ный доклад. Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. 364 с.

On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2023: State report. Moscow: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, 2024. 364 p.

2. Опыт работы инфекционной службы Республики Саха (Якутия) в период пандемии новой коронавирусной инфекции / С.С. Слепцова, Е.А. Борисова, В.Е. Тарасова [и др.] // Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение. 2020: Т. 9, № 3; 30-35.

Experience of the infectious diseases service of the Republic of Sakha (Yakutia) during the pandemic of the new coronavirus infection / S.S. Sleptsova, E.A. Borisova, V.E. Tarasova [et al.] // Infectious diseases: news, opinions, education. 2020; Vol. 9, No. 3: 30-35. doi 10.33029/2305-3496-2020-9-3-30-35.

3. Слепцов, С.С. Анализ смертности трудоспособного населения Якутии / С.С. Слепцов, С.С. Слепцова, Т.Е. Бурцева // Якутский медицинский журнал. 2022; № 1: 72-75. DOI 10.25789/YMJ.2022.77.18

Sleptsov S.S. Mortality analysis of the working-age population of Yakutia infection / S.S. Sleptsov, S.S. Sleptsova, T.E. Burtseva // Yakut Medical Journal. 2022; No. 1: 72-75. doi 10.25789/YMJ.2022.77.18

4. Университетские преподаватели и цифровизация образования: накануне дистанционного форс-мажора / Р.Н. Абрамов, И.А. Груздев, Е.А. Терентьев [и др.] // Университетское управление: практика и анализ. 2020; Т. 24, № 2: 59-74. doi 10.15826/umpa.2020.02.014.

University Professors and the Digitalization of Education: on the Threshold of Force Majeure Transition to Studying Remotely / R.N. Abramov, I.A. Gruzdev, E.A. Terentev [et. al] // University Management: Practice and Analysis. 2020; Vol. 24, No 2: 59-74. doi 10.15826/umpa.2020.02.014

5. COVID-19 – Статистика и новости коронавируса в Якутии на сегодня [сайт]: URL https://horosho-tam.ru/rossiya/yakutiya/coronavirus (дата обращения 22.04.2025).

COVID-19 – Coronavirus statistics and news in Yakutia today [website]: URL https://horosho-tam.ru/rossiya/yakutiya/coronavirus (date of access 22.04.2025).

6. COVID-19: научно-практические аспекты борьбы с пандемией в Российской Федерации / под ред. д-ра мед. наук, проф. А.Ю. Поповой. Саратов: Амирит, 2021; 608 с.

COVID-19: scientific and practical aspects of combating the pandemic in the Russian Federation / ed. by Doctor of Medical Sciences, prof. A.Y. Popova. Saratov: Amirit, 2021; 608 p.

7. Baum, T. Hospitality, tourism, human rights and the impact of COVID-19 / T. Baum, N.T.T. Hai // International Journal of Contemporary Hospitality Management. 2020. Vol. 32, No. 7. P. 2397-2407. doi 10.1108/ijchm-03-2020-0242.

8. Mcgowan, V.J. COVID-19 mortality and deprivation: pandemic, syndemic, and endemic health inequalities / V.J. Mcgowan, C. Bambra // The Lancet Public Health. 2022. Vol. 7, No. 11. P. e966-e975. doi 10.1016/s2468-2667(22)00223-7.

9. Sayyd, S.M. A scientific overview of the impact of COVID-19 pandemic on sports affairs: A systematic review / S. M. Sayyd, Z. A. Zainuddin, P. M. Seraj // Physical Education of Students. 2021. Vol. 25, No. 4. P. 221-229. doi 10.15561/20755279.2021.0403.

10. Schwarze, B. COVID-19 pandemic and its impact on air transport flows of European regions / B. Schwarze, K. Spiekermann // Europa XXI. 2022. doi 10.7163/eu21.2022.43.5

11. Status of COVID-19 in the worst affected twenty countries and the world at the end of 2020 / R. G. Joshi, K. N. Rajput, V. H. Raval [et al.] // Towards Excellence. 2021. P. 115-135. doi 10.37867/te130211.

ГИГИЕНА, САНИТАРИЯ, ЭПИДЕМИОЛОГИЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

DOI 10.25789/YMJ.2025.90.16

УДК 616.12-008.331.1:66:613.62:159.944.4

Н.А. Мулдашева, И.И. Зайдуллин, Д.О. Каримов, Л.К. Каримова, И.В. Шаповал, З.Ф. Гимаева

ОЦЕНКА РОЛИ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ У РАБОТНИКОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ МЕТОДОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В статье рассматривается вклад производственных и непроизводственных факторов риска на формирование артериальной гипертензии у работников производств этилбензол-стирола (ЭБС) и этилена-пропилена (ЭП), отличающихся по степени автоматизации технологического процесса, с использованием метода градиентного бустинга.

Установлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на прогноз развития артериальной гипертензии. У работников производства ЭБС являются стаж работы во вредных условиях труда, возраст, курение, а у аппаратчиков производства ЭП - стаж работы во вредных условиях труда, курение, уровень липопротеинов низкой плотности.

С учетом выявленных факторов риска разработаны адресные мероприятия, направленные на их минимизацию.

Ключевые слова: химическая промышленность, факторы риска, машинное обучение, профессиональный стресс.

The article examines the contribution of production-related and non-production risk factors to the development of arterial hypertension in workers in ethylbenzene-styrene (EBS) and ethylene-propylene (EP) chemical industries, which differ in the degree of automation of the technological process, using the gradient boosting method.

The factors that have the greatest impact on the prognosis of arterial hypertension development have been identified. For EBS production workers, the major factors influencing AH risk were work experience, age, and smoking. For the Ethylene-Propylene (EP) operators, the key factors were work experience, smoking, and LDL levels.

Taking into account the identified risk factors, targeted measures have been developed to minimize them.

Keywords: chemical industry, risk factors, machine learning, professional stress.

Для цитирования: Мулдашева Н.А., Зайдуллин И.И., Каримов Д.О., Каримова Л.К.,

ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», 450106, г. Уфа, ул. С. Кувыкина, 94: **МУЛДАШЕВА Надежда Алексеевна** – н.с., https://orcid.org/0000-0002-3518-3519, muldasheva51@gmail.com; **ЗАЙДУЛЛИН Искандер Ильдарович** – к.м.н., н.с., https://orcid.org/0000-0002-6031-5683, iskanderdent@yahoo.com; **КАРИМОВ Денис Олегович** – к.м.н., зав. отделом, https://orcid.org/0000–0003–0039–6757, karimovdo@gmail.com; **КАРИМОВА Лилия Казымовна** – д.м.н., проф., гл.н.с., https://orcid.org/0000-0002-9859-8260, iao_karimova@rambler.ru; **ШАПОВАЛ Инна Валерьевна** – н.с., https://orcid.org/0000-0002-3258-2477, shapoval-inna@mail.ru; **ГИМАЕВА Зульфия Федаиевна** – д.м.н., с.н.с., https://orcid.org/0000-0001-6668-2196, gzf-33@mail.ru.

Шаповал И.В., Гимаева З.Ф. Оценка роли различных факторов в формировании артериальной гипертензии у работников химических производств методом машинного обучения. Якутский медицинский журнал. 2025; 90(2): 75-79. https://doi.org/10.25789/YMJ.2025.90.16

Введение. Исследования, проведенные в последние десятилетия, позволили выявить ключевые факторы риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), изучить их взаимосвязь и сформулировать концепцию общего сердечно-сосудистого риска [1].

Установлено, что основными факторами риска являются АГ, дислипидемия, избыточная масса тела (ИМТ), ожирение, сахарный диабет, гиперурикемия, тромбогенные факторы и факторы воспаления [4]. Важно отметить, что экология, социальная среда, образ жизни также оказывают значительное влияние на развитие ССЗ. Взаимодействие этих факторов с генетическими и гендерными особенностями могут способствовать прогрессированию заболеваний сердечно-сосудистой системы [15].

Низкий уровень образования, отсутствие социальной поддержки, психосоциальный стресс, а также тревожные и депрессивные состояния у трудоспособного населения играют также важную роль в развитии ССЗ, что подтверждено результатами многочисленных эпидемиологических исследований [5,11,14]. Курение является одним из самых значимых факторов риска ССЗ с клинической точки зрения [3,8].

Недостаток физической активности и ожирение также приводят к снижению адаптивных возможностей сердечно-сосудистой системы, ухудшению толерантности к физическим нагрузкам и увеличивают риск развития ССЗ [9,12]. Нарушение липидного обмена признано одним из главных факторов риска для развития атеросклероза и ишемической болезни сердца (ИБС) [16].

Многочисленные исследования подтверждают неблагоприятное воздействие вредных производственных факторов, хронического стресса на рабочем месте на возникновение и прогрессирование ССЗ [2, 6,7,10].

Вышеуказанное обосновывает необходимость проведения специальных исследований у работников предприятий разных отраслей экономики с целью установления причинно-следственной связи распространенности ССЗ с факторами кардиоваскулярного риска.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 643 работника мужского пола, из которых 551 чел. – аппаратчики химических производств (295 работников на производстве этилбензол-стирола (ЭБС) и 256 на производстве этилена-пропилена (ЭП) и 92 работника центра автоматизации (ЦА)).

В ходе исследования были оценены производственные и непроизводственные факторы, влияющие на риск развития артериальной гипертензии. Оценку производственных факторов риска проводили по материалам специальной оценки условий труда, производственного контроля и собственного обследования рабочих мест.

Основные непроизводственные факторы риска изучены в ходе проведения периодического медицинского осмотра (ПМО) (приказ Министерства здравоохранения РФ от 28.01.2021 N 29н «Об утверждении Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников»). Дополнительные исследования включали осмотр кардиолога, определение липидного профиля, оценку уровня тревожности и депрессии по шкале HADS, Reader.

Для оценки вклада производственных и непроизводственных факторов риска в формирование артериальной гипертензии у работников использовали метод градиентного бустинга на деревьях решений, реализованный в библиотеке CatBoost.

Обучение модели проводили на выборке, включавшей как производственные (стаж работы во вредных условиях труда, факторы рабочей среды и трудового процесса), так и непроизводственные (возраст, уровень тревожности, депрессии и стресса, индекс массы тела, показатели липидного профиля) факторы риска. В качестве целевой переменной рассматривали наличие артериальной гипертензии (бинарная классификация). Для интерпретации результатов использовали встроенный в CatBoost метод оценки значимости факторов, позволивший определить вклад каждого фактора в формирование артериальной гипертензии. Визуализация распределения факторов и их вклада в вероятность заболевания представлена в виде диаграмм плотности (violin plots) с отображением направления и силы их влияния. В качестве метрик значимости факторов применяли среднее абсолютное значение SHAP (mean abs shap) и процент влияния данного признака.

Результаты и обсуждение. Исследования были проведены на двух химических производствах: этилена-пропилена, относящегося к частично автоматизированному производству, и на высокоавтоматизированном производстве этилбензола-стирола. Основная часть персонала представлена аппаратчиками, которые осуществляли контроль за технологическими процессами удаленно из помещений операторных. Непрерывные схемы технологического процесса, автоматизация и использование в основном герметичного оборудования в обоих производствах не исключают возможность воздействия на аппаратчиков комплекса вредных производственных факторов.

Итоговая оценка условий труда у аппаратчиков производства этилбензола-стирола соответствует третьему классу первой степени вредности (класс 3.1), у аппаратчиков производства этилена-пропилена - третьему классу второй степени вредности (класс 3.2).

Различия в итоговой оценке условий труда аппаратчиков этих производств зависели от уровня автоматизации, компьютеризации производств, что определило время пребывания работника непосредственно у оборудования, а также спектр и уровни воздействующих вредных производственных факторов (таблица).

Самооценка уровня психосоциального стресса по шкале Reeder и психоэмоционального состояния по шкале HADS показала, что наибольшая распространенность высоких уровней тревоги и стресса зафиксирована среди аппаратчиков производства ЭП (37,9 и 49,2% соответственно). Установлено статистически значимое различие показателя уровня тревоги между аппаратчиками производства ЭП и аппаратчиками производства ЭБС (χ^2=10,49; p=0,001), работниками ЦА (χ^2=7,20; p=0,007), а также показателя уровня стресса между аппаратчиками производства ЭП и аппаратчиками производства ЭБС (χ^2=5,86; p=0,016), работниками ЦА (χ^2=5,12; p=0,024),

Для разработки модели, оценивающей вклад различных факторов риска в возникновение АГ, в качестве факторов риска были использованы данные об условиях труда, клинико-лабора-

Основные характеристики изученных групп

Показатель	Аппаратчики ЭБС (n=295)	Аппаратчики ЭП (n=256)	Работники ЦА (n=92)	*p*		
				ЭБСvs.ЭП	ЭБСvs.ЦА	ЭПvs.ЦА
Условия труда						
Вредные вещества	2	3.1	2	-	-	-
Шум	2	3.1	2	-	-	-
Световая среда	3.1	2	2	-	-	-
Тяжесть	2	3.1	2	-	-	-
Напряженность	3.1	3.1	2	-	-	-
Итоговая оценка	3.1	3.2	2	-	-	-
Мужской пол (%) Возраст (лет) Стаж работы (лет) Курение (%) ИМТ ≥30 (%) ЛПНП >3,0 ммоль/л (%) ХС >5,0 ммоль/л (%)	100 47,2±7,1 24.1±8,2 32,9 36,9 50,7 56,9	100 48.3±7,6 23,9 ± 8,0 40,6 37,1 46,1 52,0	100 49,9±9,7 26,7±9,5 34,8 39,1 50,0 50,0	- 0,86 0,88 0,07 0,96 0,32 0,28	- 0,40 0,29 0,83 0,80 0,99 0,29	- 0,73 0,11 0,39 0,93 0,60 0,84
Уровень стресса и психоэмоционального состояния						
HADS-тревога, > 7 баллов (%)	24,7	37,9	21,7	**0,001***	0,65	**0,007***
HADS-депрессия, > 7 баллов (%)	14,9	19,8	15,2	0,162	0,92	0,44
Психосоциальный стресс (Reeder), > 1 балла (%)	39,0	49,2	34,8	**0,016***	0,20	**0,024***

*Статистически значимые различия (критерий χ^2, p<0,05).

торных исследований, оценки уровня тревожности и депрессии 551 аппаратчика (рис. 1).

В результате проведённого машинного обучения с использованием искусственного интеллекта были выделены факторы, оказывающие наибольшее влияние на прогноз развития АГ у аппаратчиков: возраст, курение, уровень липопротеинов низкой плотности, избыточная массы тела и стаж работы во вредных условиях труда.

На следующем этапе были разработаны модели, оценивающие риск развития АГ отдельно у аппаратчиков производств ЭБС и ЭП. В представленной модели факторы рабочей среды и трудового процесса не были учтены, поскольку они были одинаковыми для аппаратчиков каждой группы.

По результатам проведенной оценки влияния отдельных факторов риска на формирование АГ у аппаратчиков производства ЭБС ведущими оказались стаж работы (23,78%), возраст (18,06%), курение (14,53%), уровень ЛПНП (13,61%), ИМТ (7,82%), а также уровень стресса (7,07%) уровень общего холестерина (6,10%) (рис. 2, а).

Установлено, что в группе аппаратчиков ЭП наибольшее влияние на точность предсказаний развития АГ ока-

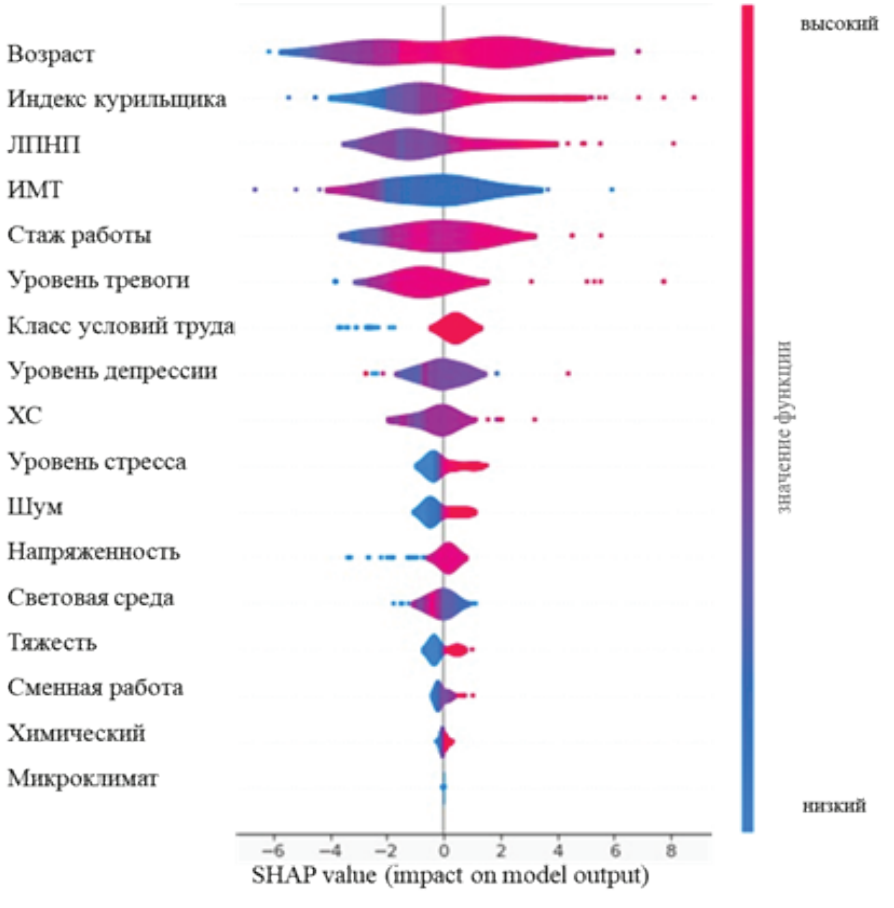

Рис. 1. Вклад каждого предиктора в предсказательную способность общей модели

зывали такие факторы риска, как стаж работы, курение (20,59%), возраст (20,22%), уровень ЛПНП (18,07%), индекс массы тела (10,90%), стаж работы во вредных условиях (9,67%), общий холестерин (6,83%), психоэмоциональные факторы: уровень тревоги и стресса (6,34 и 4,93% соответственно) (рис. 2, б).

Кроме того, по результатам проведённого статистического анализа установлены средние значения факторов риска развития АГ у аппаратчиков производств ЭБС и ЭП (рис. 3).

Несмотря на все возрастающее количество исследований, изучающих влияние вредных производственных и непроизводственных факторов риска на состояние сердечно-сосудистой системы работников различных производств, количество работ, посвященных изучению данного вопроса в химической отрасли, незначительно [6,13]. В соответствии с поставленной целью в данном исследовании изучено влияние производственных и непроизводственных факторов на риск развития артериальной гипертензии у работников отдельных химических производств, научно обоснован комплекс мероприятий по профилактике кардиоваскулярного риска на основе выявленных приоритетных факторов риска.

На основании построенной математической модели установлено, что риск развития артериальной гипертензии у аппаратчиков химических производств обусловлен рядом факторов, ключевыми из которых являются возраст, стаж работы, курение, повышенный индекс массы тела и уровень липопротеинов низкой плотности. Эти факторы в сочетании с хроническим

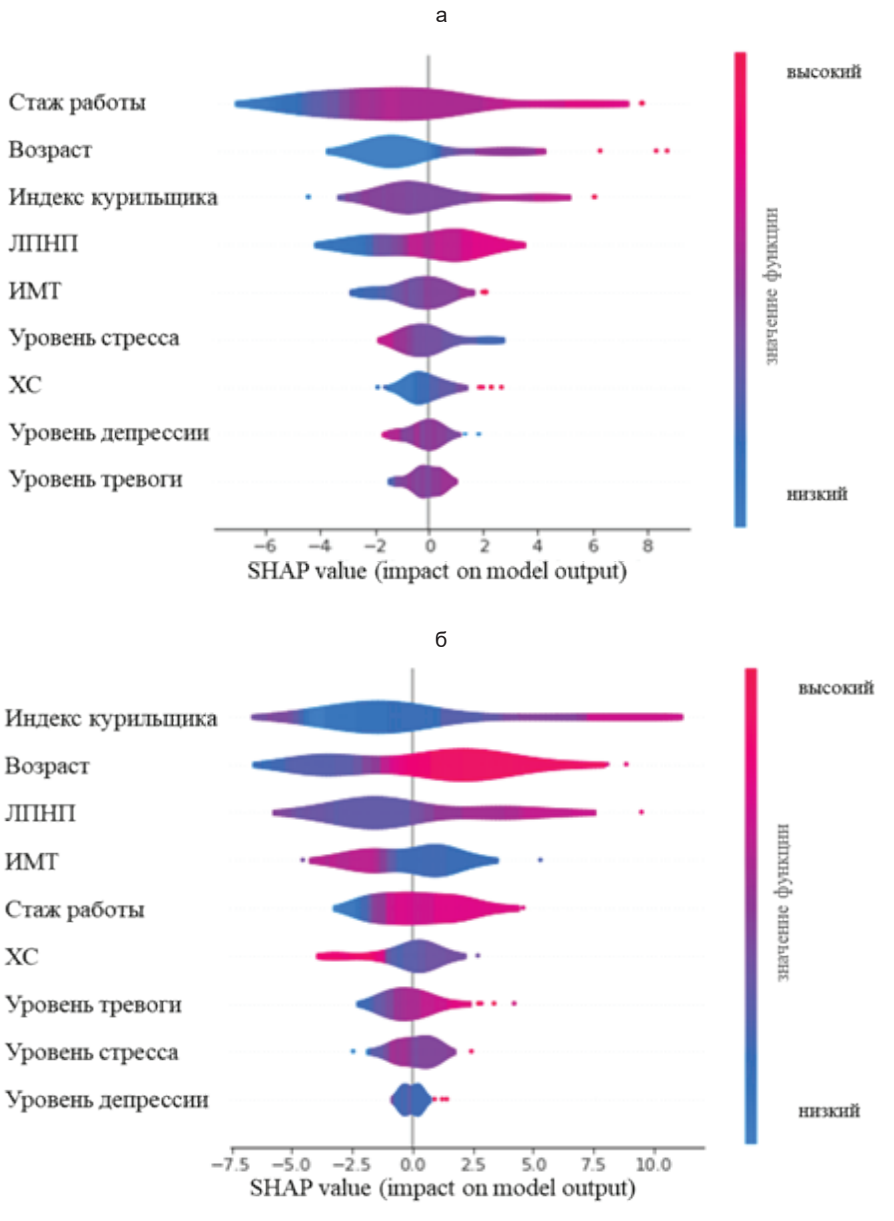

Рис. 2. Модель влияния факторов риска на развитие АГ у аппаратчиков производства: а-ЭБС, б-ЭП

Рис. 3. Средние значения факторов риска развития АГ у аппаратчиков

воздействием факторов рабочей среды, высоким эмоциональным напряжением способствуют увеличению кардиоваскулярного риска за счет кумулятивного воздействия на сердечно-сосудистую систему.

Комплекс вредных производственных факторов также вносит определенный вклад в повышение артериального давления. Следует учесть, что производственный шум, превышающий гигиенические нормативы, вызывает активацию стрессовых реакций организма, а воздействие химических веществ способствует нарушению функций сосудистой стенки.

Заключение. Таким образом, представленные материалы наглядно демонстрируют, что комплекс производственных и непроизводственных факторов способствует увеличению риска развития АГ у работников химических производств. Статистически значимые различия по частоте встречаемости АГ у аппаратчиков производства ЭП обусловлены, прежде всего, высокой распространенностью такого фактора риска, как курение, а также воздействием ряда вредных производственных факторов, превышающих нормативные значения.

Аппаратчики производства ЭП имеют наибольшую распространенность высоких уровней тревоги и стресса по сравнению с аппаратчиками производства ЭБС и работниками ЦА.

На основе результатов исследования разработана программа профилактики кардиоваскулярного риска, нацеленная на минимизацию негативных последствий влияния стресс-факторов, производственных и непроизводственных факторов риска. Лечебно-профилактические мероприятия включают формирование групп диспансерного наблюдения в зависимости от уровней кардиоваскулярного риска и проведение необходимого объема лечебных и оздоровительных мероприятий в различных медицинских и лечебно-оздоровительных учреждениях.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Adhikary D, Barman S, Ranjan R, Stone H. A Systematic Review of Major Cardiovascular Risk Factors: A Growing Global Health Concern. Cureus. 2022 Oct 10;14(10):e30119. doi: 10.7759/cureus.30119.
2. Assadi SN. Cardiovascular disorders and exposure to chemical pollutants. J Prev Med Hyg. 2024 Mar 31;65(1):E59-E64. doi: 10.15167/2421-4248/jpmh2024.65.1.3126.
3. Gallucci G, Tartarone A, Lerose R, Lalinga AV, Capobianco AM. Cardiovascular risk of smoking and benefits of smoking cessation. J Thorac Dis. 2020 Jul;12(7):3866-3876. doi: 10.21037/jtd.2020.02.47.
4. Global Cardiovascular Risk Consortium, Magnussen C, Ojeda FM, et al. Global Effect of Modifiable Risk Factors on Cardiovascular Disease and Mortality. *N Engl J Med*. 2023;389(14):1273-1285. doi:10.1056/NEJMoa2206916
5. Khan N, Javed Z, Acquah I, et al. Low educational attainment is associated with higher all-cause and cardiovascular mortality in the United States adult population. *BMC Public Health*. 2023;23(1):900. Published 2023 May 16. doi:10.1186/s12889-023-15621-y
6. Kim KW, Won YL, Ko KS, Heo KH, Chung YH. The effects of hazardous chemical exposure on cardiovascular disease in chemical products manufacturing workers. Toxicol Res. 2012 Dec;28(4):269-77. doi: 10.5487/TR.2012.28.4.269.
7. Kivimäki M, Kawachi I. Work Stress as a Risk Factor for Cardiovascular Disease. Curr Cardiol Rep. 2015;17(9):630. doi:10.1007/s11886-015-0630-8
8. Kondo T, Nakano Y, Adachi S, Murohara T. Effects of Tobacco Smoking on Cardiovascular Disease. Circ J. 2019;83(10):1980-1985. doi:10.1253/circj.CJ-19-0323
9. Koolhaas CM, Dhana K, Schoufour JD, Ikram MA, Kavousi M, Franco OH. Impact of physical activity on the association of overweight and obesity with cardiovascular disease: The Rotterdam Study. Eur J Prev Cardiol. 2017 Jun;24(9):934-941. doi: 10.1177/2047487317693952.
10. Makar A, Al-Hemoud A, Khraishah H, Berry J, Alahmad B. A Review of the Links Between Work and Heart Disease in the 21st Century. Methodist Debakey Cardiovasc J. 2024 Nov 5;20(5):71-80. doi: 10.14797/mdcvj.1478.
11. Mulle JG, Vaccarino V. Cardiovascular disease, psychosocial factors, and genetics: the case of depression. Prog Cardiovasc Dis. 2013 May-Jun;55(6):557-62. doi: 10.1016/j.pcad.2013.03.005.
12. Powell-Wiley TM, Poirier P, Burke LE, Després JP, Gordon-Larsen P, et al. American Heart Association Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health; Council on Cardiovascular and Stroke Nursing; Council on Clinical Cardiology; Council on Epidemiology and Prevention; and Stroke Council. Obesity and Cardiovascular Disease: A Scientific Statement From the American Heart Association. Circulation. 2021 May 25;143(21):e984-e1010. doi: 10.1161/CIR.0000000000000973.
13. Prokopowicz A, Sobczak A, Szuła-Chraplewska M, Zaciera M, Kurek J, Szołtysek-Bołdys I. Effect of occupational exposure to lead on new risk factors for cardiovascular diseases. *Occup Environ Med*. 2017;74(5):366-373. doi:10.1136/oemed-2016-103996
14. Singh M, Nag A, Gupta L, Thomas J, Ravichandran R, Panjiyar BK. Impact of Social Support on Cardiovascular Risk Prediction Models: A Systematic Review. Cureus. 2023 Sep 24;15(9):e45836. doi: 10.7759/cureus.45836.
15. Vrablik M, Dlouha D, Todorovova V, Stefler D, Hubacek JA. Genetics of Cardiovascular Disease: How Far Are We from Personalized CVD Risk Prediction and Management? Int J Mol Sci. 2021 Apr 17;22(8):4182. doi: 10.3390/ijms22084182.
16. Wazir M, Olanrewaju OA, Yahya M, Kumari J, Kumar N, Singh J, et al. Lipid Disorders and Cardiovascular Risk: A Comprehensive Analysis of Current Perspectives. Cureus. 2023 Dec 31;15(12):e51395. doi: 10.7759/cureus.51395.