудшающими продолжительность и качество жизни работников. Клинико-гигиенические исследования показали, что в условиях современного металлургического производства формирование болезней КМС способствует сочетанное воздействие нагревающего микроклимата и физических перегрузок, нагревающего микроклимата и шума на фоне тяжелого физического труда [4, 5]; а формированию болезней кровообращения – шум и химический фактор при графике работы с ночными сменами [6–9], фиброгенная пыль [10].

Оценка профессионального риска и разработка вектора профилактической стратегии в современной превентивно-предупредительно-партиципательно-персонифицированной концепции медицины труда предполагает учет всего комплекса разнородных факторов риска, влияющих на состояние здоровья работника, с выделением наиболее значимых [1, 11–15]. Для выполнения этой сложной и масштабной задачи необходим адекватный надежный математический инструмент анализа, позволяющий элиминировать влияние конфаундеров и выявлять статистически значимые связи [16]. Для этой цели перспективным является применение различ-

ных методов регрессионного анализа [6, 17–23]. Канонический множественный регрессионный анализ традиционно используется при выделении вклада отдельных вредных производственных факторов в развитие нарушений здоровья работников [24]. Метод множественной логистической регрессии нашел широкое применение в научных исследованиях в области гигиены населенных мест и промышленной экологии [25].

Цель работы: выделить ведущие факторы риска формирования патологии системы кровообращения и костно-мышечной системы у кузнецов на молотах и прессах, работающих на металлургическом предприятии.

Материалы и методы. Для определения уровня вредных производственных факторов в 2022–2023 гг. проведена оценка кузнечных отделений кузнечно-пруткового и кузнечно-прессового цехов металлургического предприятия по производству титановых сплавов.

Использовались обезличенные данные специальной оценки условий труда и производственного контроля за 2016–2020 годы. Для определения наличия индивидуальных биологических и поведенческих факторов риска развития болезней системы кровообращения и КМС использовались обезличенные данные материалов периодического медицинского осмотра 2020 года для 146 мужчин, занятых в профессии «кузнец на молотах и прессах».

Для анализа и построения математических моделей был применен подход к оценке профессионального риска, учитывающий расчет экспозиции вредных производственных факторов^{1,2,3} – количественной характеристики интенсивности и продолжительности их действия. Рассчитывалось ядро экспозиции (условная экспозиция, далее «экспозиция») как произведение стажа работы в контакте с фактором риска и его уровня (концентрации). В случае тяжести трудового процесса за уровень воздействия принимался кодируемый баллами класс условий труда. Классу условий труда 2 соответствовал 1 балл, классу 3.1 – 2 балла, классу 3.2 – 4 балла; фактор

¹ Профессиональный риск для здоровья работников (Руководство) / Под ред. Н.Ф. Измерова, Э.И. Денисова. М.: Тровант, 2003. 448 с.

² 2.2.2006–05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».

³ Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

не идентифицирован – 0 баллов. Статистическая обработка проводилась с помощью прикладного пакета Statistica for Windows v. 10. Рассчитаны значения отношения шансов (ОШ) для каждого фактора и 95 % доверительные интервалы (ДИ). ОШ определялось как отношение шанса иметь заболевание при значении фактора риска ($X + 1$) к шансу при значении фактора риска X .

С помощью логистической регрессии определены факторы, приводящие к росту распространенности патологии системы кровообращения и КМС, построены прогностические модели. Отобраны модели с наилучшим качеством прогнозирования. Оценка качества моделей проводилась по критерию максимального правдоподобия. Окончательный выбор моделей выполнен исходя из рассчитанного минимума величины функции потерь [19].

Логистическая регрессия – традиционный метод исследования статистических связей между объясняемой дихотомической переменной Y и объясняющей количественной переменной X [19–23]. В нашем случае объясняемой переменной выступала вероятность заболевания, объясняющими переменными – экспозиции производственных и индивидуальных факторов риска.

Результаты. При санитарном обследовании кузнечно-прессовых участков, анализе технической документации и материалов специальной оценки условий труда за 5 лет установлено, что основным источником вредных производственных факторов на рабочих местах кузнецов являлись гидравлические прессы, нагревательные печи и погрузчики. Работники подвергались сочетанному воздействию факторов риска различной природы. Уровни некоторых факторов превышали гигиенические нормативы. На кузнецов на молотах и прессах воздействовал пылегазовый микст из полиметаллического аэрозоля титановых сплавов, продуктов термодеструкции технологических смазок на основе графита, продуктов сгорания топлива в газовых печах и от работы внутрицехового транспорта. Уровни вредных производственных факторов на рабочих местах кузнецов различны, в зависимости от мощности прессов и степени их виброизоляции, степени механизации и автоматизации работ, звуко-, тепло-, шумо- и виброизоляции пультов управления, имеющихся санитарно-технических устройств – вентиляции, отопления, освещения; средств коллективной защиты; выполняемых функций в бригаде, определяющих степень удаления от места генерации вредных производственных факторов.

Значения вредных производственных факторов находились в следующих диапазонах: среднесменные концентрации титана в воздухе рабочей зоны 0–7,8 мг/м³ (класс условий труда 2); углерода пылей (коксов каменноугольных, пековых, нефтяных, сланцевых, далее по тексту – «кокс») 0–6,3 мг/м³ (классы 2–3.1); хром (VI) триоксида 0–0,015 мг/м³ (классы 2–3.1); максимально разовые концентрации масел минеральных нефтяных 0–5 мг/м³ (класс 2); углерод оксида 0–25 мг/м³ (классы 2–3.1); азота диоксида 0–1 мг/м³ (класс 2); никеля, никель оксидов (по никелю) 0–0,022 мг/м³ (класс 2); экви-

валентные уровни звука 0–101 дБА (классы 2–3.3); эквивалентные скорректированные уровни виброускорения локальной вибрации 0–128 дБ (классы 2–3.1); общей вибрации 0–116 дБ (классы 2–3.2); интенсивности теплового излучения 1000–2343 Вт/м² (классы 3.1–3.3); тяжести трудового процесса 0–4 баллов (классы 2–3.2). Значение фактора, равное нулю, принималось при отсутствии идентификации фактора на рабочем месте при специальной оценке условий труда или его присутствии в значениях ниже предела чувствительности применяемых методик. Максимальные значения ВПФ регистрировались на рабочих местах бригадиров кузнецов и их подручных в рабочей зоне непосредственно у прессов, и у кузнецов – водителей автопогрузчиков, а минимальные у кузнецов – операторов в закрытых пультах управления.

Итоговая оценка условий труда варьировала от класса 3.1 до 3.4 и соответствовала на рабочих местах бригадиров и первого подручного (непосредственно у прессов) классам 3.1–3.4, на погрузчиках – 3.2–3.3, в пультовых – 3.1. 11,1 % рабочих мест кузнецов кузнечно-прутковых цеха отнесены к классу 3.1; 33,3 % – к классу 3.2; 55,6 % – к классу 3.3. 20,0 % рабочих мест кузнецов кузнечно-прессового цеха отнесены к классу 3.2; 40,0 % – к классу 3.3; 40,0 % – к классу 3.4.

К индивидуальным факторам риска ухудшения здоровья можно отнести возраст, повышенный индекс массы тела (ИМТ), курение, гиподинамию, употребление алкоголя. Распространенность курения в профессиональной группе составляла 56,85 %, гиподинамии – 45,21 %, употребления алкоголя 1 раз в неделю и более – 38,36 %. Значения ИМТ находились в диапазоне от 19,0 до 44,0 кг/м², среднее значение – $27,8 \pm 4,9$ кг/м². Средний возраст работников составил $35,9 \pm 8,8$ года (от 21 до 57 лет), средний стаж в профессии кузнеца – $18,9 \pm 9,7$ года (от 2 до 41 года). Распространенность патологии системы кровообращения составила 15,75 %, КМС – 30,14 %.

В таблице 1 приведены значения ОШ с 95 % ДИ и p -значения для факторов риска, которые статистически значимо влияют на вероятность возникновения заболеваний системы кровообращения и КМС методом логистической регрессии.

При анализе однофакторных эффектов наиболее значимых факторов риска выявлено, что вероятность возникновения заболеваний системы кровообращения и КМС повышали: возраст, стаж, ИМТ, тепловое излучение, локальная вибрация, общая вибрация, производственный шум, повышенная температура и тяжесть трудового процесса.

Все факторы, включенные в табл. 1 (кроме тяжести трудового процесса) для болезней КМС показывают статистическую значимость отличия ОШ от единицы. Принимая во внимание значения ОШ и p -значения, можно сделать вывод о том, что влияние факторов на заболевания системы кровообращения оказывается статистически более значимым, чем на заболевания КМС. Влияния на заболевания системы кровообращения и КМС таких факторов, как курение, гиподинамия и употребление алкоголя выявлено не было.

Таблица 1. Отношение шансов развития патологии при наличии факторов риска

Table 1. Odds ratios of developing a disease related to the risk factors

Фактор риска / Risk factor	Болезни системы кровообращения / Diseases of the circulatory system		Болезни КМС / Diseases of the musculoskeletal system	
	ОШ (95% ДИ) / Odds ratio (95% CI)	p	ОШ (95% ДИ) / Odds ratio (95% CI)	p
Возраст / Age	1,186* (1,118–1,259)	< 0,00001	1,059* (1,021–1,098)	0,013
Стаж / Length of current employment	1,164* (1,102–1,229)	< 0,00001	1,057* (1,022–1,093)	0,0098
ИМТ / Body mass index	1,235* (1,124–1,358)	0,00012	1,115* (1,042–1,194)	0,0029
Тепловое излучение / Thermal radiation	1,054* (1,032–1,075)	0,000014	1,028* (1,012–1,043)	0,0025
Локальная вибрация / Hand-arm vibration	1,111* (1,061–1,165)	0,000016	1,055* (1,021–1,090)	0,0015
Общая вибрация / Whole-body vibration	1,142* (1,088–1,198)	< 0,00001	1,050* (1,019–1,082)	0,0014
Шум / Noise	1,172* (1,101–1,247)	< 0,00001	1,061* (1,018–1,106)	0,0079
Повышенная температура воздуха / High ambient temperature	1,707* (1,410–2,068)	< 0,00001	1,216* (1,081–1,369)	0,0089
Тяжесть трудового процесса / Heavy physical work	1,353* (1,187–1,543)	0,000014	1,078 (0,978–1,187)	0,17

Примечание: * – ОШ статистически значимо отличается от единицы, связь между распространенностью патологии и факторами риска статистически значима ($p < 0,05$); ДИ – доверительный интервал для ОШ.

Notes: * OR is significantly different from 1; the relationship between the risk factors and disease prevalence is statistically significant ($p < 0.05$); CI – confidence interval of the odds ratio.

На следующем этапе анализа были построены двухфакторные логистические модели для описания вероятности появления патологий системы кровообращения и КМС. Показателем качества моделей, по которому проводилось их сравнение, является функция потерь в методе максимального правдоподобия. Результаты представлены в таблице 2.

Функция потерь, представленная в таблице 2, характеризует «качество» двухфакторной модели логистической регрессии: чем ниже значение функции потерь, тем «лучше» модель описывает клиническо-гигиенические данные. На основании значений функции потерь имеется возможность сравнения различных моделей между собой (двухфакторные модели можно сравнить между собой или с однофакторными моделями). Например, функция

потерь для модели «Возраст + ИМТ» для заболеваний системы кровообращения равна 47,26. Для сравнения функция потерь для однофакторных моделей «Возраст» и ИМТ равны соответственно 51,58 и 61,71. Таким образом, объединение в одной модели двух факторов существенно снижает функцию потерь и улучшает качество модели. Отметим, что модель «Возраст + ИМТ» является лучшей двухфакторной моделью с участием возраста и производственных факторов, приведенных в таблице 1. Поэтому модели «Возраст» плюс производственный фактор в таблице 2 не приведены.

Для заболеваний системы кровообращения, согласно функции потерь, наилучшей двухфакторной моделью является модель «ИМТ + экспозиция тяжести трудового процесса», функция потерь равна

Таблица 2. Двухфакторные модели логистической регрессии для прогнозирования распространенности патологии системы кровообращения и КМС

Table 2. Two-factor models of logistic regression for predicting the prevalence of diseases of the circulatory and musculoskeletal systems

Сочетание факторов риска / Combination of risk factors	Болезни системы кровообращения / Diseases of the circulatory system		Болезни КМС / Diseases of the musculoskeletal system	
	Функция потерь / Loss function	p-значение для каждого фактора / p-value for each factor	Функция потерь / Loss function	p-значение для каждого фактора / p-value for each factor
Возраст + ИМТ / Age + Body mass index	47,26	< 0,00001 0,0068	89,11	0,087 0,015
ИМТ + экспозиция теплового излучения / Body mass index + Thermal radiation	52,79	0,0011 0,00013	87,25	0,013 0,012
ИМТ + экспозиция локальной вибрации / Body mass index + Hand-arm vibration	46,86	0,0041 0,000019	80,43	0,015 0,0071
ИМТ + экспозиция общей вибрации / Body mass index + Whole-body vibration	50,41	0,0055 0,000039	89,03	0,015 0,080
ИМТ + экспозиция шума / Body mass index + Noise exposure	49,96	0,0051 0,000032	88,71	0,017 0,056
ИМТ + экспозиция повышенной температуры воздуха / Body mass index + High ambient temperature	49,53	0,0057 0,000024	88,81	0,016 0,062
ИМТ + экспозиция тяжести трудового процесса / Body mass index + Heavy physical work	45,71	0,0021 0,00028	90,48	0,0060 0,59

45,71; этой модели незначительно уступают модели «ИМТ + Возраст» и «ИМТ + экспозиция локальной вибрации». Отметим, что во всех двухфакторных моделях для системы кровообращения (табл. 2), оба фактора являются статистически значимыми ($p < 0,05$).

Лучшая двухфакторная модель для заболеваний системы кровообращения имеет вид:

$$W = \exp(-8,049 + 0,162 \cdot \text{ИМТ} + 0,262 \cdot \text{ТПП}) / (1 + \exp(-8,049 + 0,162 \cdot \text{ИМТ} + 0,262 \cdot \text{ТПП})) \quad (1)$$

где ТПП – экспозиция тяжести трудового процесса.

Шанс получить заболевание системы кровообращения при увеличении ИМТ на единицу в модели множественной регрессии повышается в 1,176 раза (ДИ: 1,062–1,303). Шанс получить заболевание системы кровообращения при увеличении экспозиции тяжести трудового процесса на одну условную единицу повышается в 1,300 раза (ДИ: 1,132–1,493).

Для заболеваний КМС значимыми оказались лишь два производственных фактора: экспозиция теплового излучения и экспозиция локальной вибрации. Модель с включением экспозиции локальной вибрации имеет наименьшее значение функции потерь (80,43 ед.), т. е. является лучшей. Эта модель имеет вид:

$$W = \exp(-4,765 + 0,098 \cdot \text{ИМТ} + 0,047 \cdot \text{ЛВ}) / (1 + \exp(-4,765 + 0,098 \cdot \text{ИМТ} + 0,047 \cdot \text{ЛВ})), \quad (2)$$

где ЛВ – экспозиция локальной вибрации.

Шанс развития заболевания КМС при увеличении ИМТ на единицу в модели множественной регрессии увеличивается в 1,104 раза (ДИ: 1,020–1,194); при увеличении экспозиции локальной вибрации на 100 условных единиц – в 1,048 раза (ДИ: 1,013–1,084).

Была рассмотрена возможность построения моделей логистической регрессии с большим, чем два, числом предикторов. Для заболеваний системы кровообращения была построена трехфакторная модель с тремя статистически значимыми предикторами ($p < 0,05$).

$$W = \exp(-18,19 + 0,167 \cdot \text{ИМТ} + 0,475 \cdot \text{Возраст} - 0,264 \cdot \text{ОВ}) / (1 + \exp(-18,19 + 0,167 \cdot \text{ИМТ} + 0,475 \cdot \text{Возраст} - 0,264 \cdot \text{ОВ})) \quad (3)$$

где ОВ – экспозиция общей вибрации.

При добавлении предиктора «Возраст» наиболее значимым производственным фактором стала экспозиция общей вибрации (ранее была экспозиция тяжести трудового процесса). Функция потерь для модели (3) равна 44,50 (это меньше, чем у любой двухфакторной модели из таблицы 2). В то же время предиктор «Возраст» относится к неуправляемым факторам риска, ввиду чего практические профилактические меры на основании выводов данной модели будут нереализуемыми.

Для заболеваний КМС не обнаружено ни одной трехфакторной модели со всеми значимыми предикторами, качество которой (функция потерь) было бы выше качества двухфакторных моделей (табл. 2).

Обсуждение. Одной из актуальных проблем медицины труда является изучение особенностей формирования популяционно-значимой общесома-

тической патологии при комплексном, сочетанном и комбинированном действии факторов риска на организм с целью разработки профилактических мер по минимизации профессиональных рисков, сбережению здоровья работающих и сохранению трудового потенциала страны в условиях дефицита рабочих кадров [2, 15, 16]. Применение методов доказательной медицины при оценке наличия причинно-следственных связей между воздействующими факторами риска и заболеваемостью работников в конкретных профессиональных группах позволяет определять ведущие факторы с наибольшим вкладом в развитие патологии и предлагать научно обоснованный риск-ориентированный подход при разработке профилактической стратегии [1, 3, 11, 12, 24, 25].

В нашем исследовании по определению ведущих факторов риска формирования патологии у работников современного металлургического предприятия с использованием множественной логистической регрессии было обнаружено, что такие предикторы, как: возраст, стаж, ИМТ, экспозиции общей и локальной вибрации, шума, повышенной температуры, теплового излучения, тяжести трудового процесса – повышали вероятность развития болезней системы кровообращения и КМС. Причем если при анализе статистических связей методами однофакторного анализа наиболее сильное воздействие на вероятность развития обеих патологий имела повышенная температура воздуха рабочей зоны, то использование множественной логистической регрессии выявило, что наиболее сильное влияние на формирование болезней системы кровообращения оказало сочетание повышенного ИМТ и экспозиции тяжести трудового процесса, а болезней КМС – сочетание ИМТ и экспозиции локальной вибрации. Установленные в нашем исследовании связи между факторами риска и заболеваемостью позволяют предположить, что уменьшение экспозиций всех значимых факторов риска, как их комплекса, так и каждого фактора в отдельности, может стать значимым резервом снижения распространенности экономически и социально важной патологии в одной из ведущих профессий титанового производства – кузнеца на молотах и прессах.

В то же время для получения наибольшего оздоровительного эффекта рекомендуется профилактическое воздействие на индивидуальных факторы риска. В нашем исследовании подобным фактором риска является повышенная масса тела, которая может быть связана как с генетической предрасположенностью, так и образом жизни работающих. Применение метода множественной логистической регрессии подтвердило результативность и адекватность его использования для решения цели, поставленной в исследовании.

Результаты исследования в целом соответствуют литературным данным о значимом вкладе отдельных производственных и поведенческих факторов риска в развитие заболеваний КМС и системы кровообращения у металлургов и усилении влияния разнородных стрессоров при совместном воздействии на организм работающих [4–10, 13, 14]. В то же время нами получены новые данные,

характеризующие степень этого влияния в одной из самых распространенных профессий в промышленности с высоким профессиональным риском. Предложен конкретный алгоритм выделения ключевых факторов риска здоровью.

Достоинствами предлагаемого подхода анализа структуры риска нарушений здоровья работников с применением множественной логистической регрессии являются: количественная оценка степени связи факторов риска и нарушений здоровья, характеризующаяся коэффициентами регрессионного уравнения, наглядность, воспроизводимость ввиду применения пакетных продуктов широко известной в научном сообществе компьютерной программы.

Предложенный подход выделения из множества факторов риска ведущих, с наиболее тесной связью с заболеваемостью, может использоваться при проведении этиогенезного анализа при оценке профессионального риска. Его применение может иметь практическое значение в работе промышленных предприятий для определения приоритетов корпоративных программ укрепления здоровья, в деятельности органов санитарно-эпидемиологического надзора – при доказательстве наличия причинно-следственных связей между факторами риска и нарушениями здоровья работников с целью обоснования санкций в случае нарушений санитарного законодательства. Математические модели множественной логистической регрессии могут использоваться с прогностической целью при рассмотрении различных сценариев профилактического воздействия при задаваемых экспозициях факторов.

Допущением исследования является предположение, что выявленная у работников хроническая патология формировалась под воздействием уровней вредных производственных факторов, изученных за 5 лет, предшествующих медицинскому осмотру, тогда как значения производственных факторов риска в динамике при производственном и государственном контроле варьируют в более широких пределах, в зависимости от технологических условий и работы санитарно-технических устройств. Выводы исследования о ведущих факторах риска формирования патологии КМС и системы кровообращения справедливы для конкретной профессиональной группы с ее характерным сочетанием производственных и индивидуальных факторов риска.

Заключение

При анализе вклада факторов риска в развитие экономически и социально значимой хронической патологии у кузнецов автоматизированных кузнечно-прессовых комплексов современного металлургического предприятия с применением метода множественной логистической регрессии установлено, что наиболее сильное влияние на формирование патологии системы кровообращения оказало сочетание факторов повышенной массы тела и экспозиции тяжести трудового процесса, костно-мышечной системы – сочетание повышенной массы тела и экспозиции локальной вибрации с более тесной степенью связи факторов риска с болезнями системы кровообращения. Исходя из результатов, полученных в исследовании, реко-

мендуемой профилактической стратегией корпоративных оздоровительных программ по снижению заболеваемости болезнями КМС и системы кровообращения в профессиональной группе кузнецов является сочетание мер по улучшению условий труда (дальнейшая автоматизация и роботизация технологических процессов, уменьшение уровней и длительности воздействия локальной и общей вибрации, тяжести трудового процесса, других вредных производственных факторов на рабочих местах) и формированию здорового образа жизни (велнесс-программы по снижению массы тела: правильное питание, физическая активность).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шипилов И.В. Цифровизация процессов управления медико-гигиеническими рисками на производственных предприятиях. М.: Наш круг, 2023. 444 с.
2. Бухтияров И.В., Кузьмина Л.П., Пфаф В.Ф. Актуальные проблемы профилактики производственно обусловленной патологии. В кн. Бухтияров И.В., ред. Актуальные проблемы медицины труда: Сборник трудов института. Саратов: ООО «Амирит», 2018. С. 26–36.
3. Бухтияров И.В., Кузьмина Л.П., Головкова Н.П. и др. Разработка комплекса приоритетных мер по интеграции инструментов оценки условий труда для формирования уровней профессиональных рисков // Медицина труда и промышленная экология. 2022. Т. 62. № 9. С. 558–565. doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-9-558-565. EDN: WPQRDI.
4. Головкова Н.П., Лескина Л.М., Хелковский-Сергеев Н.А., Котова Н.И., Николаев С.П. Оценка профессионального риска развития хронических заболеваний костно-мышечной системы и соединительной ткани у металлургов. В кн.: Бухтияров И.В., ред. Актуальные проблемы медицины труда: Сборник трудов института. Саратов: ООО «Амирит», 2018. С. 351–358. doi: 10.31089/978-5-907035-94-2-2018-1-351-358. EDN: YKZTUT.
5. Масыгутова Л.М., Абдрахманова Е.Р., Ахметшина В.Т. и др. Особенности заболеваний костно-мышечной и периферической нервной систем у работников металлургических производств в современных условиях // Санитарный врач. 2021. № 11. С. 48–54. doi: 10.33920/med-08-2111-04. EDN: KIHACH.
6. Власова Е.М., Воробьева А.А., Пономарева Т.А. Особенности формирования кардиореспираторной патологии у работников титаномагниевого производств // Медицина труда и промышленная экология. 2017. № 9. С. 38.
7. Носов А.Е., Власова Е.М., Новоселов В.Г., Перевалов А.Я., Ухабов В.М., Агафонов А.В. Прогнозирование риска производственно обусловленной патологии у работников титано-магниевого производства // Медицина труда и промышленная экология. 2016. № 8. С. 10–15.
8. Шляпников А.М., Власова Е.М. Риск развития связанных с работой заболеваний системы кровообращения у работников титано-магниевого производств // Санитарный врач. 2015. № 10. С. 25–36.
9. Шайхлисламова Э.Р., Волгарева А.Д., Обухова М.П., Гимранова Г.Г., Каримова Л.К., Валеева Э.Т. Распространенность болезней системы кровообращения у работников «шумовых» профессий, занятых добычей полезных ископаемых, и их профессиональная обусловленность // Сибирский научный журнал. 2018. Т. 38. № 6. С. 137–144. doi: 10.15372/SSMJ20180620.
10. Обухова Т.Ю. Производственная обусловленность кардиоваскулярных заболеваний у работников, экспонированных к фиброгенной пыли // Медицина труда и промышленная экология. 2018. № 11. С. 56–60.

11. Землянова М.А., Зайцева Н.В., Кирьянов Д.А., Устинова О.Ю. Методические подходы к оценке и прогнозированию индивидуального риска здоровью при воздействии комплекса разнородных факторов для задач персонализированной профилактики // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 1. С. 34–43. doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-34-43. EDN: YWRNFT.
12. Зайцева Н.В., Трусев П.В., Кирьянов Д.А. Концептуальная математическая модель накопления нарушений функций организма, ассоциированных с факторами среды обитания // Медицина труда и промышленная экология. 2012. № 12. С. 40–45.
13. Бахтерева Е.В., Широков В.А., Вараксин А.Н. Комплексная оценка влияния производственных и индивидуальных факторов риска на развитие синдрома запястного канала // Медицина труда и промышленная экология. 2017. № 9. С. 20–21.
14. Шур П.З., Зайцева Н.В., Костарев В.Г., Лебедева-Несевря Н.А., Шляпников Д.М. Сочетанное влияние производственных и социальных факторов риска на здоровье работающих на предприятиях по производству изделий методом порошковой металлургии // Медицина труда и промышленная экология. 2012. № 12. С. 8–11.
15. Lötters F, Burdorf A, Kuiper J, Miedema H. Model for the work-relatedness of low-back pain. *Scand J Work Environ Health*. 2003;29(6):431–440. doi: 10.5271/sjweh.749
16. Susser E, Bresnahan M. Origins of epidemiology. *Ann N Y Acad Sci*. 2001;954:6–18. doi: 10.1111/j.1749-6632.2001.tb02743.x
17. Вараксин А.Н., Шалаумова Ю.В., Маслакова Т.А. Линейная и нелинейная регрессия в биологии и медицине: подход, основанный на скользящем среднем // Траектория исследований – человек, природа, технологии. 2022. № 3 (3). С. 19–38. doi: 10.56564/27825264_2022_3_19
18. Varaksin AN, Konstantinova ED, Maslakova TA, Shalaumova YV, Nasybullina GM. An analysis of the links between smoking and BMI in adolescents: A moving average approach to establishing the statistical relationship between quantitative and dichotomous variables. *Children (Basel)*. 2022;9(2):220. doi: 10.3390/children9020220
19. Afifi AA, Azen SP. *Statistical Analysis: A Computer Oriented Approach*. New York: Academic Press; 1972.
20. Hosmer DW Jr, Lemeshow S, Sturdivant RX. *Applied Logistic Regression*. New York: Wiley & Sons; 2000.
21. Shoukri MM, Pause CA. *Statistical Methods for Health Sciences*. 2nd ed. CRC Press; 1999.
22. Harrell FE Jr. *Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic and Ordinal Regression, and Survival Analysis*. Cham, Switzerland: Springer; 2015.
23. Peng CJ, Lee KL, Ingersoll GM. An introduction to logistic regression analysis and reporting. *J Educ Res*. 2002;96(1):3–14. doi: 10.1080/00220670209598786
24. Афанасьева Р.Ф., Прокопенко Л.В., Бессонова Н.А. и др. Разработка принципов и методов оценки комбинированного воздействия микроклиматических параметров, шума, вибрации, освещения и трудового процесса на организм человека. В кн.: Измеров Н.Ф., ред. Актуальные проблемы медицины труда. Сборник трудов института. М.: ГУ НИИ медицины труда РАМН, 2006. С. 156–269.
25. Привалова Л.И., Кацнельсон Б.А., Кузьмин С.В., Никонов Б.И., Гурвич В.Б., Кошелева А.А., Малых О.Л., Воронин С.А. Экологическая эпидемиология: принципы, методы, применение. Екатеринбург, 2003. 278 с.
1. Shipilov IV. [Digitalization of Medical and Hygienic Risk Management Processes at Industrial Enterprises.] Moscow: "Nash Krug" Publ., 2023. (In Russ.)
2. Bukhtiyarov IV, Kuzmina LP, Pfaf VF. [Urgent issues of occupational disease prevention.] In: Bukhtiyarov IV, ed. [Urgent Issues of Occupational Medicine: Collection of Works of the Institute]. Saratov: "Amirit" Publ., 2018:26–36. (In Russ.)
3. Bukhtiyarov IV, Kuzmina LP, Golovkova NP, et al. Development of a set of priority measures for the integration of tools for assessing working conditions for the formation of occupational risk levels. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2022;62(9):558–565. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-9-558-565
4. Golovkova NP, Leskina LM, Khelkovskii-Sergeev NA, Kotova NI, Nikolaev SP. Assessment of occupational risk of the musculoskeletal system and connective tissue chronic diseases among metallurgists. In: Lysukhin VN, ed. [Actual Problems of Occupational Medicine: Proceedings of the Institute.] Saratov: "Amirit" Publ.; 2018:351–358. (In Russ.) doi: 10.31089/978-5-907035-94-2-2018-1-351-358
5. Masyagutova LM, Abdrakhmanova ER, Akhmetshina VT, et al. Features of diseases of the musculoskeletal and peripheral nervous systems in workers of metallurgical production in modern conditions. *Sanitarnyy Vrach*. 2021;(11):48–54. (In Russ.) doi: 10.33920/med-08-2111-04
6. Vlasova EM, Vorobeva AA, Ponomareva TA. Peculiarities cardiovascular pathology formation in workers of titanium-magnesium production. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2017;(9):38. (In Russ.)
7. Nosov AE, Vlasova EM, Novoselov VG, Perevalov AY, Uhabov VM, Agafonov AV. Forecasting a risk of occupationally related diseases in workers engaged into titanium-magnesium production. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2016;(8):10–15. (In Russ.)
8. Shlyapnikov DM, Vlasova EM. The risk of developing work-related circulatory diseases in workers of titanium and magnesium production. *Sanitarnyy Vrach*. 2015;(10):25–36. (In Russ.)
9. Shaykhlislamova ER, Volgareva AD, Obukhova MP, Gimranova GG, Karimova LK, Valeeva ET. Prevalence of blood circulation diseases among workers exposed to occupational noise in mineral extraction and their work-relatedness. *Sibirskiy Nauchnyy Meditsinskiy Zhurnal*. 2018;38(6):137–144. (In Russ.) doi: 10.15372/SSMJ20180620
10. Obukhova TYu. Occupational conditionality of cardiovascular diseases in workers exposed to fibrogenic dust. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2018;(11):56–60. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2018-11-56-60
11. Zemlyanova MA, Zaitseva NV, Kiryanov DA, Ustinova OYu. Methodological approaches to evaluation and prediction of individual risk to health under the exposure to a complex of different factors for tasks of personalized prophylaxis. *Gigiena i Sanitariya*. 2018;97(1):34–43. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-1-34-43
12. Zaitseva NV, Trousov PV, Kiryanov DA. Mathematic concept model of accumulation of functional disorders associated with environmental factors. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2012;(12):40–45. (In Russ.)
13. Bakhtereva EV, Shirokov VA, Varaksin AN. Complex evaluation of industrial and individual risk factors influence on carpal tunnel syndrome development. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2017;(9):20–21. (In Russ.)
14. Shour PZ, Zaitseva NV, Kostarev VG, Lebedeva-Nesevrya NA, Shlyapnikov DM. Concomitant influence of occupational and social risk factors on health of workers engaged into powder metallurgy. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2012;(12):8–11. (In Russ.)
15. Lötters F, Burdorf A, Kuiper J, Miedema H. Model for the work-relatedness of low-back pain. *Scand J Work Environ Health*. 2003;29(6):431–440. doi: 10.5271/sjweh.749
16. Susser E, Bresnahan M. Origins of epidemiology. *Ann N Y Acad Sci*. 2001;954:6–18. doi: 10.1111/j.1749-6632.2001.tb02743.x
17. Varaksin AN, Shalaumova YV, Maslakova TA. Linear and nonlinear regression in biology and medicine: A moving average approach. *Traektoriya Issledovaniy – Chelovek,*

REFERENCES

1. Shipilov IV. [Digitalization of Medical and Hygienic Risk Management Processes at Industrial Enterprises.] Moscow: "Nash Krug" Publ., 2023. (In Russ.)
2. Bukhtiyarov IV, Kuzmina LP, Pfaf VF. [Urgent issues of occupational disease prevention.] In: Bukhtiyarov IV, ed. [Urgent

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-11-50-57>
Original Research Article

- Priroda, Tekhnologii*. 2022;(3(3)):19-38. (In Russ.) doi: 10.56564/27825264_2022_3_19
18. Varaksin AN, Konstantinova ED, Maslakova TA, Shalaumova YV, Nasybullina GM. An analysis of the links between smoking and BMI in adolescents: A moving average approach to establishing the statistical relationship between quantitative and dichotomous variables. *Children (Basel)*. 2022;9(2):220. doi: 10.3390/children9020220
 19. Afifi AA, Azen SP. *Statistical Analysis: A Computer Oriented Approach*. New York: Academic Press; 1972.
 20. Hosmer DW Jr, Lemeshow S, Sturdivant RX. *Applied Logistic Regression*. New York: Wiley & Sons; 2000.
 21. Shoukri MM, Pause CA. *Statistical Methods for Health Sciences*. 2nd ed. CRC Press; 1999.
 22. Harrell FE Jr. *Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic and Ordinal Regression, and Survival Analysis*. Cham, Switzerland: Springer; 2015.
 23. Peng CJ, Lee KL, Ingersoll GM. An introduction to logistic regression analysis and reporting. *J Educ Res*. 2002;96(1):3-14. doi: 10.1080/00220670209598786
 24. Afanasyeva RF, Prokopenko LV, Bessonova NA, et al. [Development of principles and methods for assessing the combined effects of microclimate parameters, noise, vibration, lighting, and labor process on the human body.] In: Izmerov NF, ed. [Actual Problems of Occupational Medicine: Proceedings of the Institute.] Moscow: State Research Institute of Occupational Medicine of the Russian Academy of Medical Sciences; 2006:156-269. (In Russ.)
 25. Privalova LI, Katsnelson BA, Kuzmin SV, et al. *Environmental Epidemiology: Principles, Methods, Application*. Yekaterinburg; 2003. (In Russ.)

Сведения об авторах:

✉ **Базарова** Екатерина Ливерьевна – к.м.н., старший научный сотрудник отдела медицины труда ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья работников промпредприятий» Роспотребнадзора; врач по гигиене труда частного медицинского учреждения «Медико-санитарная часть “Тирус”»; доцент кафедры гигиены и экологии ФБГОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России; e-mail: bazarova_el@vsmo-avisma.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7377-6024>.

Вараксин Анатолий Николаевич – д.физ.-мат.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории математического моделирования в экологии и медицине Института промышленной экологии УрО РАН; e-mail: varaksinanatolij2@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2689-3006>.

Маслакова Татьяна Анатольевна – к.физ.-мат.н., научный сотрудник лаборатории математического моделирования в экологии и медицине Института промышленной экологии УрО РАН; e-mail: masta@ecko.uran.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-9027>.

Константинова Екатерина Даниловна – к.физ.-мат.н., старший научный сотрудник, заведующая лабораторией математического моделирования в экологии и медицине Института промышленной экологии УрО РАН; e-mail: konstantinovaekateri@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2260-744X>.

Федорук Анна Алексеевна – к.м.н., руководитель отдела медицины труда ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья работников промпредприятий» Роспотребнадзора; e-mail: annaf@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6354-0827>.

Ошеров Илья Семенович – главный врач частного медицинского учреждения «Медико-санитарная часть “Тирус”»; заслуженный врач Российской Федерации; e-mail: osherov_is@vsmo-avisma.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0408-4216>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: Вараксин А.Н., Базарова Е.Л., Маслакова Т.А., Константинова Е.Д.; сбор данных: Базарова Е.Л., Ошеров И.С.; анализ и интерпретация результатов: Вараксин А.Н., Маслакова Т.А., Константинова Е.Д., Базарова Е.Л., Федорук А.А., Ошеров И.С.; подготовка рукописи: Базарова Е.Л., Вараксин А.Н., Маслакова Т.А., Константинова Е.Д., Федорук А.А. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: Проведение исследований одобрено локальным этическим комитетом при ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора (протокол № 9 от 23 декабря 2019).

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

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

Статья получена: 28.08.23 / Принята к публикации: 10.11.23 / Опубликовано: 30.11.23

Author information:

✉ Ekaterina L. **Bazarova**, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Department of Occupational Medicine, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; Occupational Health Physician, “Tirus” Medical Unit; Assoc. Prof., Department of Hygiene and Ecology, Ural State Medical University; e-mail: bazarova_el@vsmo-avisma.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7377-6024>.

Anatoly N. **Varaksin**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Chief Researcher, Laboratory of Mathematical Modeling in Ecology and Medicine, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: varaksinanatolij@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2689-3006>.

Tatiana A. **Maslakova**, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Researcher, Laboratory of Mathematical Modeling in Ecology and Medicine, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: masta@ecko.uran.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-9027>.

Ekaterina D. **Konstantinova**, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher, Head of the Laboratory of Mathematical Modeling in Ecology and Medicine, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: konstantinovaekateri@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2260-744X>.

Anna A. **Fedoruk**, Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Occupational Medicine, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers; e-mail: annaf@ymrc.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6354-0827>.

Ilya S. **Osherov**, Honored Doctor of the Russian Federation, Chief Physician, “Tirus” Medical Unit; e-mail: osherov_is@vsmo-avisma.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0408-4216>.

Author contributions: study conception and design: Varaksin A.N., Bazarova E.L., Maslakova T.A., Konstantinova E.D.; data collection: Bazarova E.L., Osherov I.S.; analysis and interpretation of results: Varaksin A.N., Maslakova T.A., Konstantinova E.D., Bazarova E.L., Fedoruk A.A., Osherov I.S.; draft manuscript preparation: Bazarova E.L., Varaksin A.N., Maslakova T.A., Konstantinova E.D., Fedoruk A.A. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Ethics approval was provided by the institutional Ethics Committee of the Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers (protocol No. 9 of December 23, 2019).

Funding: This research received no external funding.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: August 28, 2023 / Accepted: November 10, 2023 / Published: November 30, 2023