

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

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-9-588-593>

УДК 616.12-008.46:613.62

© Коллектив авторов, 2022

Коротенко О.Ю., Филимонов Е.С., Панев Н.И.

Структурно-функциональные изменения левого желудочка у работников алюминиевой промышленности

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», ул. Кутузова, 23, Новокузнецк, 654041

Введение. Выявление ранних признаков дисфункции левого желудочка ещё до развития их клинических проявлений позволит выделить пациентов с риском развития сердечной недостаточности для её своевременной профилактики.

Цель исследования — оценить структурно-функциональные изменения левого желудочка у работников основных профессий алюминиевой промышленности.

Материалы и методы. В исследование включены 87 работников основных профессий алюминиевого производства — основная группа и 69 работников МЧС — группа сравнения. Средний возраст основной группы — $48,49 \pm 0,51$ года, группы сравнения — $47,15 \pm 0,57$ года ($p=0,082$). Всем проведена эхокардиография согласно современным рекомендациям по количественной оценке структуры и функции камер сердца.

Результаты. В основной группе концентрическое ремоделирование левого желудочка было выявлено у 40% лиц с артериальной гипертензией и у 10,3% лиц с нормальным артериальным давлением ($p=0,0019$), диастолическая дисфункция с нарушением релаксации левого желудочка — у 73,3% и у 43,6% соответственно ($p=0,0056$). Ранние эхокардиографические показатели систолической дисфункции левого желудочка — GLS, S — имели не только достоверные различия в основной группе в зависимости от наличия артериальной гипертензии, но и были значимо ниже в основной группе у обследуемых с нормальным артериальным давлением, чем у лиц без АГ из группы сравнения. В основной группе снижение продольной деформации левого желудочка выявлено у 58,5% лиц с артериальной гипертензией и у 28,2% лиц с нормальным артериальным давлением ($p=0,0063$). В изучаемых группах без артериальной гипертензии снижение продольной деформации выявлено значимо чаще у работников алюминиевой промышленности ($p=0,001$).

Ограничения исследования. Данное исследование лимитировано выборкой работников основных профессий алюминиевой промышленности, проходящих периодический медицинский осмотр в НИИ комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний.

Заключение. Артериальная гипертензия у работников основных профессий алюминиевой промышленности приводит к концентрическому ремоделированию, снижению продольной деформации и развитию диастолической дисфункции левого желудочка. У работников алюминиевого производства без артериальной гипертензии выявлено нарушение систолической функции левого желудочка в виде снижения продольной деформации левого желудочка и систолического пика движения митрального кольца на уровне межжелудочковой перегородки и латеральной стенки левого желудочка.

Этика. Исследование проведено с соблюдением стандартов биоэтического комитета Научно-исследовательского института комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний, установленных 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 г. Все обследуемые подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Ключевые слова: алюминиевая промышленность; артериальная гипертензия; продольная деформация миокарда левого желудочка

Для цитирования: Коротенко О.Ю., Филимонов Е.С., Панев Н.И. Структурно-функциональные изменения левого желудочка у работников алюминиевой промышленности. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(9): 588–593. <https://elibrary.ru/faachc> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-9-588-593>

Для корреспонденции: Коротенко Ольга Юрьевна, заведующая отделением функциональной и ультразвуковой диагностики, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», канд. мед. наук. E-mail: olgakorotenko@yandex.ru

Участие авторов:

Коротенко О.Ю. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, сбор литературных данных, написание текста;

Филимонов Е.С. — сбор и обработка данных, написание текста;

Панев Н.И. — редактирование.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 10.07.2022 / Дата принятия к печати: 14.09.2022 / Дата публикации: 23.10.2022

Olga Yu. Korotenko, Egor S. Filimonov, Nikolay I. Panev

Structural and functional changes of the left ventricle in the aluminum industry workers

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, 23, Kutuzova Str., Novokuznetsk, 654041

Introduction. Identification of early signs of left ventricular dysfunction even before the development of their clinical manifestations will allow to identify patients at risk of heart failure for its timely prevention.

The study aims to evaluate the structural and functional changes of the left ventricle in workers of the main professions of the aluminum industry.

Material and methods. The study included 87 employees of the main professions of aluminum production — the main group and 69 employees of the Ministry of Emergency Situations — the comparison group. The average age of the main group was 48.49 ± 0.51 years, the comparison group was 47.15 ± 0.57 years ($p=0.082$). All of them underwent echocardiography according to modern recommendations for the quantitative assessment of the structure and function of the chambers of the heart.

Results. In the main group, we have detected concentric remodeling of the left ventricle in 40% of people with arterial hypertension and in 10.3% with normal blood pressure ($p=0.0019$), diastolic dysfunction with impaired relaxation of the left ventricle in 73.3% and 43.6%, respectively ($p=0.0056$). Early echocardiographic indicators of left ventricular systolic dysfunction — GLS, S — had not only significant differences in the main group depending on the presence of hypertension but were also significantly lower in the main group in subjects with normal blood pressure than in the comparison group. In the main group, the researchers have identified a decrease in the longitudinal deformation of the left ventricle in 58.5% of people with arterial hypertension and in 28.2% with normal blood pressure ($p=0.0063$). In the studied groups without arterial hypertension, we have found a decrease in longitudinal deformation significantly more often in aluminum industry workers ($p=0.001$).

Limitations. This study is limited to a sample of employees of the main professions of the aluminum industry undergoing periodic medical examination at the Research Institute of Complex Hygiene Problems and Occupational Diseases.

Conclusion. Arterial hypertension in workers of the main professions of the aluminum industry leads to concentric remodeling, reduction of longitudinal deformation and development of diastolic dysfunction of the left ventricle. In aluminum production workers without arterial hypertension, the researchers have identified a violation of the systolic function of the left ventricle in the form of a decrease in the longitudinal deformation of the left ventricle and the systolic peak of the mitral ring movement at the level of the interventricular septum and the lateral wall of the left ventricle.

Ethics. We have conducted the study in compliance with the standards of the Bioethical Committee of the Research Institute of Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, established in accordance with the Helsinki Declaration of the World Association "Ethical Principles of Scientific Medical Research with Human Participation" as amended in 2013 and the "Rules of Clinical Practice in the Russian Federation", approved by Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 266 dated 06.19.2003. All the subjects signed an informed consent to participate in the study.

Keywords: aluminum industry; arterial hypertension; longitudinal deformation of the left ventricular myocardium

For citation: Korotenko O.Yu., Filimonov E.S., Panev N.I. Structural and functional changes of the left ventricle in aluminum industry workers. *Med. truda i prom. ekol.* 2022; 62(9): 588–593. <https://elibrary.ru/faachc> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-9-588-593> (in Russian)

For correspondence: Olga Yu. Korotenko, the Head of the Department of Functional and Ultrasound Diagnostics, Research Institute of Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Cand. of Sci. (Med.). E-mail: olgakorotenko@yandex.ru

Information about the authors: Filimonov E.S. <https://orcid.org/0000-0002-2204-1407>

Korotenko O.Yu. <https://orcid.org/0000-0001-7158-4988>

Panev N.I. <https://orcid.org/0000-0001-5775-2615>

Contribution:

Korotenko O.Yu. — concept and design of the study, data collection and processing, collection of literary data, writing the text;

Filimonov E.S. — data collection and processing, writing the text;

Panev N.I. — editing.

Finding. The study had no funding.

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

Received: 10.07.2022 / Accepted: 14.09.2022 / Published: 23.10.2022

Введение. Одной из ведущих отраслей в промышленном комплексе Кузбасса является металлургическая промышленность [1], характеризующаяся наличием вредных производственных факторов, часто превышающих предельно допустимые значения. Особенности технологии получения алюминия негативно влияют на условия труда, что приводит к появлению в воздухе рабочей зоны фтористого водорода и солей фтора, фтористого углерода, полициклических ароматических углеводородов, оксида углерода, пыли сложного состава, которые представляют серьезную угрозу здоровью работников электролизных цехов [2], с риском развития профессиональной и производственно обусловленной патологии [3, 4].

Во время проведения периодических медицинских осмотров работников алюминиевой промышленности наибольшее внимание уделяется патологии опорно-двигательного аппарата в качестве основного проявления хронической фтористой интоксикации. При этом редко учитывается системное влияние соединений фтора, которые участвуют в метаболических процессах организма (транспорт электронов в дыхательной цепи митохондрий, окислительный цикл Кребса, гликолиз, окисление жирных кислот и аминокислот) [5, 6].

В ряде исследований было установлено влияние соединений фтора на сердечно-сосудистую систему (ССС). Так, у металлургов с хронической фтористой интоксикацией отмечалось повышение частоты коронарного атеросклероза [7], а экспериментальным методом доказано си-

стемное действие фторидов на миокард, артерии, печень и почки животных [8, 9]. В связи с этим, крайне важны диагностические мероприятия, направленные на раннее выявление патологии ССС.

Современные методики, в частности эхокардиография, позволяют зарегистрировать признаки поражения сердца ещё до развития клинических проявлений [10, 11] и своевременно выделить группу пациентов с риском развития сердечной недостаточности.

Цель исследования — оценить структурно-функциональные изменения левого желудочка у работников основных профессий алюминиевой промышленности.

Материалы и методы. В исследование было включено 87 работников алюминиевого производства (электролизники, монтажники на ремонте ванн, анодчики, чистильщики) — основная группа и 69 работников подразделений МЧС — группа сравнения, которые проходили обследование в рамках периодического медицинского осмотра в НИИ комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний, в возрастном диапазоне от 40 до 55 лет. Средний возраст работников алюминиевой промышленности составил $48,49 \pm 0,51$ года, работников МЧС — $47,15 \pm 0,57$ года ($p=0,082$). Из исследования были исключены пациенты с врождёнными пороками сердца, кардиомиопатиями, ишемической болезнью сердца, нарушениями ритма сердца.

Стаж работы во вредных производственных условиях в основной группе составлял более 15 лет.

Всем обследуемым была проведена трансторакальная эхокардиография на ультразвуковом сканере экспертного класса *Vivid E9* (*GE Healthcare*, США) с использованием датчика *M5S-D*. Для определения фаз сердечного цикла во время исследования выполнялась синхронная запись электрокардиограммы. Исследование проводилось с использованием стандартных эхокардиографических доплеров и режимов. Оценка размеров и объемов левого желудочка (ЛЖ), толщины его стенок (межжелудочковой перегородки (МЖП) и задней стенки ЛЖ (ЗСЛЖ)), индекса относительной толщины миокарда ЛЖ (ОТМЛЖ), массы миокарда ЛЖ, которая индексировалась к площади поверхности тела для определения индекса массы миокарда левого желудочка (ИММЛЖ) и индекса сферичности (ИС) ЛЖ проводилась согласно современным рекомендациям по количественной оценке структуры и функции камер сердца. Концентрическое ремоделирование ЛЖ диагностировалось при увеличении ОТМЛЖ более 0,42 и нормальных значениях ИММЛЖ (менее 115 г/м²), концентрическая гипертрофия — при ОТМЛЖ более 0,42 и ИММЛЖ более 115 г/м², эксцентрическое ремоделирование — при ИММЛЖ более 115 г/м² и ОТМЛЖ менее 0,42. Глобальную систолическую функцию ЛЖ рассчитывали по методу Тейхольца, также для оценки сократительной функции определяли скорость систолического пика *S* тканевого доплера на уровне МЖП и латеральной стенки ЛЖ. Для оценки диастолической функции ЛЖ рассчитывали показатели трансмитрального потока по данным импульсно-волновой доплерографии (скорость раннего диастолического наполнения (*E*), скорость позднего диастолического наполнения (*A*), их соотношение (*E/A*)) и показатели движения латерального и септального отделов фиброзного кольца митрального клапана по данным тканевой доплерографии (*Ea* МЖП, *Aa* МЖП, *Ea* лат., *Aa* лат. и отношение *E/Ea*). Всем участникам исследования проводился анализ глобальной продольной деформации миокарда ЛЖ (*GLS*). С этой целью выполнялась запись кинопетель из апикальной позиции в трёх проекциях: по длинной оси ЛЖ, четырёх- и двухкамерной. По результатам анализа рассчитывали максимальное значение деформации миокарда для каждого из 17 сегментов ЛЖ в трех позициях и среднее значение деформации для всего ЛЖ [12]. За норму принимались зна-

чения *GLS* для ультразвуковой системы *General Electric*: $-21,3 \pm 2,1\%$ [13].

Артериальная гипертензия устанавливалась согласно клиническим рекомендациям 2020 года по диагностике и лечению АГ у взрослых.

Обработка данных проводилась с использованием статистического пакета *STATISTICA* версии 10.0, нормальность распределения признаков оценивалась по критерию Колмогорова-Смирнова, статистическая значимость параметрических показателей рассчитывалась с использованием *t*-критерия Стьюдента, непараметрических — χ^2 Пирсона, значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Все обследуемые подписали информированное согласие на участие в исследовании, которое соответствовало этическим стандартам биоэтического комитета Научно-исследовательского института комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний, установленным 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 г.

Результаты. Артериальная гипертензия 1–2 степени была выявлена у 46 (53,5%) работников алюминиевой промышленности и у 12 (17,4%) обследуемых группы сравнения, $p < 0,00001$.

У работников алюминиевого производства в результате воздействия АГ на миокард, концентрическое ремоделирование ЛЖ было выявлено у 40% лиц основной группы с АГ против 10,3% у металлургов с нормальным артериальным давлением (АД) ($p = 0,0019$). В группе сравнения, а также между группами без АГ различий в геометрических показателях ЛЖ получено не было (табл. 1).

У обследованных металлургов и работников МЧС не зарегистрировано снижение фракции выброса (ФВ) ЛЖ, но она была значимо ниже в подгруппах с АГ в сравнении с лицами с нормальным АД. Различий ФВ ЛЖ между работниками алюминиевого производства и группы сравнения при отсутствии АГ не выявлено. Однако ранние эхокардиографические показатели систолической дисфункции ЛЖ — *GLS*, *S* МЖП, *S* лат. — имели не только достоверные различия в основной группе в зависимости

Таблица 1 / Table 1

Геометрические показатели левого желудочка Geometric parameters of the left ventricle

Показатель	Основная группа		Группа сравнения		p_1
	Без артериальной гипертензии ($n=40$)	С артериальной гипертензией ($n=46$)	Без артериальной гипертензии ($n=12$)	С артериальной гипертензией ($n=57$)	
ИКДО, мл/м ²	53,54±1,14	54,16±0,93	53,21±0,94	55,24±2,46	$p_1=0,929$
	$p=0,670$		$p=0,428$		
ОТМЛЖ	0,37±0,007	0,41±0,058	0,368±0,005	0,85±0,012	$p_1=0,465$
	$p=0,0048$		$p=0,170$		
ИС	0,59±0,006	0,60±0,006	0,607±0,007	0,593±0,011	$p_1=0,694$
	$p=0,265$		$p=0,319$		
ИММЛЖ, г/м ²	73,861±1,97	88,88±2,64	73,41±1,78	83,80±4,84	$p_1=0,883$
	$p=0,00002$		$p=0,0208$		

Примечание: p_1 — достоверность различия показателей у обследованных лиц двух групп без артериальной гипертензии.

Note: p_1 — the reliability of the difference in indices in the examined subjects of two groups without arterial hypertension.

от наличия АГ, но и были значимо ниже у работников алюминиевого производства с нормальным АД, чем у лиц без АГ из группы сравнения (*табл. 2*).

При этом в основной группе снижение GLS выявлено у 58,5% металлургов с АГ и у 28,2% лиц с нормальным АД ($p=0,0063$), в группе сравнения у 27,3% и 3,8% соответственно ($p=0,033$). Отметим, что в изучаемых группах без АГ снижение GLS выявлялось значимо чаще у работников алюминиевой промышленности ($p=0,001$).

Традиционные доплер-эхокардиографические показатели диастолической функции ЛЖ значимо различались только в основной группе в зависимости от наличия у обследуемых АГ (*табл. 3*).

Согласно полученным данным, диастолическая дисфункция (ДД) в виде нарушения релаксации ЛЖ была выявлена у 73,3% работников алюминиевой промышленности с АГ и у 43,6% лиц с нормальным артериальным да-

влением ($p=0,0056$), в группе сравнения — у 41,7% и 22,6% соответственно ($p=0,175$). ДД ЛЖ выявлялась значимо чаще у работников алюминиевой промышленности без АГ в сравнении с лицами группы сравнения без АГ ($p=0,032$).

Обсуждение. Частота АГ среди обследованных работников алюминиевой промышленности составила 53%, что превышало общепопуляционный уровень для России [14].

АГ является главным фактором ремоделирования ЛЖ у работников алюминиевого производства. Под влиянием АГ развивается концентрическое ремоделирование ЛЖ в виде увеличения ОТМЛЖ при нормальных значениях ИММЛЖ, наиболее неблагоприятных типов ремоделирования ЛЖ (концентрической гипертрофии и эксцентрического ремоделирования) выявлено не было. К развитию нарушения релаксации ЛЖ приводит его ремоделирование [15], т. к. ДД выявлялась у 73,3% работников алюминиевой промышленности с АГ. В то же время,

Таблица 2 / Table 2

Показатели сократительной функции левого желудочка
Indicators of contractile function of the left ventricle

Показатель	Основная группа		Группа сравнения		p_1
	Без артериальной гипертензии ($n=40$)	С артериальной гипертензией ($n=46$)	Без артериальной гипертензии ($n=12$)	С артериальной гипертензией ($n=57$)	
ФВ, %	68,06±0,88	64,07±0,64	67,52±0,63	63,64±0,88	$p_1=0,610$
	$p=0,00038$		$p=0,007$		
GLS, %	19,61±0,29	18,09±0,25	21,50±0,29	19,88±0,612	$p_1<0,0001$
	$p=0,00021$		$p=0,02373$		
S МЖП, см/с	0,083±0,002	0,082±0,003	0,11±0,007	0,107±0,002	$p_1<0,0001$
	$p=0,840$		$p=0,466$		
S лат., см/с	0,089±0,003	0,086±0,003	0,12±0,003	0,101±0,003	$p_1<0,0001$
	$p=0,487$		$p=0,054$		

Примечание: p_1 — достоверность различия показателей у обследованных лиц двух групп без артериальной гипертензии.

Note: p_1 — the reliability of the difference in indices in the examined subjects of two groups without arterial hypertension.

Таблица 3 / Table 3

Диастолические показатели левого желудочка
Diastolic parameters of the left ventricle

Показатель	Основная группа		Группа сравнения		p_1
	Без артериальной гипертензии ($n=40$)	С артериальной гипертензией ($n=46$)	Без артериальной гипертензии ($n=12$)	С артериальной гипертензией ($n=57$)	
E , м/с	0,78±0,026	0,68±0,02	0,75±0,019	0,68±0,036	$p_1=0,80$
	$p=0,0211$		$p=0,117$		
E/A	1,09±0,05	0,97±0,04	1,139±0,029	1,023±0,084	$p_1=0,462$
	$p=0,041$		$p=0,071$		
$IVRT$, мс	85,5±1,61	98,77±2,05	75,88±1,30	85,66±4,17	$p_1<0,0001$
	$p<0,0001$		$p=0,005$		
DT , мс	182,81±4,68	200,67±3,56	174,6±2,33	191,8±9,44	$p_1=0,109$
	$p=0,0021$		$p=0,011$		
Ea/Aa	1,14±0,088	0,906±0,051	1,16±0,04	1,02±0,11	$p_1=0,788$
	$p=0,0076$		$p=0,160$		
E/Ea	7,59±0,245	8,32±0,306	7,32±0,308	7,41±0,774	$p_1=0,510$
	$p=0,0705$		$p=0,898$		

Примечание: p_1 — достоверность различия показателей у обследованных лиц двух групп без артериальной гипертензии.

Note: p_1 — the reliability of the difference in indices in the examined subjects of two groups without arterial hypertension.

эхокардиографические признаки ДД ЛЖ первого типа выявлены у 43,6% металлургов основной группы с нормальным АД, что указывает на наличие дополнительных патогенетических механизмов её развития.

У всех обследованных ФВ ЛЖ находилась в пределах нормальных значений, в отличие от таких эхокардиографических показателей, отражающих систолическую функцию ЛЖ, как GLS, S МЖП, S лат., которые были значительно ниже не только у работников алюминиевой промышленности с АГ, но и у металлургов с нормальным АД, в сравнении с группой работников МЧС. Одной из причин возникновения ранних доклинических проявлений систолической дисфункции может быть системное воздействие соединений фтора [16]. Фториды запускают системную воспалительную реакцию, вызывая раннюю экспрессию провоспалительных цитокинов и отсроченный противовоспалительный иммунный ответ [17], что приводит к фиброзу вследствие апоптоза [18, 19]. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейших исследований в этом направлении для уточнения патогенетических механизмов развития систолической дисфункции левого желудочка у работников алюминиевой промышленности. Выявленные нами

бессимптомные нарушения функции ЛЖ необходимо учитывать при оценке состояния здоровья работников, контактирующих с повышенными концентрациями соединений фтора, для определения группы лиц с высоким риском развития сердечной недостаточности с целью проведения у них активных лечебно-профилактических мероприятий.

Ограничения исследования. Данное исследование лимитировано выборкой работников основных профессий алюминиевой промышленности, проходящих периодический медицинский осмотр в НИИ комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний.

Заключение. Артериальная гипертензия у работников основных профессий алюминиевой промышленности приводит к концентрическому ремоделированию, снижению продольной деформации и развитию диастолической дисфункции левого желудочка.

У работников алюминиевого производства без артериальной гипертензии выявлено нарушение систолической функции левого желудочка в виде снижения продольной деформации левого желудочка и систолического пика движения митрального кольца на уровне межжелудочковой перегородки и латеральной стенки левого желудочка.

Список литературы

1. Рябов В.А., Столбова О.Б. Современный промышленный комплекс Кемеровской области. *Вестн. Кемер. ГУ. Серия: Биол., техн. науки и науки о Земле.* 2017; (3): 41–6. <https://doi.org/10.21603/2542-2448-2017-3-41-46>
2. Шаяхметов С.Ф., Мещакоев Н.М., Лисецкая А.Г., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеев А.Н. и др. Гигиенические аспекты условий труда в современном производстве алюминия. *Гигиена и санитария.* 2018; 97(10): 899–904. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904>
3. Устинова О.Ю., Власова Е.М., Носов А.Е., Костарев В.Г., Лебедева Т.М. Оценка риска развития сердечно-сосудистой патологии у шахтеров, занятых подземной добычей хромовой руды. *Анализ риска здоровью.* 2018; (3): 94–103. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.3.10>
4. Мещакоев Н.М., Шаяхметов С.Ф., Рукавишников В.С., Меринов А.В. Оценка профессионального риска здоровью работников основных профессий алюминиевого производства. *Гигиена и санитария.* 2020; 99(10): 1106–11. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1106-1111>
5. Измеров Н.Ф., ред. *Профессиональная патология: национальное руководство.* М.: ГЭОТАР-Медиа; 2011.
6. Обухова Т.Ю., Будкарь А.Н., Терешина А.Г., Карпова Е.А. Диссоциация нарушений углеводного и липидного обмена у рабочих алюминиевого производства по данным медицинского осмотра. *Гигиена и санитария.* 2015; 94(2): 67–9.
7. Филимонов С.Н., Лукьянова М.В., Разумов В.В., Корякин А.М., Горбатовский Я.А., Епифанцева Н.Н. и др. Нарушения в системе гемостаза у рабочих с профессиональным флюорозом как фактор риска ишемической болезни сердца. *Мед. труда и пром. экол.* 2005; (4): 35–8.
8. Уланова Е.В., Фоменко Д.В., Кизиченко Н.В., Ядыкина Т.К., Масленникова Е.Н. Токсическое действие фторида натрия при экспериментальном флюорозе. *Бюл. ВСНЦ СО РАМН.* 2009; (1): 275–7.
9. Ядыкина Т.К., Жукова А.Г., Уланова Е.В., Кизиченко Н.В., Щербакова Д.А., Бугаева М.С. Функционально-метаболический ответ гепатобилиарной системы на фтористую интоксикацию (экспериментальные исследования). *Бюл. ВСНЦ СО РАМН.* 2010; (4): 64–8.
10. Geyer H., Caracciolo G., Abe H., Wilansky S., Carerj S., Gentile F. et al. Assessment of myocardial mechanics using speckle tracking echocardiography fundamentals and clinical applications. *J Am Soc Echocardiogr.* 2010; 23(4): 351–69. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.02.015>
11. Хадзерова А.Б., Юшук Е.Н., Сеницына И.А., Шупенина Е.Ю., Хучинаева А.М., Надина Е.В. Новые возможности оценки функционального состояния сердца при артериальной гипертензии. *SonoAce-Ultrasound.* 2012; (24): 46–51. Available at: <https://www.medison.ru/si/art358.htm>
12. Mor-Avi V., Lang R.M., Badano L.P., Belohlavek M., Cardim N.M., Derumeaux G. et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2011; 24(3): 277–313. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2011.01.015>
13. Takigiku K., Takeuchi M., Izumi Ch., Yuda S., Sakata K., Ohte N. et al. Normal range of left ventricular 2-dimensional strain: Japanese Ultrasound Speckle Tracking of the Left Ventricle (JUSTICE) study. *Circ J.* 2012; 76(11): 2623–32. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-12-0264>
14. Барбараш О.А., Цыганкова Д.П., Артамонова Г.В. Распространенность артериальной гипертензии и других факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний в Сибири. *Сиб. мед. ж. (Томск).* 2019; 34(3): 60–5. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-3-60-65>
15. Бодрова Е.А., Бабаева А.Р., Осадчук М.А., Солоденкова К.С. Особенности сердечного ремоделирования и дисфункции миокарда при метаболическом синдроме. *Луч. диагност. и терапия.* 2020; 11(4): 52–9. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-52-59>
16. Igboke I.O., Igwenagu E., Igboke N.A. Aluminium toxicosis: a review of toxic actions and effects. *Interdiscip Toxicol.* 2019; 12(2): 45–70. <https://doi.org/10.2478/intox-2019-0007>
17. Казичкая А.С., Ядыкина Т.К., Бугаева М.С., Жукова А.Г., Михайлова Н.Н., Горохова Л.Г. Патологические механизмы иммунной реактивности печени в условиях длительного экспериментального воздействия на организм фторида натрия. *Патол. физиол. и эксперим. терапия.* 2019; 63(3): 64–72. <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2019.03.64-72>
18. Жукова А.Г., Михайлова Н.Н., Казичкая А.С., Алехина Д.А. Современные представления о молекулярных механизмах физиологического и токсического действия соединений фтора на организм. *Медицина в Кузбассе.* 2017; 16 (3): 4–11.

19. Ядыкина Т.К., Коротенко О.Ю., Панев Н.И., Семенова Е.А., Жукова А.Г., Михайлова Н.Н. Клинико-экспериментальные исследования особенностей формирования сердечно-сосу-

дистых нарушений в условиях фтористой интоксикации организма. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60(6): 375–80. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-6-375-380>

References

- Riabov V.A., Stolbova O.B. Modern industrial complex of the Kemerovo Oblast. *Bulletin of Kemerovo State University. Series: Biological, Engineering and Earth Sciences*. 2017; (3): 41–6. <https://doi.org/10.21603/2542-2448-2017-3-41-46> (in Russian).
- Shayakhmetov S.F., Meshchakova N.M., Lisetskaya L.G., Merinov A.V., Zhurba O.M., Alekseyenko A.N. et al. Hygienic aspects of working conditions in the modern production of aluminum. *Gigiena i sanitariya*. 2018; 97(10): 899–904. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-10-899-904> (in Russian).
- Ustinova O.Yu., Vlasova E.M., Nosov A.E., Kostarev V.G., Lebedeva T.M. Assessment of cardiovascular pathology risk in miners employed at deep chrome mines. *Health Risk Analysis*. 2018; (3): 94–103. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.3.10.eng>
- Meshchakova N.M., Shayakhmetov S.F., Rukavyshnikov V.S., Merinov A.V. Assessment of occupational health risk for employees of the main occupations of aluminum production. *Gigiena i sanitariya*. 2020; 99(10): 1106–11. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1106-1111> (in Russian).
- Izmerov N.F., ed. *Occupational pathology: national guidelines*. Moscow: GEOTAR-Media; 2011 (in Russian).
- Obukhova T.Yu., Budkar L.N., Tereshina L.G., Karpova E.A. Dissociation of disorders of carbohydrate and lipid metabolism in aluminum industry workers according to medical examination data. *Gigiena i sanitariya*. 2015; 94(2): 67–9 (in Russian).
- Filimonov S.N., Lukianova M.V., Razumov V.V., Koryakin A.M., Gorbatsky Ya.A., Epifantseva N.N. et al. Hemostasis disorders in patients with occupational fluorosis are risk factors for IHD. *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2005; (4): 35–8 (in Russian).
- Ulanova E.V., Fomenko D.V., Kizichenko N.V., Yadykina T.K., Maslennikova E.N. Toxic action of sodium fluoride in experimental fluorosis. *Byulleten' VSNTs SO RAMN*. 2009; (1): 275–7 (in Russian).
- Yadykina T.K., Zhukova A.G., Ulanova E.V., Kizichenko N.V., Shcherbakova D.A., Bugayeva M.S. Functional and metabolic response of the hepatobiliary system to fluoride intoxication (experimental researches). *Byulleten' VSNTs SO RAMN*. 2010; (4): 64–8 (in Russian).
- Geyer H., Caracciolo G., Abe H., Wilansky S., Carerj S., Gentile F. et al. Assessment of myocardial mechanics using speckle tracking echocardiography fundamentals and clinical applications. *J Am Soc Echocardiogr*. 2010; 23(4): 351–69. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.02.015>
- Hadzegova A.B., Yushchuk E.N., Sinitsyna I.A., Shupenina E.Yu., Khuchinaeva A.M., Nadina E.V. New possibilities for assessing the functional state of the heart in arterial hypertension. *SonoAce-Ultrasound*. 2012; (24): 46–51. Available at: <https://www.medison.ru/si/art358.htm> (in Russian).
- Mor-Avi V., Lang R.M., Badano L.P., Belohlavek M., Cardim N.M., Derumeaux G. et al. Current and evolving echocardiographic techniques for the quantitative evaluation of cardiac mechanics: ASE/EAE consensus statement on methodology and indications endorsed by the Japanese Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2011; 24(3): 277–313. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2011.01.015>
- Takigiku K., Takeuchi M., Izumi Ch., Yuda S., Sakata K., Ohte N. et al. Normal range of left ventricular 2-dimensional strain: Japanese Ultrasound Speckle Tracking of the Left Ventricle (JUSTICE) study. *Circ J*. 2012; 76(11): 2623–32. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-12-0264>
- Barbarash O.L., Tsygankova D.P., Artamonova G.V. Prevalence of arterial hypertension and other risk factors for cardiovascular diseases in Siberia. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Tomsk)*. 2019; 34(3): 60–5. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-3-60-65> (in Russian).
- Bodrova E.A., Babaeva A.R., Osadchuk M.A., Solodenkova K.S. Peculiarities of cardiac remodeling and myocardial dysfunction in metabolic syndrome. *Luchevaya diagnostika i terapiya*. 2020; 11(4): 52–9. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-52-59> (in Russian).
- Igbokwe I.O., Igwenagu E., Igbokwe N.A. Aluminium toxicosis: a review of toxic actions and effects. *Interdiscip Toxicol*. 2019; 12(2): 45–70. <https://doi.org/10.2478/intox-2019-0007>
- Kazitskaya A.S., Yadykina T.K., Bugayeva M.S., Zhukova A.G., Mikhailova N.N., Gorokhova L.G. Pathophysiological mechanisms of hepatic immune reactivity in prolonged experimental exposure of the body to sodium fluoride. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*. 2019; 63(3): 64–72. <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2019.03.64-72> (in Russian).
- Zhukova A.G., Mikhailova N.N., Kazitskaya A.S., Alekhina D.A. Contemporary concepts of molecular mechanisms of the physiological and toxic effects of fluorine compounds on an organism. *Medsina v Kuzbasse*. 2017; 16 (3): 4–11 (in Russian).
- Yadykina T.K., Korotenko O.Yu., Panev N.I., Semenova E.A., Zhukova A.G., Mikhailova N.N. Clinical and experimental studies of cardiovascular disorders in the conditions of fluoride intoxication of the body. *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2020; 60(6): 375–80. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-6-375-380> (in Russian).