

© Коллектив авторов, 2022

УДК 612.1:613.6.02:613.65

**Оценка адаптационного риска у лиц, работающих во вредных условиях труда (на примере металлургического производства)**М.М. Некрасова¹, И.В. Федотова¹, А.В. Мелентьев², Е.Ф. Черникова¹, Т.Н. Васильева¹,
И.А. Потапова¹, В.П. Телюпина¹, А.А. Мельникова¹, Е.В. Моисеева¹¹ ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии»
Роспотребнадзора, ул. Семашко, д. 20, г. Нижний Новгород, 603105, Российская Федерация² ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора,
ул. Семашко, д. 2, г. Мытищи, Московская обл., 141014, Российская Федерация**Резюме****Введение.** У работников металлургического производства определяется повышенная нагрузка на организм воздействием комплекса производственных стресс-факторов.**Цель работы** – провести оценку адаптационного риска у металлургов в зависимости от стажа работы во вредных условиях труда, выявить маркеры нарушения нейрогуморальной регуляции сердечного ритма, указывающие на повышенный риск развития сердечно-сосудистых заболеваний у малостажированных работников.**Материалы и методы.** В исследование было включено 222 металлурга (мужчины, средний возраст – 38,8 ± 0,39 года, средний стаж – 12,9 ± 0,43 года). Оценка показателей функционального состояния работников выполнялась общеклиническими, биохимическими методами. Расчет адаптационного риска проводился по методике Баевского Р.М. с использованием параметров вариабельности сердечного ритма. Оценивали корреляции между адаптационным риском и показателями функционального состояния, в том числе уровнями меди, цинка, селена и формальдегида в крови.**Результаты.** При оценке параметров вариабельности сердечного риска в зависимости от стажа было установлено достоверное сокращение общей мощности спектра ($r = -0,28, p = 0,000037$), доли парасимпатической регуляции (pNN50: $r = -0,295, p = 0,000012$) и увеличение доли гуморально-метаболических влияний (VLF %: $r = 0,16, p = 0,02$). Зарегистрированный адаптационный риск достоверно взаимосвязан с повышением уровней артериального давления ($r = 0,3, p = 0,0000$; $r = 0,25, p = 0,0003$), глюкозы ($r = 0,23, p = 0,001$), общего холестерина ($r = 0,21, p = 0,002$), меди в сыворотке ($r = 0,22, p = 0,001$). Одним из признаков неудовлетворительной адаптации у малостажированных работников является увеличение адаптационного риска более 2 у. е., повышение электрической нестабильности сердца.**Заключение.** Адаптационный риск у металлургов имеет прямую зависимость от стажа и ассоциируется с неблагоприятными изменениями в организме работников. Среди работников со стажем менее 10 лет регистрируются признаки неудовлетворительной адаптации к производственному стрессу, что является основанием для формирования групп риска нарушения здоровья среди малостажированных металлургов.**Ключевые слова:** условия труда, производственный стресс, функциональное состояние, металлургическое производство.**Для цитирования:** Некрасова М.М., Федотова И.В., Мелентьев А.В., Черникова Е.Ф., Васильева Т.Н., Потапова И.А., Телюпина В.П., Мельникова А.А., Моисеева Е.В. Оценка адаптационного риска у лиц, работающих во вредных условиях труда (на примере металлургического производства) // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 10. С. 48–57. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-10-48-57>**Сведения об авторах:**✉ **Некрасова** Марина Михайловна – к.б.н., доцент, старший научный сотрудник лаборатории психофизиологических и здоровьесберегающих технологий отдела гигиены ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора; e-mail: nmarya@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0834-7933>.**Федотова** Ирина Викторовна – д.м.н., доцент, главный научный сотрудник, заведующий отделом гигиены ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора; e-mail: irinavfed@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1743-8290>.**Мелентьев** Андрей Владимирович – к.м.н., ведущий научный сотрудник, врач-кардиолог, заведующий научно-консультативным отделением с многопрофильным дневным стационаром ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора; e-mail: amedik@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1074-0841>.**Черникова** Екатерина Федоровна – к.м.н., старший научный сотрудник отдела гигиены ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора; e-mail: chernikova_ef@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0565-4551>.**Васильева** Татьяна Николаевна – к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории психофизиологических и здоровьесберегающих технологий отдела гигиены ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора; e-mail: tatiana.vasilvas@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0453-1098>.**Телюпина** Виктория Павловна – младший научный сотрудник лаборатории психофизиологических и здоровьесберегающих технологий отдела гигиены ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора; e-mail: telyupina.v@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0626-6857>.**Потапова** Ирина Александровна – к.б.н., старший научный сотрудник, заведующий лабораторией химико-аналитических исследований отдела гигиены ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора; e-mail: yes-ia@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5855-5410>.**Мельникова** Анна Александровна – младший научный сотрудник лаборатории химико-аналитических исследований отдела гигиены ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора; e-mail: ania.me@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1068-7075>.**Моисеева** Евгения Витальевна – научный сотрудник лаборатории химико-аналитических исследований отдела гигиены ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора; e-mail: recept@nniigr.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6916-3826>.**Информация о вкладе авторов:** редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи: Федотова И.В.; концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, редактирование, ответственность за целостность всех частей статьи: Некрасова М.М., Мелентьев А.В., Черникова Е.Ф., Васильева Т.Н., Потапова И.А.; сбор и обработка данных: Телюпина В.П., Мельникова А.А., Моисеева Е.В. Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.**Соблюдение этических стандартов:** Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора (протокол № 1 от 26.01.2021), проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2013 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ № 266 от 19.06.2003. Все обследуемые подписали информированное согласие на участие в исследовании.**Финансирование:** исследование проведено без спонсорской поддержки.**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 22.09.22 / Принята к публикации: 03.10.22 / Опубликована: 14.10.22

Assessment of Adaptive Risk for Workers Exposed to Occupational Hazards in the Metallurgical Industry

Marina M. Nekrasova,¹ Irina V. Fedotova,¹ Andrey V. Melentev,² Ekaterina F. Chernikova,¹
Tatiana N. Vasilyeva,¹ Irina A. Potapova,¹ Victoria P. Telyupina,¹
Anna A. Mel'nikova,¹ Evgeniya V. Moiseeva¹

¹ Nizhny Novgorod Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases,
20 Semashko Street, Nizhny Novgorod, 603005, Russian Federation

² F.F. Erisman Federal Research Center for Hygiene, 2 Semashko Street,
Mytishchi, Moscow Region, 141014, Russian Federation

Summary

Introduction: Metallurgical workers are heavily exposed to a combination of occupational stress factors.

Objective: To assess the adaptive risk for metallurgists depending on duration of work under hazardous working conditions, to identify markers of impaired neurohumoral regulation of the heart rate indicating an increased risk of cardiovascular diseases in workers with little work experience.

Materials and methods: The study included 222 male metallurgists with the mean age of 38.8 ± 0.39 years and the mean duration of work of 12.9 ± 0.43 years. Parameters of the functional state were assessed by general clinical and biochemical methods. The adaptive risk was estimated using heart rate variability indices according to the method by R.M. Baevsky. We then analyzed the relationship between the adaptive risk and the functional state parameters, including blood levels of copper, zinc, selenium, and formaldehyde.

Results: When assessing heart rate variability parameters depending on the length of service, a significant reduction in the total power of the spectrum ($r = -0.28, p = 0.00037$) and the share of parasympathetic regulation (pNN50: $r = -0.295, p = 0.00012$) against an increase in the share humoral-metabolic influences (VLF %: $r = 0.16, p = 0.02$) were established. The registered adaptive risk correlated with an increase in blood pressure ($r = 0.3, p = 0.0000$; $r = 0.25, p = 0.0003$), glucose ($r = 0.23, p = 0.001$), total cholesterol ($r = 0.21, p = 0.002$), and serum copper ($r = 0.22, p = 0.001$). One of the signs of unsatisfactory adaptation in workers with little experience was an increase in the adaptive risk by more than 2 CU and in the electrical instability of the heart.

Conclusion: The adaptive risk in metallurgists correlates with the length of service and is associated with adverse health changes in workers. Among the metallurgists with less than 10 years of experience, signs of poor adaptation to industrial stress are registered, which is the basis for forming groups at risk of health disorders among such workers.

Keywords: working conditions, work stress, functional state, metallurgical production.

For citation: Nekrasova MM, Fedotova IV, Melentev AV, Chernikova EF, Vasilyeva TN, Potapova IA, Telyupina VP, Mel'nikova AA, Moiseeva EV. Assessment of adaptive risk for workers exposed to occupational hazards in the metallurgical industry. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(10):48-57. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-10-48-57>

Author information:

✉ Marina M. Nekrasova, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Senior Researcher, Laboratory of Psychophysiological and Health-Saving Technologies, Hygiene Department, Nizhny Novgorod Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: nmaria@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0834-7933>.

Irina V. Fedotova, Dr. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Chief Researcher, Head of Hygiene Department, Nizhny Novgorod Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: irinavfed@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1743-8290>.

Andrey V. Melentev, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, cardiologist, Head of Scientific and Consultative Department with Multidisciplinary Day Hospital, F.F. Erisman Federal Research Center for Hygiene; e-mail: amedik@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1074-0841>.

Ekaterina F. Chernikova, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Hygiene Department, Nizhny Novgorod Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: chernikova_ef@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0565-4551>.

Tatiana N. Vasilyeva, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Psychophysiological and Health-Saving Technologies, Hygiene Department, Nizhny Novgorod Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: tatiana.vasilvas@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0453-1098>.

Victoria P. Telyupina, Junior Researcher, Laboratory of Psychophysiological and Health-Saving Technologies, Hygiene Department, Nizhny Novgorod Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: telyupina.v@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0626-6857>.

Irina A. Potapova, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Head of the Chemical Laboratory, Hygiene Department, Nizhny Novgorod Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: yes-ia@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5855-5410>.

Anna A. Mel'nikova, Junior Researcher, Chemical Laboratory, Hygiene Department, Nizhny Novgorod Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: ania.me@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1068-7075>.

Evgeniya V. Moiseeva, Researcher, Chemical Laboratory, Hygiene Department, Nizhny Novgorod Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases; e-mail: recept@nniigp.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6916-3826>.

Author contributions: editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article: Fedotova I.V.; study conception and design, conduction of the study, data collection, processing, and statistical analysis, draft manuscript preparation, editing, responsibility for the integrity of all parts of the article: Nekrasova M.M., Melentev A.V., Chernikova E.F., Vasilyeva T.N., Potapova I.A.; data collection and processing: Telyupina V.P., Mel'nikova A.A., Moiseeva E.V. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Nizhny Novgorod Research Institute of Hygiene and Occupational Diseases (Minutes No. 1 of January 26, 2021), conducted in accordance with the Declaration of Helsinki of the World Medical Association on ethical principles for medical research involving humans, as amended in 2013, and the Rules of clinical practice in the Russian Federation approved by Order No. 266 of the Russian Ministry of Health dated June 19, 2003. All subjects signed an informed consent to participate in the study.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Received: September 22, 2022 / Accepted: October 3, 2022 / Published: October 14, 2022

Введение. Сохранение и укрепление здоровья работающего населения является одной из приоритетных задач государственной политики в Российской Федерации. Особое внимание уделяется разработке системы профилактических мероприятий, направленных на предупреждение профессиональных и производственно обусловленных заболеваний у лиц, занятых во вредных и (или) опасных условиях труда. Специалисты

медицины труда указывают на то, что у работников при воздействии комплекса вредных производственных факторов, уровни которых превышают нормативные значения, формируются неблагоприятные функциональные состояния, характеризующиеся как хронический или острый производственный стресс [1, 2]. Производственный стресс, оказывая многостороннее воздействие на организм, вызывает значимые изменения

в состоянии сердечно-сосудистой, нервной, гематологической, иммунной систем, при этом степень стрессирующего воздействия зависит как от дозовой нагрузки, так и от функционального состояния ведущих регуляторных систем организма и его индивидуальной чувствительности к раздражителю [3]. При воздействии производственных факторов отмечают формирование патологического процесса, который происходит стадийно: начальные адаптационные реакции сменяются стадией компенсации, затем стадией обратимых изменений, и только после этого возникает повреждение структур. Считают, что поиск ранних маркеров нарушений компенсаторных механизмов является одним из эффективных путей профилактики профессиональных и производственно обусловленных заболеваний [4].

В настоящее время признается актуальной для прогноза патологических состояний у работников концепция адаптационного риска на основе оценки вероятности развития нарушений в системе гомеостаза, в том числе путем измерения параметров variability сердечного ритма (BCP) [5, 6].

У работников металлургического производства определяется повышенная нагрузка на организм воздействием комплекса производственных стресс-факторов: шум, нагревающий микроклимат, интенсивное физическое напряжение, сменный режим труда, вредные вещества и пыль в воздухе рабочей зоны. Учитывая несомненную роль вредных факторов, особенно производственного шума и токсикантов, в повышении сердечно-сосудистого риска, что было показано в работах исследователей [7–9], важным является изучение и характеристика систем гомеостаза организма у представителей данной профессиональной группы с различным стажем работы для раннего выявления компенсаторных нарушений.

Актуальность исследований также связана с тем, что, по данным ряда специалистов, несмотря на модернизацию современных металлургических предприятий, наряду с высоким уровнем профессиональной заболеваемости отмечается увеличение случаев смерти на рабочем месте вследствие заболеваний общего характера. В 90 % это обусловлено болезнями сердечно-сосудистой системы (ССС), при этом средний возраст умерших составил меньше 50 лет, что указывает на необходимость разработки и принятия эффективных санитарно-гигиенических и медико-биологических мер по сохранению здоровья и трудового долголетия металлургов [10–12].

Наряду с оценкой адаптационного потенциала особое значение имеет поиск способов повышения резистентности организма к вредным факторам производственной среды, в связи с этим представляет интерес изучение роли микроэлементов в регуляции адаптационных реакций. Наибольшее внимание заслуживают такие микроэлементы, как медь, цинк, селен, так как имеются сведения об участии их в антиоксидантной и иммунной защите организма, патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний [13–15].

Цель – провести оценку функционального состояния и адаптационного риска у работников основных профессий металлургического производства в зависимости от стажа работы во вредных условиях труда, выявить маркеры нарушения нейрогуморальной регуляции сердечного ритма, указывающие на повышенный риск развития сердечно-сосудистых заболеваний у малостажированных работников.

Материалы и методы. Исследование было проведено среди 222 рабочих металлургического производства полного цикла (мужчины, средний возраст – $38,8 \pm 0,39$ года, средний стаж – $12,9 \pm 0,43$ года). В группу обследованных входили представители следующих профессий: кузнец на молотах и прессах ($n = 31$); вальцовщик стана горячей прокатки ($n = 24$); мастер смены на горячем участке работ ($n = 22$); нагреватель металла ($n = 12$); обработчик поверхностных пороков металла ($n = 10$); правильщик проката и труб ($n = 8$); разлищик стали ($n = 6$); резчик холодного металла ($n = 19$); сталевар электропечи ($n = 25$); термист ($n = 10$); токарь ($n = 39$); шихтовщик ($n = 7$); сварщик ($n = 3$); машинист мостового крана ($n = 4$); газорезчик ($n = 2$). С целью изучения особенностей динамики показателей функционального состояния (ФС) металлургов в зависимости от стажа проводили сравнительный анализ по 3 группам, возрастно-стажевые характеристики работников представлены в табл. 1.

Для определения ранних маркеров компенсаторных нарушений также были проанализированы показатели ФС у работников 1-й стажевой группы при сравнительном анализе с учетом повышенного и нормального уровня артериального давления (ПАД и НАД).

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора (ФБУН ННИИГП Роспотребнадзора, протокол № 1 от 26.01.2021),

Таблица 1. Распределение работников металлургического производства по возрасту и стажу

Table 1. Distribution of the metallurgical workers by age and work experience

Группы по стажу / Groups by work experience	Средний стаж, лет / Average experience, years ($M \pm SE$)	Средний возраст, лет / Average age, years ($M \pm SE$)	Распределение по возрасту, n (%) / Age distribution, n (%)	
			≤ 39 лет / years	40–49 лет / years
1-я группа (0–9 лет) / Group 1 (0–9 years), $n = 82$	$6,6 \pm 0,21$	$35,96 \pm 0,69$	55 (67,1)	27 (32,9)
2-я группа (10–19 лет) / Group 2 (10–19 years), $n = 88$	$13,2 \pm 0,31^*$	$38,67 \pm 0,55^*$	54 (61,4)	34 (38,6)
3-я группа (20–29 лет) / Group 3 (20–29 years), $n = 52$	$22,2 \pm 0,32^{\#}$	$43,31 \pm 0,38^{\#}$	3 (5,8)	49 (94,2)

Примечание: * – $p < 0,05$ – статистически значимые различия с 1-й группой; # – $p < 0,05$ – статистически значимые различия со 2-й группой.

Notes: * $p < 0.05$ compared to Group 1; # $p < 0.05$ compared to Group 2.

проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками от 2013 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ № 266 от 19.06.2003. Работа выполнялась в соответствии с планом основных научных мероприятий института; обследуемые были проинформированы о характере, целях исследования и дали письменное согласие на участие в нем.

Условия труда металлургов анализировали по материалам специальной оценки условий труда (СОУТ), проводили опрос работников по специализированной анкете, разработанной сотрудниками ФБУН ННИИГП Роспотребнадзора «Комплексная оценка факторов, влияющих на здоровье работников», которая содержит 32 вопроса закрытого и открытого типа, касающихся оценки факторов производственной среды и трудового процесса, уровня стресса, самооценки здоровья, образа жизни. В рамках периодического медицинского осмотра (ПМО) в центре профпатологии ФБУН ННИИГП Роспотребнадзора всем обследованным регистрировали антропометрические показатели, включающие возраст, пол, рост, массу тела, окружность талии (ОТ), индекс массы тела (ИМТ). Проводили измерение артериального давления (АД), электрокардиографию (ЭКГ), определение уровня общего холестерина (ХС), глюкозы натощак, уровень насыщения крови кислородом (SpO_2), выполнялся общий анализ крови с помощью стандартных методик. В сыворотке и моче работающих проводилась оценка уровней металлов адаптогенов (меди, цинка, селена), в крови – формальдегида (ФА) в соответствии с аттестованными по ГОСТ 8.563-2009 методиками с использованием метода атомно-абсорбционной спектроскопии.

Состояние вегетативной нейрогуморальной регуляции анализировали по параметрам вариабельности сердечного ритма (ВСР) с использованием электрокардиографа «ВНС-Ритм» и программного обеспечения «Поли-Спектр-Ритм» («Нейрософт», Россия). Из временных показателей ВСР анализировали частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин), стандартное отклонение массива нормальных (NN) RR-интервалов (SDNN, мс). Были учтены показатели, которые характеризуют автономный контур управления сердечным ритмом (СР) и вагусную активность вегетативной нервной системы (ВНС): квадратный корень суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD, мс); % пар кардиоинтервалов, различающихся более чем на 50 мс к общему числу в массиве (pNN50, %). Рассматривали частотные параметры ВСР: общую мощность спектра ВСР (TP) в диапазоне 0,003–0,400 Гц, которая отражает суммарную активность систем регуляции СР; мощность очень низких частот (VLF) (0,003–0,040 Гц) – показывает влияние медленного нейрогуморального и метаболического звена регуляции; мощность низких частот (LF) (0,04–0,15 Гц) – является индикатором активности симпатического отдела ВНС; мощность высоких частот (HF) (0,15–0,4 Гц) – индикатор парасимпатического отдела. Также оценивали индекс вегетативного баланса – (LF/HF) и структуру спектра

по соотношению 3 компонентов в процентах (VLF %, LF %, HF %), Анализировали основные параметры кардиоинтервалографии (КИГ): Мо (мода) – наиболее часто встречающееся в данном динамическом ряде значение кардиоинтервала; Амо (амплитуда моды) – число кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, в % к объему выборки; ВР (вариационный размах) – разность между максимальным и минимальным значением RR-интервалов; индекс напряжения регуляторных систем (стресс-индекс – SI), характеризующих активность механизмов симпатической регуляции, состояние центрального и автономного контура регуляции [5].

На основе зарегистрированных показателей ВСР по методике Р.М. Баевского (2016) вычисляли адаптационный риск, степень напряжения (СН) и функциональные резервы (ФР) регуляторных систем при использовании дискриминантной модели развития функциональных состояний (норма, донозологические, преморбидные, патологические):

$$СН = 0,140 \times ЧСС - 0,165 \times SI - 1,293 \times pNN50 - 0,623 \times HF \%, \quad (1)$$

$$ФР = -0,112 \times ЧСС - 1,006 \times SI - 0,047 \times pNN50 - 0,086 \times HF \%. \quad (2)$$

Статистическая обработка полученных данных была проведена при помощи стандартных программ MS Excel и пакета прикладных статистических программ Statistica 12.0. Для характеристики величин с нормальным распределением (по критерию Шапиро – Уилка, Shapiro – Wilk test) использовали средние значения (M) и стандартные ошибки ($\pm SE$), для остальных показателей – медиану (Me), верхний и нижний квартили (Q25–Q75). Статистический анализ включал описательные статистики, сравнение независимых выборок по критерию Манна – Уитни (Mann – Whitney U-test), дисперсионный анализ, исследование корреляционной взаимосвязи с помощью коэффициента Спирмена (Spearman's rank correlation coefficient). Статистически значимым принимали уровень различий при $p \leq 0,05$.

Результаты. По результатам СОУТ все обследуемые работники трудятся во вредных условиях труда: на 35 % рабочих мест класс условий труда (КУТ), по итоговой оценке, соответствует вредному третьей степени (3.3), на 42 % – вредному второй степени (3.2) и на 23 % – вредному первой степени (3.1). Среди вредных факторов рабочей среды и трудового процесса производственный шум занимает первое ранговое место, превышает нормативные параметры на всех рабочих местах и оценивается на 64 % из них как соответствующий КУТ 3.1, а на 36 % – КУТ 3.2. На втором ранговом месте – тяжесть труда, которая для 90 % работников оценивается по КУТ как 3.2 и 3.1. Нагревающий микроклимат воздействует на 70 % рабочих мест, из них 22 % относятся по интенсивности теплового облучения к КУТ 3.3. При оценке аэрозолей преимущественно фиброгенного действия превышение ПДК в воздухе рабочей зоны (ВРЗ) было зафиксировано на 53 % рабочих мест, химического фактора – на 26 %. При этом концентрация ФА в отобранных пробах не превышала ПДК для ВРЗ (0,5 мг/м³), диапазон фактических значений составил 0,052–0,116 мг/м³. Повышенные уровни общей вибрации зарегистрированы

у машинистов кранов (КУТ 3.1), локальной вибрации – у обработчиков поверхностных пороков металла (КУТ 3.1).

Согласно результатам анкетного опроса среди факторов, оказывающих негативное воздействие на здоровье, производственный шум отметили 90 % рабочих, вибрацию – 62 %, физическое напряжение, связанное с поднятием перемещением и удержанием грузов более 10 кг, – 51 %, повышенную температуру воздуха на рабочем месте – 48 %, запыленность воздуха – 46 %, физическое напряжение, связанное с работой в позе стоя, – 42 %, загазованность – 34 %, частые наклоны корпуса – 26 %. Около четверти металлургов выделили следующие факторы напряженности трудового процесса, влияющие на ухудшение самочувствия: зрительное напряжение – 25 % работников, наличие риска для жизни – 24 %, работа в ночные смены – 22 %, высокое нервно-эмоциональное напряжение – 18 %.

Таким образом, результаты объективной и субъективной оценки условий труда указывают на риск формирования хронического производственного стресса у металлургов в результате сочетанного воздействия вредных факторов производственной среды и трудового процесса, среди которых наибольшее влияние оказывают шум, вибрация, тяжесть труда, нагревающий микроклимат и пыль.

По результатам ПМО у металлургов были зарегистрированы факторы риска заболеваний ССС: курение – в 53,6 % случаев; уровни общего ХС более 4,9 ммоль/л – в 68,5 % случаев; избыточная масса тела (25–29,9 кг/м²) – в 40,5 % и ожирение различной степени выраженности (ИМТ ≥ 30 кг/м²) – в 31,1 %, абдоминальное ожирение (увеличение окружности талии более 94 см) – в 59,2 %, гипергликемия натощак (увеличение концентрации в крови более 6,1 ммоль/л) – в 15,3 % случаев. При обследовании повышенное АД (САД ≥ 140 мм рт. ст., ДАД ≥ 90 мм рт. ст.) было зафиксировано более чем у трети металлургов (32,6 %) в общей выборке. При этом в группе со стажем менее 10 лет ПАД было зарегистрировано у 40,2 % работников, во второй стажевой группе – у 45,3 %, в группе со стажем 20–29 лет – у 70 % лиц ($p_{1-3} = 0,005$, $p_{2-3} = 0,02$). Средние значения клинико-лабораторных показателей в 3 группах по стажу представлены в табл. 2.

Статистический анализ данных показал, что средние уровни САД у работников со стажем 20 и более лет достоверно превышают значения АД, зарегистрированные у металлургов 1-й и 2-й группы, при этом между стажем и уровнями АД имеется прямая корреляционная зависимость (САД: $r = 0,19$, $p = 0,004$; ДАД: $r = 0,18$, $p = 0,01$). В крови работников со стажем 10 и более лет достоверно возрастает концентрация общего ХС и глюкозы, что свидетельствует о неблагоприятных кардиометаболических изменениях и риске развития ССЗ у металлургов.

У работников, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов, при оценке параметров ВСП в зависимости от стажа было установлено достоверное сокращение общей мощности спектра (TP: $r = -0,28$, $p = 0,000037$), доли парасимпатической регуляции (HF %: $r = -0,19$, $p = 0,004$; RMSSD: $r = -0,28$, $p = 0,000038$; pNN50: $r = -0,295$, $p = 0,000012$) и увеличение доли гумо-

рально-метаболических влияний (VLF %: $r = 0,16$, $p = 0,02$) и ЧСС ($r = 0,19$, $p = 0,006$). Отмечается также, что рост уровней САД достоверно взаимосвязан с параметрами ВСП: (LF/HF: $r = 0,15$, $p = 0,03$; ЧСС: $r = 0,23$, $p = 0,0001$; SDNN: $r = -0,32$, $p = 0,0000$; RMSSD: $r = -0,31$, $p = 0,0000$; TP: $r = -0,29$, $p = 0,0000$; VLF %: $r = 0,2$, $p = 0,03$; HF %: $r = -0,2$, $p = 0,004$; AMo %: $r = 0,36$, $p = 0,0000$; SI: $r = 0,34$, $p = 0,0000$). Данные закономерности являются основанием для рассмотрения дисбаланса в системах регуляции СР как одного из пусковых патогенетических звеньев в развитии производственно обусловленной артериальной гипертензии.

Результаты изучения ВСП свидетельствуют, что резкое снижение показателей, указывающее на ухудшение нейрогуморальной регуляции, наблюдается после 10 лет стажа работы во вредных условиях труда; так, значение pNN50 сокращается в 2,6 раза, RMSSD – в 1,3 раза, SDNN – в 1,2 раза. Редукция общей мощности спектра ВСП (TP) зарегистрирована в 1,4 раза, анализ структуры спектра указывает на то, что снижение происходит за счет как уменьшения симпатической активности ВНС (по параметру LF в 1,4 раза), так и, в большей степени, нарушения парасимпатической регуляции (снижение мощности спектра HF-диапазона в 1,8 раза). В процентном соотношении возрастает роль медленных гуморальных и метаболических влияний (VLF, %) на сердечно-сосудистый подкорковый центр, что, по мнению ряда авторов, является признаком перехода с автономного на менее адаптивный центральный контур управления сердечным циклом [16, 17].

На централизацию управления СР у металлургов с увеличением стажа работы указывает возрастание показателей кардиоинтервалографии – стресс-индекса SI ($r = 0,28$, $p = 0,00003$) и LF/HF ($r = 0,18$, $p = 0,01$). Преобладание гуморально-метаболического компонента VLF % и снижение HF ассоциируется с ростом ИМТ ($r = 0,21$, $p = 0,002$; $r = -0,23$, $p = 0,001$ соответственно), что указывает на взаимозависимый характер диагностированных нарушений.

При проведении корреляционного анализа также были установлены следующие закономерности: концентрация меди в сыворотке крови достоверно возрастает с увеличением стажа ($r = 0,22$, $p = 0,0001$), при повышении индекса SI ($r = 0,24$, $p = 0,001$) и АД ($r = 0,21$, $p = 0,002$). В большинстве случаев уровни меди в сыворотке были зарегистрированы у верхней границы референтного диапазона (0,7–1,4 мг/л), средние значения имеют достоверные отличия между 1-й и 2-й, 1-й и 3-й группами.

У металлургов всех стажевых групп в крови были определены значительные уровни ФА. Повышение концентрации ФА является стресс-фактором для организма, на что указывает прямая достоверная корреляция с показателем LF/HF ($r = 0,14$, $p = 0,04$), возрастание которого происходит при активации симпатического отдела ВНС. Увеличение содержания ФА в крови влияет на уровни адаптогенных металлов: приводит к снижению цинка в сыворотке ($r = -0,21$, $p = 0,003$) и усилению экскреции селена с мочой ($r = 0,29$, $p = 0,01$).

В свою очередь, снижение селена в сыворотке ассоциируется с высокими уровнями САД

Таблица 2. Сравнение значений показателей функционального состояния работников в группах по стажу [M ± SE; Me (Q25–Q75)]

Table 2. Comparison of parameters of the functional state in the workers divided into three groups by years of experience [M ± SE; Me (Q25–Q75)]

Показатель / Parameter	Группы по стажу / Groups by experience			Достоверность различий / Significance of differences		
	1-я группа / Group 1	2-я группа / Group 2	3-я группа / Group 3	<i>p</i> ₁₋₂	<i>p</i> ₁₋₃	<i>p</i> ₂₋₃
Клинико-лабораторные показатели / Clinical and laboratory indicators						
Индекс массы тела, кг/м ² / Body mass index, kg/m ²	27,1 ± 0,49	28,3 ± 0,54	28,6 ± 0,63	0,1204	0,0578	0,4817
Окружность талии, см / Waist circumference, cm	94,9 ± 1,2	96,8 ± 1,2	99,0 ± 1,6	0,4214	0,0585	0,1586
Систолическое артериальное давление (САД), мм рт. ст. / Systolic blood pressure, mm Hg	124,2 ± 1,5	124,9 ± 1,6	129,5 ± 1,7	0,2509	0,0173	0,0405
Диастолическое артериальное давление (ДАД), мм рт. ст. / Diastolic blood pressure, mm Hg	82,6 ± 1,1	84,4 ± 0,8	87,1 ± 1,3	0,2237	0,0129	0,0750
Общий холестерин, ммоль/л / Total cholesterol, mmol/L	5,15 (4,3–5,7)	5,4 (4,9–6,05)	5,7 (5,05–6,35)	0,0092	0,0002	0,1859
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/L	5,25 (4,9–5,5)	5,4 (5,1–5,9)	5,45 (4,9–6,05)	0,0172	0,0150	0,0803
Периферическое насыщение кислородом (SpO ₂), % / Peripheral oxygen saturation, %	96,9 ± 0,16	96,4 ± 0,18	96,2 ± 0,29	0,0845	0,0412	0,5824
Временные параметры ВСР / Heart rate variability parameters in the time domain						
Частота сердечных сокращений (ЧСС), уд/мин / Heart rate, beats/min	73,9 ± 1,3	76,4 ± 1,1	78,4 ± 1,6	0,1627	0,0333	0,4443
SDNN, мс / Standard deviation of the NN intervals, ms	41 (33–53)	34 (26–47)	31,5 (26–44)	0,0076	0,0005	0,2868
RMSSD, мс / Square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent NN intervals, ms	26 (17–37)	19,5 (14–31)	18 (12–25)	0,0055	0,0004	0,2424
pNN50, % / % of pairs of cardiac intervals that differ by more than 50 ms to the total number in the array, %	5,12 (1,22–15,3)	1,96 (0,25–8,3)	1,25 (0–4,6)	0,0016	0,0002	0,2787
Спектральные параметры ВСР / Spectral parameters of heart rate variability						
Общая мощность спектра, мс ² / Total power (≤ 0.4 Hz), ms ²	2061 (1334–2999)	1494 (886–2535)	1174,5 (832–2132)	0,0112	0,0004	0,2039
VLF, мс ² / Power in the very low frequency range (0.003–0.04 Hz), ms ²	871 (526–1188)	656 (404–1158)	574 (355–1016)	0,1147	0,0473	0,5349
LF, мс ² / Power in the low frequency range (0,04–0,15 Hz), ms ²	788 (368–1197)	569 (296–47)	416 (207–807)	0,0179	0,0007	0,1346
HF, мс ² / Power in the high frequency range (0.15–0.4 Hz), ms ²	348 (194–650)	196 (89,7–452)	152,5 (74–257)	0,0026	0,0000	0,1468
LF/HF / Index of autonomic balance	2,11 (1,14–3,68)	2,73 (1,57–4,0)	3,03 (1,65–4,52)	0,0713	0,0326	0,3987
VLF, %	40,8 (30,2–52,6)	46,2 (37,1–58,7)	48,8 (37,8–62,4)	0,0155	0,0055	0,4349
LF, %	37,1 (27,9–45,2)	35,5 (27,9–43,5)	35,4 (24,1–43,6)	0,4779	0,2392	0,6196
HF, %	17,7 (10,9–25,7)	14 (8,98–20,9)	11,7 (7,5–17,1)	0,0148	0,0014	0,1779
Показатели кардиоинтервалографии / Results of heart rate variability examination						
Мо (мода), мс / Mode, ms	823 (735–905)	779 (729–878)	786 (714–840)	0,1937	0,0373	0,3285
Амо (амплитуда моды), % / Mode amplitude, %	45,1 (36,7–55,4)	49,9 (42,2–60,8)	56,4 (44,5–62,7)	0,0411	0,0008	0,0831
ВР (вариационный размах), мс / Variation range, ms	252 (210–301)	222 (161–288)	197 (155–259)	0,0138	0,0004	0,1765
SI (стресс-индекс), у. е. / Stress index, CU	117 (71–181)	146,5 (86–251)	182 (105–299)	0,0162	0,0006	0,1830
Адаптационный риск (по методике Р.М. Баевского) / Adaptive risk (according to the method by Baevsky RM)						
ФР (функциональные резервы), у. е. / Functional reserves, CU	1,81 ± 0,1	1,33 ± 0,15	1,02 ± 0,22	0,0284	0,0018	0,2088
СН (степень напряжения), у. е. / Degree of stress, CU	–0,46 ± 0,2	–0,01 ± 0,15	0,24 ± 0,17	0,0557	0,0345	0,8302
Содержание химических соединений в биосредах / Levels of chemicals measured in biological fluids						
Медь, мг/л (сыворотка) / Copper, mg/L (blood serum)	1,05 ± 0,02	1,096 ± 0,02	1,127 ± 0,03	0,0434	0,0105	0,3140
Цинк, мг/л (сыворотка) / Zinc, mg/L (blood serum)	0,877 ± 0,016	0,830 ± 0,012	0,847 ± 0,019	0,0197	0,2395	0,4389
Селен, мг/л (сыворотка) / Selenium, mg/L (blood serum)	0,126 ± 0,007	0,117 ± 0,008	0,130 ± 0,012	0,4053	0,7406	0,3460
Формальдегид, мкг/мл (кровь) / Formaldehyde, µg/mL (blood)	0,108 ± 0,012	0,150 ± 0,019	0,132 ± 0,021	0,0592	0,2547	0,5413
Селен, мг/л (моча) / Selenium, mg/L (urine)	0,058 ± 0,006	0,073 ± 0,005	0,067 ± 0,007	0,0813	0,3934	0,4891

Примечание: *p*₁₋₂ – достоверность различий между 1-й и 2-й группами; *p*₁₋₃ – достоверность различий между 1-й и 3-й группами; *p*₂₋₃ – достоверность различий между 2-й и 3-й группами.

Notes: *p*₁₋₂ – significance of differences between Groups 1 and 2; *p*₁₋₃ – between Groups 1 and 3; *p*₂₋₃ – between Groups 2 and 3.

($r = -0,37, p = 0,03$) у металлургов 1-й группы. На значимую роль селена в адаптации регуляторных систем организма у работников со стажем до 10 лет при воздействии вредных факторов производственной среды указывают достоверные корреляции содержания данного микроэлемента в сыворотке с показателями LF, % ($r = 0,41, p = 0,02$) и VLF, % ($r = -0,41, p = 0,02$), при этом наблюдается прямая зависимость уровня селена от стажа ($r = 0,36, p = 0,03$) и обратная от возраста ($r = -0,35, p = 0,04$).

Также отмечено, что гиперсимпатикотония, которая характеризуется преобладанием доли LF-компонента в регуляции CP (LF %), сопровождается уменьшением концентрации цинка в сыворотке ($r = -0,17, p = 0,01$) и увеличением его в моче ($r = 0,14, p = 0,04$). У работников после 20 лет стажа в условиях хронического производственного стресса установленные взаимосвязи наиболее выражены: смещение вегетативного баланса в сторону симпатикотонии по показателю LF/HF приводит к снижению цинка в сыворотке ($r = -0,38, p = 0,01$).

При оценке гематологических показателей общего клинического анализа крови было отмечено, что у более стажированных работников фиксируется рост значений среднего объема эритроцитов MCV ($r = 0,18, p = 0,0076$) и стандартного отклонения ширины распределения эритроцитов по объему RDW-SD ($r = 0,21, p = 0,0016$), что может указывать на развитие дисфункции эритроцитов. Согласно последним данным, структурные и функциональные изменения в эритроцитах (нарушение окислительно-восстановительного баланса, ферментативной активности) могут являться фактором риска развития ССЗ атеросклеротического генеза, а показатель RDW может служить интегративной мерой развивающихся хронических заболеваний, в том числе ИБС и сердечной недостаточности [18, 19]. Выявленные неблагоприятные изменения значительно снижают резистентность организма к вредным производственным факторам.

Расчет интегральных показателей по оценке адаптационных возможностей организма – ФР, СН, в соответствии с формулами (1) и (2), по-

казал достоверное снижение ФР регуляторных систем у работников 2-й и 3-й стажевых групп и повышение СН у работников 3-й группы по сравнению с первой (табл. 2). Как следствие, у металлургов с увеличением стажа фиксируется рост адаптационного риска (АР) (рисунок).

Достоверная корреляционная зависимость повышения АР была выявлена от основных зарегистрированных параметров ФС работников: уровней САД ($r = 0,3, p = 0,0000$) и ДАД ($r = 0,25, p = 0,0003$), SpO₂ ($r = -0,21, p = 0,002$), глюкозы ($r = 0,23, p = 0,001$), общего ХС ($r = 0,21, p = 0,002$), меди в сыворотке ($r = 0,22, p = 0,001$), ОТ ($r = 0,29, p = 0,0000$), ИМТ ($r = 0,27, p = 0,0000$), RDW-SD ($r = 0,16, p = 0,02$), увеличения содержания лейкоцитов (WBC), гранулоцитов (Gran), смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток крови (Mid) ($r = 0,16, p = 0,002$).

Анализ функциональных показателей в малостажируемой группе позволил выделить значимые маркеры риска повышения АД на начальных стадиях адаптации при воздействии производственного стресса, связанные с нарушением нейрогуморальной регуляции CP. В группу риска были включены работники со стажем менее 10 лет, у которых регистрировались уровни АД, превышающие нормативные. При сравнении основных параметров ВСР у работников с ПАД и имеющих нормальные уровни АД были определены критериальные значения, которые возможно использовать для оценки ФС работников (табл. 3). Одним из признаков неудовлетворительной адаптации у малостажируемых работников является увеличение АР более 2 у. е., которое сопровождается сокращением ФР, снижением общей мощности спектра ВСР, увеличением SI, ИМТ, ЧСС.

Анализ данных ЭКГ показал, что в группе работников со стажем менее 10 лет при повышении АД достоверно чаще регистрируются признаки нарушения процессов реполяризации: в 48,4 % случаев против 14,9 % в группе с НАД ($p = 0,0014$), что указывает на перенапряжение ССС и повышение электрической нестабильности сердца.

В то же время в группе малостажируемых работников с НАД по сравнению с группой

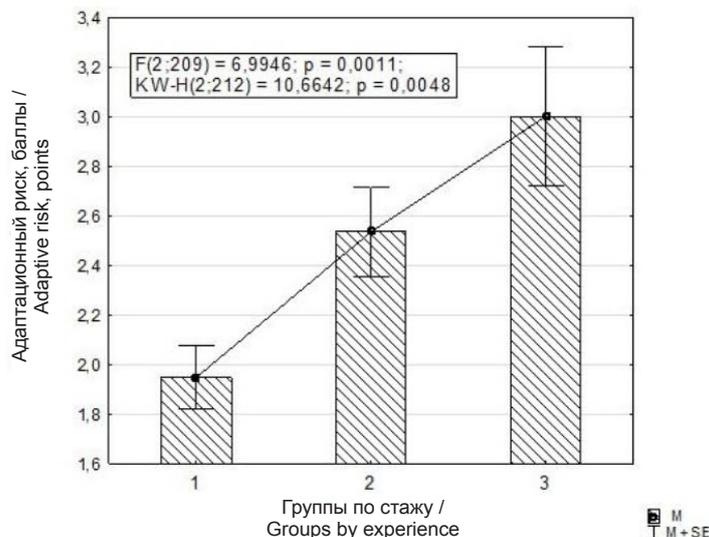


Рисунок. Средние значения адаптационного риска у работников металлургического производства в трех группах по стажу
Figure. The average values of adaptive risk among workers of metallurgical production divided into three groups by years of experience

Таблица 3. Значения показателей функционального состояния работников с повышенным и нормальным уровнем артериального давления в группе со стажем менее 10 лет [$M \pm SE$; Me (Q25–Q75)]**Table 3. Values of parameters of the functional state of workers with elevated and normal blood pressure levels in the group with less than 10 years of experience [$M \pm SE$; Me (Q25–Q75)]**

Показатель / Parameter	Основная группа (АД \geq 140/90 мм рт. ст.) / Main group (BP \geq 140/90 mm Hg) $n = 33$	Группа сравнения (АД $<$ 140/90 мм рт. ст.) / Comparison group (BP $<$ 140/90 mm Hg) $n = 49$	Достоверность различий / Significance of differences, p
Возраст, лет / Age, years	36,6 \pm 1,16	35,6 \pm 0,82	0,4981
Стаж, лет / Experience, years	6,7 \pm 0,36	6,6 \pm 0,24	0,8300
САД, мм рт. ст. / Systolic blood pressure, mm Hg	136,1 \pm 1,65	116,0 \pm 1,3	0,0000
ДАД, мм рт. ст. / Diastolic blood pressure, mm Hg	92,7 \pm 0,83	75,7 \pm 0,8	0,0000
Индекс массы тела, кг/м ² / Body mass index, kg/m ²	28,9 \pm 0,7	26,0 \pm 0,6	0,0031
Окружность талии, см / Waist circumference, cm	100,9 \pm 1,8	91,2 \pm 1,4	0,0000
SDNN, мс / ms	34,5 (28–43,5)	44 (40–54)	0,0072
RMSSD, мс / ms	17,5 (13–32)	29 (24–45)	0,0330
TP, мс ² / ms ²	1344 (924,5–2257,5)	2340 (1842–3692)	0,0158
ЧСС, уд/мин / Heart rate, beats per min	78,3 \pm 2,2	71,1 \pm 1,4	0,0005
Mo (мода), с / Mode, s	743 (674–865)	845 (762–905)	0,0118
Амо (амплитуда моды), % / Mode amplitude, %	55,2 (44,3–64,5)	41,5 (34,1–45,7)	0,0000
BP (вариационный размах), с / Variation range, s	226 (174–274)	265 (227–343)	0,0132
SI (стресс-индекс), у. е. / Stress index, CU	180,5 (115–245)	88,2 (52,7–126)	0,0000
ФР (функциональные резервы), у. е. / Functional reserves, CU	1,33 \pm 0,17	2,14 \pm 0,08	0,0000
СН (степень напряжения), у. е. / Degree of stress, CU	0,59 \pm 0,24	–0,73 \pm 0,28	0,0523
Адаптационный риск, у. е. / Adaptive risk, CU	2,53 \pm 0,21	1,55 \pm 0,13	0,0001

Примечание: обозначения показателей в соответствии с таблицей 2.

Notes: designations of parameters as in Table 2.

ПАД регистрируются эритроциты с большим значением стандартного отклонения ширины распределения эритроцитов по объему RDW-SD (46,1 \pm 3,8 fL (фемтолитр) против 44,5 \pm 2,9 fL, $p = 0,045$) и меньшие концентрации цинка в сыворотке (0,836 \pm 0,018 мг/л против 0,931 \pm 0,024 мг/л, $p = 0,0018$), что можно расценивать как реакцию организма на неблагоприятные условия производственной среды у работников с НАД.

Обсуждение. В ходе проведения исследования у работников металлургического производства в зависимости от стажа были зарегистрированы однонаправленные изменения параметров ВСР, указывающие на снижение адаптационного потенциала организма.

В литературных источниках по изучению воздействия вредных производственных факторов на регуляцию сердечного ритма отмечается, что дисрегуляторные изменения предшествуют стойким патологическим нарушениям, выражаются в снижении влияния автономной регуляции в условиях истощения саногенетических восстановительных процессов [20–22]. Одним из интегральных показателей, количественно выражающих данные изменения, является адаптационный риск, который вычисляется с использованием основных параметров ВСР.

Представленные в нашей работе результаты по оценке ВСР показывают достоверные отличия между значениями показателей у работников со стажем до 10 лет и старшими стажевыми группами. При этом практически отсутствуют различия в параметрах ВСР между обследуемыми со ста-

жем 10–19 и 20–29 лет, т. е. после 10 лет работы во вредных условиях уже фиксируются стойкие патологические изменения в механизмах нейрогуморальной регуляции и происходит развитие патологических состояний, о чем свидетельствует рост числа лиц с ПАД. Увеличение распространенности артериальной гипертензии у работников в условиях воздействия вредных производственных факторов после 10 лет стажа отмечается и другими исследователями [23, 24]. Но и в группе малостажированных работников у 40,2 % лиц при обследовании уровни АД превышали нормативные значения, у них достоверно чаще регистрируются признаки нарушения нейрогуморальной регуляции СР (снижение общей мощности спектра ВСР, увеличение стресс-индекса), электрической нестабильности сердца.

Неблагоприятное влияние хронического производственного стресса на организм не ограничивается только проявлениями дисрегуляции сократительной функции сердца, но отражается на всех регуляторных и защитных системах организма, приводит к развитию комплексного патологического процесса, ускоряющего манифестацию кардиоваскулярных заболеваний. Подтверждением являются установленные взаимосвязанные изменения между параметрами ВСР и гематологическими показателями, уровнями ХС, глюкозы, микроэлементов в сыворотке крови, а также токсикантов, в частности ФА. Закономерное повышение величины АР связано с негативными изменениями основных характеристик ФС, которые происходят уже при стаже менее 10 лет.

В литературе имеются данные, что дефицит или избыток определенных микроэлементов оказывает влияние на АД через изменение ренин-ангиотензин-альдостероновой системы и развитие эндотелиальной дисфункции [25]. По результатам нашего исследования были установлены значимые взаимосвязи, подтверждающие влияние микроэлементов, таких как медь, цинк и селен, на состояние регуляторных систем организма и адаптационного потенциала в целом. Изучение роли микроэлементов в регуляции сердечно-сосудистого гомеостаза имеет значение для профилактики ССЗ, включая АГ.

Также целесообразно контролировать уровень ФА в крови работников, который может поступать как из ВРЗ, так и образовываться из эндогенных источников, в частности в результате окислительного дезаминирования метиламина. ФА оказывает повреждающее воздействие на ССС, опосредованное через цитотоксический эффект и активацию симпатической и парасимпатической нервной системы [26].

Таким образом, необходимо продолжить поиск и изучение маркеров ранних проявлений неблагополучия ФС и снижения адаптации на донозологической стадии у работающих в условиях производственного стресса для принятия корректирующих, восстановительных, профилактических мер.

Заключение. Более трети рабочих мест металлургического производства относятся к вредному классу третьей степени, что соответствует высокому профессиональному риску. Наибольшее неблагоприятное воздействие на работников оказывает производственный шум, тяжесть труда и нагревающий микроклимат.

Среди металлургов распространены модифицируемые и немодифицируемые факторы риска заболеваний ССС. У 32,6 % при обследовании регистрируется повышенное АД, у 31,1 % – ожирение различной степени выраженности, у 68,5 % – гиперхолестеринемия.

Установленный адаптационный риск у металлургов имеет прямую зависимость от стажа и ассоциируется с неблагоприятными изменениями в организме работников.

Среди работников со стажем менее 10 лет регистрируются признаки неудовлетворительной адаптации к производственному стрессу, связанные с нарушением нейрогуморальной регуляции сердечного ритма и риском повышения АД (увеличением АР более 2 у. е., сокращением ФР, снижением общей мощности спектра ВСР, увеличением SI, ИМТ, ЧСС, нарушением процессов реполяризации миокарда), что является основанием для формирования групп риска нарушения здоровья среди малостажированных металлургов.

Список литературы

- Измеров Н.Ф., Бухтияров И.В., Прокопенко Л.В., Измерова Н.И., Кузьмина Л.П. Труд и здоровье Москва: Литтерра, 2014. 416 с.
- Бухтияров И.В., Рубцов М.Ю., Юшкова О.И. Профессиональный стресс в результате сменного труда как фактор риска нарушения здоровья работников // Анализ риска здоровью. 2016; 3: 110–121. <http://dx.doi.org/10.21668/health.risk/2016.3.12>
- Суворов Г.А., Пальцев Ю.П., Прокопенко Л.В., Походзей Л.В., Рубцова Н.Б., Тихонова Г.И. Физические факторы и стресс // Медицина труда и промышленная экология. 2002. № 8. С. 1–4.
- Тимашева Г.В., Масыгутова Л.М., Валеева Э.Т., Репина Э.Ф. Информативные изменения показателей гомеостаза для оценки индивидуального риска адаптационных нарушений у работников химической промышленности // Клиническая лабораторная диагностика. 2019. Т. 64. № 1. С. 29–33. doi: 10.18821/0869-2084-2019-64-1-29-33
- Методы и приборы космической кардиологии на борту Международной космической станции / Государственный научный центр РФ - Институт медико-биологических проблем РАН, ООО «Медицинские компьютерные системы». Москва: Рекламно-издательский центр «ТЕХНОСФЕРА», 2016. 368 с.
- Мешков Н.А., Рахманин Ю.А. Методологические аспекты гигиенической оценки адаптивной реакции организма на влияние факторов профессиональной деятельности в системе оценки риска // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 4. С. 387–395. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-4-387-395
- Байдина А.С., Зайцева Н.В., Костарев В.Г., Устинова О.Ю. Артериальная гипертензия и факторы сердечно-сосудистого риска у работников подземной добычи рудных ископаемых // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59. № 11. С. 945–949. doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-11-945-949
- Мелентьев А.В. Особенности формирования артериальной гипертензии у рабочих промышленных предприятий // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда»: Сборник материалов международной научно-практической конференции, Минск, 14–15 ноября 2019 года / Под общей редакцией Н. П. Жуковой. Минск: Государственное учреждение образования «Республиканский институт высшей школы». 2019. С. 140–141.
- Федина И.Н., Преображенская Е.А., Серебряков П.В., Панкова В.Б. Экстраауральные эффекты при профессиональной тугоухости // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97. № 6. С. 531–536. doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-531-536
- Бухтияров И.В., Чеботарев А.Г., Курьеров Н.Н., Сокур О.В. Актуальные вопросы улучшения условий труда и сохранения здоровья работников горнорудных предприятий // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59. № 7. С. 424–429. doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-7-424-429
- Мулдашева Н.А., Астрелина Т.Н., Каримова Л.К. и др. Внезапная смерть на рабочем месте вследствие общего заболевания на предприятиях и в организациях Республики Башкортостан // Медицина труда и промышленная экология. 2022. Т. 62. № 2. С. 101–108. doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-2-101-108
- Масыгутова Л.М., Абдрахманова Е.Р., Бакиров А.Б. и др. Роль условий труда в формировании профессиональной заболеваемости работников металлургического производства // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 1. С. 47–52. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-1-47-52
- Тутельян В.А., Княжев В.А., Хотимченко С.А., Голубкина Н.А., Кушлинский Н.Е., Соколов Я.А. Селен в организме человека: метаболизм, антиоксидантные свойства, роль в канцерогенезе. Москва: Издательство РАМН, 2002. 224 с.
- Bastola MM, Locatis C, Maisiak R, Fontelo P. Selenium, copper, zinc and hypertension: an analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey (2011–2016). *BMC Cardiovasc Disord.* 2020;20(1):45. doi: 10.1186/s12872-020-01355-x
- Gač P, Urbanik D, Pawlas N, *et al.* Total antioxidant status reduction conditioned by a serum selenium concentration decrease as a mechanism of the ultrasonographically measured brachial artery dilatation impairment in patients with arterial hypertension. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2020;75:103332. doi: 10.1016/j.etap.2020.103332
- Баевский Р.М., Берсенева А.П., Берсенов Е.Ю., Ешманова А.К. Использование принципов донозологической диагностики для оценки функционального состояния организма при стрессорных воздействиях (на примере водителей автобусов) // Физиология человека. 2009. Т. 35. № 1. С. 41–51.
- Миронова Т.Ф., Давыдова Е.В. Предикторы кардиоваскулярной патологии у пациентов с профессиональными заболеваниями. Уральский медицинский журнал. 2018. № 10(165). С. 43–46. doi: 10.25694/URMJ.2018.10.18
- Каранадзе Н.А., Беграббекова Ю.Л., Борисов Е.Н., Орлова Я.А. Ширина распределения эритроцитов

- как предиктор низкой толерантности к физической нагрузке у пациентов с хронической сердечной недостаточностью // *Кардиология*. 2022. Т. 62. № 4. С. 30–35. doi: 10.18087/cardio.2022.4.n1813
19. Mahdi A, Cortese-Krott MM, Kelm M, Li N, Pernow J. Novel perspectives on redox signaling in red blood cells and platelets in cardiovascular disease. *Free Radic Biol Med*. 2021;168:95–109. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2021.03.020
 20. Мелентьев А.В., Серебряков П.В. Роль физических факторов рабочей среды в формировании артериальной гипертензии // *Медицина труда и промышленная экология*. 2019. Т. 59. № 9. С. 692–693. doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-692-693
 21. Миронова Т.Ф., Мордас Е.Ю., Шмони́на О.Г. Комплексное действие профессиональных неблагоприятных условий и кардиоваскулярный риск // *Профилактическая медицина*. 2019. Т. 22. № 4-2. С. 17–23. doi: 10.17116/profmed20192204217
 22. Носов А.Е., Зайцева Н.В., Костарев В.Г., Ивашова Ю.А., Савинков М.А., Устинова О.Ю. Особенности стажевой динамики вариабельности ритма сердца у работников предприятия по переработке калийной руды // *Медицина труда и промышленная экология*. 2021. Т. 61. № 7. С. 442–450. doi: 10.31089/1026-9428-2021-61-7-442-450
 23. Устинова О.Ю., Носов А.Е., Байдина А.С., Пономарева Т.А., Особенности нейрогенных механизмов развития артериальной гипертензии у работников шахт по добыче хромовой руды // *Медицина труда и промышленная экология*. 2019. Т. 59. № 11. С. 956–959. doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-11-956-959
 24. Тиунова М.И., Власова Е.М., Носов А.Е., Устинова О.Ю. Влияние производственного шума на развитие артериальной гипертензии у работников металлургических производств // *Медицина труда и промышленная экология*. 2020. Т. 60. № 4. С. 264–267. doi: 10.31089/1026-9428-2020-60-4-264-267
 25. Chiu HF, Venkatakrisnan K, Golovinskaia O, Wang CK. Impact of micronutrients on hypertension: Evidence from clinical trials with a special focus on meta-analysis. *Nutrients*. 2021;13(2):588. doi: 10.3390/nu13020588
 26. Zhang Y, Yang Y, He X, et al. The cellular function and molecular mechanism of formaldehyde in cardiovascular disease and heart development. *J Cell Mol Med*. 2021;25(12):5358–5371. doi: 10.1111/jcmm.16602
- References**
1. Izmerov NF, Bukhtiyarov IV, Prokopenko LV, Izmerova NI, Kuzmina LP. [*Work and Health*.] Moscow: Litterra Publ.; 2014. (In Russ.)
 2. Bukhtiyarov IV, Rubtsov MYu, Yushkova OI. Occupational stress caused by shift work as a risk factor for workers' health disorders. *Health Risk Analysis*. 2016;(3):103–113. doi: 10.21668/health.risk/2016.3.12
 3. Suvorov GA, Pal'tsev YuP, Prokopenko LV, Pokhodzej LV, Rubtsova NB, Tikhonova GI. Physical factors and stress. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2002;(8):1–4. (In Russ.)
 4. Timasheva GV, Masyagutova LM, Valeeva ET, Repina EF. Informative changes in indicators of homeostasis to the assessment of individual risk adaptation disorders in workers of the chemical industry. *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika*. 2019;64(1):29–33. (In Russ.) doi: 10.18821/0869-2019-64-1-29-33
 5. Baevsky RM, Orlov OI, eds. [*Methods and Instruments of Space Cardiology Onboard the International Space Station*.] Russian State Research Center – RAS Institute of Medical and Biological Problems, Medical Computer Systems LLC. Moscow: Technosphaera Publ.; 2016. (In Russ.)
 6. Meshkov NA, Rakhmanin YuA. Methodology for environmental health assessment of adaptive response to professional activity factors as part of health risk assessment. *Gigiena i Sanitariya*. 2021;100(4):387–395. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-4-387-395
 7. Baydina AS, Zaitseva NV, Kostarev VG, Ustinova OYu. Arterial hypertension and cardiovascular risk factors in employees of underground mining ore minerals. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2019;59(11):945–949. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-11-945-949
 8. Melentiev AV. [Features of arterial hypertension development in workers of industrial enterprises.] In: Zhukova NP, ed. *Health and Environment: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Minsk, November 14–15, 2019*. Minsk: Republican Institute of Higher Education Publ.; 2019:140–141. (In Russ.)
 9. Fedina IN, Preobrazhenskaya EA, Serebryakov PV, Panikova VB. Extraaural effects in the occupational hearing loss. *Gigiena i Sanitariya*. 2018;97(6):531–536. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-6-531-536
 10. Bukhtiyarov IV, Chebotarev AG, Courierov NN, Sokur OV. Topical issues of improving working conditions and preserving the health of workers of mining enterprises. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2019;59(7):424–429. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-7-424-429
 11. Muldasheva NA, Astrelina TN, Karimova LK, et al. Sudden death in the workplace due to general diseases at Bashkortostan enterprises and organizations. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2022;62(2):101–108. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2022-62-2-101-108
 12. Masyagutova LM, Abdrakhmanova ER, Bakirov AB, et al. The role of working conditions in the formation of occupational morbidity of workers in metallurgical production. *Gigiena i Sanitariya*. 2022;101(1):47–52. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-1-47-52
 13. Tutelyan VA, Knyazhev VA, Khotimchenko SA, Golubkina NA, Kushlinsky NE, Sokolov YaA. [*Selenium in the Human Body: Metabolism, Antioxidant Properties, the Role in Carcinogenesis*.] Moscow: Russian Academy of Medical Sciences Publ.; 2002. (In Russ.)
 14. Bastola MM, Locatis C, Maisiak R, Fontelo P. Selenium, copper, zinc and hypertension: an analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey (2011–2016). *BMC Cardiovasc Disord*. 2020;20(1):45. doi: 10.1186/s12872-020-01355-x
 15. Gač P, Urbanik D, Pawlas N, et al. Total antioxidant status reduction conditioned by a serum selenium concentration decrease as a mechanism of the ultrasonographically measured brachial artery dilatation impairment in patients with arterial hypertension. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2020;75:103332. doi: 10.1016/j.etap.2020.103332
 16. Baevskii RM, Berseneva AP, Bersenev EYu, Eshmanova AK. Use of principles of prenosophical diagnosis for assessing the functional state of the body under stress conditions as exemplified by bus drivers. *Fiziologiya Cheloveka*. 2009;35(1):34–42.
 17. Mironova TF, Davydova EV. Predictors of cardiovascular pathology in patients with occupational diseases. *Ural'skiy Meditsinskiy Zhurnal*. 2018;(10(165)):43–46. (In Russ.) doi: 10.25694/URMJ.2018.10.18
 18. Karanadze NA, Begrambekova YuL, Borisov EN, Orlova YaA. Red cell distribution width as a predictor of impaired exercise capacity in patients with heart failure. *Kardiologiya*. 2022;62(4):30–35. (In Russ.) doi: 10.18087/cardio.2022.4.n1813
 19. Mahdi A, Cortese-Krott MM, Kelm M, Li N, Pernow J. Novel perspectives on redox signaling in red blood cells and platelets in cardiovascular disease. *Free Radic Biol Med*. 2021;168:95–109. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2021.03.020
 20. Melentev AV, Serebryakov PV. The role of physical factors of the working environment in the formation of arterial hypertension. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2019;59(9):692–693. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-692-693
 21. Mironova TF, Moradas EYu, Shmonina OG. Occupational exposure to a combination of adverse factors and the risk of cardiovascular diseases. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2019;22(4-2):17–23. (In Russ.) doi: 10.17116/profmed20192204217
 22. Nosov AE, Zaitseva NV, Kostarev VG, Ivashova JA, Savinkov MA, Ustinova OYu. Features of the long-term dynamics of heart rate variability among workers of a potash ore processing enterprise. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2021;61(7):442–450. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2021-61-7-442-450
 23. Ustinova OYu, Nosov AE, Baydina AS, Ponomareva TA. Features of neurogenic mechanisms of arterial hypertension development in workers of chrome ore mines. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2019;59(11):956–959. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-11-956-959
 24. Tiunova MI, Vlasova EM, Nosov AE, Ustinova OYu. Influence of industrial noise on the development of arterial hypertension in workers of metallurgical manufactures. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2020;60(4):264–267. (In Russ.) doi: 10.31089/1026-9428-2020-60-4-264-267
 25. Chiu HF, Venkatakrisnan K, Golovinskaia O, Wang CK. Impact of micronutrients on hypertension: Evidence from clinical trials with a special focus on meta-analysis. *Nutrients*. 2021;13(2):588. doi: 10.3390/nu13020588
 26. Zhang Y, Yang Y, He X, et al. The cellular function and molecular mechanism of formaldehyde in cardiovascular disease and heart development. *J Cell Mol Med*. 2021;25(12):5358–5371. doi: 10.1111/jcmm.16602

