



Коротенко О.Ю., Красильникова П.Л.

## Воздействие соединений фтора как фактор риска развития дисфункции миокарда

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Сочетание токсического действия соединений фтора с известными факторами риска развития болезней системы кровообращения может приводить к раннему развитию диастолической дисфункции желудочков и, следовательно, повышать риск их осложнений.

**Материалы и методы.** Обследованы 118 работников основных профессий алюминиевой промышленности и 62 пациента, чья работа не связана с воздействием соединений фтора. Возраст обследованных — от 40 до 55 лет. Всем респондентам проведены биохимические исследования крови и эхокардиография по стандартным методикам.

**Результаты.** У работников алюминиевого производства, независимо от наличия сопутствующей хронической профессиональной интоксикации соединениями фтора, признаки развития диастолической дисфункции левого желудочка выявлялись чаще по сравнению с контролем: 67,8 и 29% случаев соответственно ( $p < 0,0001$ ). Диастолическая дисфункция левого желудочка чаще диагностировалась у лиц с отдельными признаками воздействия фтора, страдающими артериальной гипертензией; диастолическая дисфункция правого желудочка чаще встречалась у пациентов с хронической профессиональной интоксикацией соединениями фтора. В контроле частота диастолической дисфункции желудочков не зависела от наличия артериальной гипертензии и была значительно меньше, чем у работников алюминиевого производства. Выявлена связь между дислипидемией, атеросклерозом и показателями диастолы левого желудочка. Достоверной связи между патологией лёгких и развитием дисфункции правого желудочка установлено не было. Выявлена достоверная взаимосвязь параметров дисфункции левого желудочка с артериальным давлением, а стаж работы в условиях воздействия соединений фтора — с показателями дисфункции желудочков.

**Ограничения исследования.** Данное исследование лимитировано выборкой работников основных профессий алюминиевой промышленности, проходящих обследование в клинике ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний».

**Заключение.** Диастолическая дисфункция желудочков выявлялась более чем у половины работников алюминиевой промышленности вне зависимости от наличия хронической профессиональной интоксикации соединениями фтора, на которую, наряду с артериальной гипертензией, повышением уровня холестерина низкой плотности, коэффициента атерогенности, атеросклерозом, оказывал влияние и стаж работы в условиях воздействия соединений фтора.

**Ключевые слова:** хроническая профессиональная интоксикация соединениями фтора; кардиометаболические нарушения; диастолическая дисфункция; левый желудочек; алюминиевая промышленность

**Соблюдение этических стандартов.** В соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.). Протокол удовлетворял требованиям биоэтического комитета ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний» (протокол заседания № 4, § 2, от 18 ноября 2021 г.). Все участники дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

**Для цитирования:** Коротенко О.Ю., Красильникова П.Л. Воздействие соединений фтора как фактор риска развития дисфункции миокарда. *Гигиена и санитария*. 2026; 105(7): 757–762. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-7-757-762> <https://elibrary.ru/xnwg1x>

**Для корреспонденции:** Коротенко Ольга Юрьевна, e-mail: [olgakorotenko@yandex.ru](mailto:olgakorotenko@yandex.ru)

**Вклад авторов:** Коротенко О.Ю. — концепция и дизайн исследования, сбор материала, написание текста, редактирование; Красильникова П.Л. — сбор материала, написание текста. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 26.05.2026 / Поступила после доработки: 21.06.2026 / Принята к печати: 01.07.2026 / Опубликовано: 14.08.2026

Olga Yu. Korotenko, Polina L. Krasilnikova

## Exposure to fluoride compounds as a risk factor for myocardial dysfunction

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The combination of the toxic effects of fluoride compounds with known risk factors for cardiovascular diseases can lead to the early development of diastolic ventricular dysfunction, thereby increasing the risk of complications.

**Materials and methods.** One hundred eighteen workers in the main occupations of the aluminum industry and 62 patients not exposed to fluoride compounds, aged between 40 and 55 years, were examined. All respondents underwent biochemical blood tests and echocardiography using standard methods.

**Results.** In aluminum production workers, regardless of the presence of concomitant chronic occupational intoxication with fluoride compounds, signs of left ventricular diastolic dysfunction were detected more often (67.8% of the cases) than in the control (29.0%,  $p < 0.0001$ ). Diastolic dysfunction of the left ventricle was more often diagnosed in persons with certain signs of fluoride exposure, suffering from arterial hypertension; diastolic dysfunction of the right ventricle was more common in patients with chronic occupational intoxication with fluoride compounds. In the control group, the prevalence of diastolic ventricular dysfunction did not depend on the presence of arterial hypertension and was significantly lower than in the aluminum workers. A relationship was found between dyslipidemia, atherosclerosis, and left ventricular diastolic parameters. No reliable association was revealed between pulmonary pathology and the development of right ventricular dysfunction. A reliable relationship was found between left ventricular dysfunction parameters and arterial blood pressure levels, as well as work experience under the conditions of exposure to fluoride compounds with ventricular dysfunction parameters.

**Limitations.** This study was limited to a sample size of workers of the main occupations in the aluminum industry who were examined at the Clinic of the Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases.

**Conclusion.** Diastolic ventricular dysfunction was detected in more than half of the aluminum industry workers, regardless of the presence of chronic occupational intoxication with fluoride compounds, which, in addition to the influence of arterial hypertension, increase in the level of low-density cholesterol, atherogenicity coefficient, and atherosclerosis, was also affected by the work duration in the conditions of exposure to fluoride compounds.

**Keywords:** chronic occupational intoxication with fluoride compounds; cardiometabolic disorders; diastolic dysfunction; left ventricle; aluminum industry

**Compliance with ethical standards.** In accordance with the Declaration of Helsinki of the World Medical Association (ed. 2013). The protocol of which met the requirements of the Bioethics Committee of the Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases (Protocol of the Meeting No. 4, § 2 dated November 18, 2021). All participants gave informed voluntary written consent to participate in the study.

**For citation:** Korotenko O.Yu., Krasilnikova P.L. Exposure to fluoride compounds as a risk factor for myocardial dysfunction. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2026; 105(7): 757–762. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-7-757-762> <https://elibrary.ru/xnwg1x> (In Russ.)

**For correspondence:** Olga Yu. Korotenko, e-mail: [olgakorotenko@yandex.ru](mailto:olgakorotenko@yandex.ru)

**Contribution:** Korotenko O.Yu. — concept and design of the study, collection of material, writing the text, editing; Krasilnikova P.L. — collection of material, writing the text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Funding.** The study had no sponsorship.

Received: May 26, 2026 / Revised: June 21, 2026 / Accepted: July 1, 2026 / Published: August 14, 2026

## Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения, смертность от болезней системы кровообращения (БСК) остаётся самой высокой в мире. Заболеваемость БСК ежегодно увеличивается, несмотря на современные методы диагностики и лечения острого коронарного синдрома, тромбозов и тромбозов, нарушений мозгового кровообращения. В Российской Федерации инсульт и инфаркт остаются ведущими причинами инвалидности [1, 2]. Основные факторы развития БСК хорошо известны. Это табакокурение и злоупотребление алкоголем, употребление насыщенной животными жирами и быстрыми углеводами пищи, гиподинамия. В современном мире к этому можно добавить также высокий уровень психоэмоциональных нагрузок, загрязнение окружающей среды. Ожирение, инсулинорезистентность, артериальная гипертензия и дислипидемия как ключевые позиции метаболического синдрома представляют собой смертельный квартет, потенцирующий развитие нарушения кровообращения миокарда [3, 4]. Важно учитывать, что болезни кровообращения развиваются у людей трудоспособного возраста, следовательно, дополнительными факторами риска в этом случае могут стать вредные производственные факторы.

Одна из ведущих отраслей промышленности в России — производство алюминия. По данным на 2023 г., до 57 тыс. человек работают на алюминиевых заводах во вредных условиях труда, а с учётом смежных специальностей — до 200 тыс. человек [5]. Производство алюминия состоит из ряда технологических операций добычи металла с помощью электролиза растворённого в электролите глинозёма и солевых добавок при температуре до плюс 960 °С. Используется технология самообжигающихся и предварительно обожжённых анодов. Основные профессии, задействованные в цехах, — анодчики, электролизники, крановщики, литейщики. В воздухе рабочей зоны преобладают возгоны каменноугольных смол, бенз(а)пирен, пыль сложного состава и фтористый водород. Из всех компонентов воздушной смеси среднесменные концентрации фтористого водорода стабильно превышают ПДК на всех рабочих местах в 1,5–3,1 раза [6, 7]. В организме человека средней массой до 70 кг среднее содержание фтора составляет  $\approx 2\text{--}3$  г, в паренхиматозных органах — 0,2–0,8 мг/кг. В человеческом теле фтор присутствует как в свободном, так и в связанном с металлами виде (труднорастворимые соли кальция, магния, железа). Токсические эффекты фтора начинают проявляться при его длительном непрерывном воздействии. Флюороз — патология полиорганная и полисистемная. Органами-мишенями являются щитовидная железа, печень, почки, лёгкие, опорно-двигательный аппарат и сердечно-сосудистая система [8]. За счёт высокого сродства с некоторыми ионами металлов, являющихся кофакторами активации фермент-

ных реакций основных метаболических процессов, фтор (F) способен ингибировать множество ферментативных систем. Токсические эффекты фтора проявляются в нарушении липидного и углеводного обмена. Обладая прооксидантным действием, фтор запускает окислительный стресс, активизирует систему перекисного окисления липидов [9]. Действие F на сердце проявляется уже на клеточном уровне. Встраиваясь в металлопротеиназы и изменяя их структуру, фтор снижает активность супероксиддисмутазы 2, каталазы, глутатионпероксидазы и глутатионтрансферазы. Это приводит к уменьшению активности антиоксидантных систем в миокарде, формированию окислительного стресса и развитию эндотелиальной дисфункции. Провоспалительный механизм действия фтора привлекает в зону поражения провоспалительные цитокины, такие как ФНО-альфа и др. На уровне сердечной мышцы данный процесс приводит к накоплению хемотаксического белка 1, моноцитов, инфильтрации стенки макрофагами, пролиферации гладкомышечных клеток с нарушением микроциркуляции [10, 11]. При обследовании рабочих Кандалакшского и Надвоицкого алюминиевых заводов в 2015 г. патология сердечно-сосудистой системы оказалась на 3-м месте среди других нозологий [12]. Сочетание токсического действия фтора с уже известными факторами риска развития БСК может приводить к более ранним изменениям в сердечной мышце по типу диастолической дисфункции желудочков и, следовательно, повышать риск осложнений, таких как острый коронарный синдром, инфаркт миокарда, сердечная недостаточность.

На основании этого нами была поставлена цель: изучить факторы, ассоциированные с риском развития дисфункции миокарда, у работников алюминиевого производства в зависимости от наличия хронической профессиональной интоксикации соединениями фтора.

## Материалы и методы

Для оценки факторов, ассоциированных с риском развития дисфункции миокарда у работников алюминиевого производства в зависимости от наличия хронической профессиональной интоксикации соединениями фтора (ХПИСФ), были изучены эхокардиографические показатели диастолической функции (ДФ) желудочков у высокостажированных работников основных профессий алюминиевой промышленности (электролизники, анодчики, монтажники на ремонте ванн, чистильщики). Обследованы 118 рабочих в возрасте от 40 до 55 лет, средний возраст 52 (49; 54) года, проходивших обследование в клинике ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний» (НИИ КПГПЗ). Диагноз ХПИСФ имели 72 пациента, отдельные признаки воздействия фтора (ОПВФ) — 46 пациентов. В контрольную группу вошли 62 работника, профессиональная деятель-

Таблица 1 / Table 1

**Частота диастолической дисфункции желудочков сердца, %****Prevalence of diastolic ventricular dysfunction, %**

| Диастолическая дисфункция<br>Diastolic dysfunction                                          | Группа обследованных   Group of subjects examined                                                                                 |                                  |                                                                                   |                                  |                                                                                                   |                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|                                                                                             | с хронической профессиональной интоксикацией соединениями фтора<br>with chronic occupational intoxication with fluoride compounds |                                  | с отдельными признаками воздействия фтора<br>with some signs of fluoride exposure |                                  | работники военизированной горноспасательной части<br>workers of the paramilitary mine rescue unit |                                  |
|                                                                                             | без АГ<br>without AH<br><i>n</i> = 30                                                                                             | с АГ<br>with AH<br><i>n</i> = 42 | без АГ<br>without AH<br><i>n</i> = 20                                             | с АГ<br>with AH<br><i>n</i> = 26 | без АГ<br>without AH<br><i>n</i> = 50                                                             | с АГ<br>with AH<br><i>n</i> = 12 |
| Диастолическая дисфункция левого желудочка<br>Diastolic dysfunction of the left ventricle   | 63.3                                                                                                                              | 71.4                             | 50.0                                                                              | 80.7                             | 26                                                                                                | 41.6                             |
| <i>p</i>                                                                                    | 0.46                                                                                                                              |                                  | 0.027                                                                             |                                  | 0.28                                                                                              |                                  |
| Диастолическая дисфункция правого желудочка<br>Diastolic dysfunction of the right ventricle | 30.0                                                                                                                              | 55.2                             | 52.4                                                                              | 64.0                             | 15.6                                                                                              | 16.7                             |
| <i>p</i>                                                                                    | 0.029                                                                                                                             |                                  | 0.42                                                                              |                                  | 0.93                                                                                              |                                  |

Примечание. АГ — артериальная гипертензия.

Note: AH — arterial hypertension.

ность которых не была связана с воздействием соединений фтора: сотрудники военизированной горноспасательной части (ВГСЧ) в возрасте от 40 до 55 лет (средний возраст 47,5 (43;51) года). Мы обнаружили статистически значимое различие между группами по возрасту ( $p < 0,05$ ). Поскольку в основную группу вошли пациенты с профессиональной патологией или с подозрением на неё, среди них действительно чаще встречались лица старшего возраста. В контрольную группу вошли обследуемые без этого признака, но из того же возрастного диапазона. В таком случае возраст — не причина различий, а маркер отбора. Критерием исключения из исследования было наличие патологий, способных приводить к развитию дисфункции миокарда, — ишемической болезни сердца, осложнённой артериальной гипертензией, порока сердца, кардиомиопатии, сахарного диабета.

Эхокардиографию выполняли с помощью ультразвуковой системы Vivid E9 фирмы-производителя General Electric по стандартной методике с оценкой основных показателей правых и левых отделов сердца. Ремоделирование миокарда оценивали на основе измерений линейных и объёмных величин левого и правого желудочков (ЛЖ и ПЖ), определяли индекс массы миокарда ЛЖ, который индексировали к площади поверхности тела, а также отношение толщины миокарда ЛЖ согласно современным клиническим рекомендациям по оценке структуры и функции камер сердца. Для оценки диастолической функции желудочков оценивали в режиме доплер-эхокардиографии скорости трансмитральных и транстрикуспидальных потоков в раннюю и позднюю диастолы (Е, А, м/с) и их отношение (Е/А). С помощью импульсно-волнового спектрального режима тканевой доплерографии оценивалось движение митрального и трикуспидального колец в области латеральной стенки желудочков (Еа — движение миокарда в раннюю диастолу, Аа — в позднюю диастолу, их отношения Еа/Аа и при необходимости отношения Е/Еа). За норму принимались значения Е/А ПЖ и Еа/Аа ПЖ  $> 0,8$ , Е/Еа ЛЖ  $< 9$ , Е/Еа ПЖ  $< 6$  [13]. Для оценки влияния на ремоделирование миокарда, особенно правого желудочка, определяли наличие дыхательной недостаточности с помощью исследования функции внешнего дыхания (ФВД) на спирографе SPIROVIT SP-1 фирмы SCHILLER (Швеция). Наличие и степень атеросклероза выявляли при ультразвуковой доплерографии. Артериальная гипертензия (АГ) диагностировалась по результатам двукратного измерения артериального давления (АД) и анамнестическим данным (критериями АГ считали показатели выше 140/90 мм рт. ст.). Биохимические показатели сыворотки

крови определяли на автоматическом биохимическом анализаторе «Сапфир 400» (Япония) с использованием реактивов фирмы АО «Вектор-Бест» (Россия, Новосибирск). Гиперхолестеринемию (ГХС) констатировали при уровне общего холестерина сыворотки выше 5,18 ммоль/л, повышение холестерина липопротеидов низкой плотности (ХС ЛПНП) — при уровне выше 3,36 ммоль/л, снижение холестерина липопротеидов высокой плотности (ХС ЛПВП) — при уровне ниже 0,92 ммоль/л, повышенный коэффициент атерогенности (КА) — при уровне более 3, гипертриглицеридемию (ГТГ) — при уровне триглицеридов (ТГ) выше 1,71 ммоль/л. Нарушения гемостаза оценивали по изменениям в коагулограмме: фибриноген — 1,8–3,5; протромбиновое отношение — 0,9–1,3; растворимые фибрин-мономерные комплексы (РФМК) — до 4; XII-эуглобулиновый фибринолиз — 4–10. Курение определялось по анамнестическим данным.

В соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.) все обследуемые ознакомились с ходом исследования и подписали информированное согласие на участие в нём, протокол удовлетворял требованиям биоэтического комитета ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний» (протокол заседания № 4, § 2, от 18 ноября 2021 г.).

Полученные данные были обработаны с применением пакета программ Statistica 10.0, нормальность распределения признаков оценивали с использованием показателей асимметрии и эксцесса; связь между признаками анализировалась при помощи расчёта коэффициента корреляции Пирсона ( $r$ ). Значимость различий показателей между группами оценивали с помощью непараметрического  $U$ -критерия Манна — Уитни. Данные представлены в виде медиан ( $Me$ ) и квартилей (25 и 75%). Значимыми принимались различия при  $p < 0,05$ .

## Результаты

Диастолическая дисфункция (ДД) ЛЖ выявлена у 67,8% работников алюминиевой промышленности: у 60,1% пациентов с ХПИСФ и у 67,3% с ОПВФ ( $p = 0,93$ ). В группе контроля — у 29% респондентов ( $p < 0,00001$ ). При этом АГ установлена у 58,4% работников алюминиевой промышленности: у 66,3% пациентов с ХПИСФ и у 55,32% с ОПВФ ( $p = 0,58$ ). В группе контроля — у 18,18% респондентов ( $p < 0,00001$ ).

Таблица 2 / Table 2

**Метаболические показатели у работников алюминиевой промышленности, %**  
**Metabolic parameters in aluminum industry workers, %**

| Показатель<br>Parameter                                                                            | Работники алюминиевой промышленности<br>Aluminum industry workers                                           |                                                                                                                 | p      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|                                                                                                    | с диастолической дисфункцией левого желудочка<br>with diastolic dysfunction of the left ventricle<br>n = 80 | без диастолической дисфункции левого желудочка<br>without diastolic dysfunction of the left ventricle<br>n = 38 |        |
| Повышение общего холестерина   Increase in total cholesterol                                       | 73.7                                                                                                        | 63.2                                                                                                            | 0.24   |
| Повышение ХС ЛПНП   Increase in low-density lipoprotein cholesterol                                | 69.5                                                                                                        | 43.2                                                                                                            | 0.0045 |
| Снижение ХС ЛПВП   Decrease in high-density lipoprotein cholesterol                                | 13.16                                                                                                       | 10.4                                                                                                            | 0.659  |
| Снижение ХС ЛПВП   Decrease in high-density lipoprotein cholesterol                                | 40.0                                                                                                        | 31.58                                                                                                           | 0.377  |
| Повышение коэффициента атерогенности   Increase in atherogenicity coefficient                      | 67.9                                                                                                        | 43.9                                                                                                            | 0.01   |
| Повышение триглицеридов   Increase in triglycerides                                                | 9.88                                                                                                        | 7.69                                                                                                            | 0.697  |
| Снижение протромбинового отношения   Decrease in prothrombin ratio                                 | 28.9                                                                                                        | 15.78                                                                                                           | 0.1    |
| Повышение коэффициента атерогенности   Increase in atherogenicity coefficient                      | 20.99                                                                                                       | 17.95                                                                                                           | 0.696  |
| Повышение растворимых фибрин-мономерных комплексов<br>Increase in soluble fibrin-monomer complexes | 5.0                                                                                                         | 12.82                                                                                                           | 0.13   |

Несмотря на безусловное влияние АГ на развитие диастолической дисфункции желудочков, частота развития ДД как правого, так и левого желудочков в группах работников алюминиевой промышленности с нормальным артериальным давлением была высокой и значимо различалась в сравнении с лицами контрольной группы ( $p < 0,01$ ) (табл. 1).

Для оценки влияния метаболических нарушений на развитие дисфункции миокарда ЛЖ у работников алюминиевого производства мы анализировали частоту дислипидемии и нарушений в свёртывающей системе крови в зависимости от их наличия в группах с ДД ЛЖ (табл. 2, 3). Выявлены значимые различия в частоте выявления гипер-ХС ЛПНП и высокого коэффициента атерогенности.

В свёртывающей системе крови значимо различался только уровень средних величин фибриногена, который находился в пределах нормальных значений.

К факторам риска развития дисфункции миокарда относился и атеросклеротический процесс, который был выявлен у работников алюминиевой промышленности: с ДД ЛЖ – у 84,04%, с нормальной диастолической функцией – у 63,16% ( $p = 0,0015$ ). Оценка ДД ЛЖ невозможна без учёта ремоделирования миокарда, которое было диагностировано у работников алюминиевого производства преимущественно в виде концентрического ремоделирования: у 38,1% – с наличием ДД ЛЖ, у 14,63% – без таковой ( $p = 0,074$ ).

В развитии ДД миокарда желудочков значительное место принадлежит нарушениям функции внешнего дыхания. Признаки респираторных нарушений были выявлены у 40,48% работников алюминиевой промышленности с ДД ЛЖ и у 30,77% – с нормальной диастолической функцией ( $p = 0,3$ ); у 44,4% работников с ДД ПЖ и у 30% работников с нормальной диастолической функцией ПЖ ( $p = 0,097$ ).

Таблица 3 / Table 3

**Метаболические показатели у работников алюминиевой промышленности, Me (Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>)**  
**Metabolic parameters in aluminum industry workers, Me (Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>)**

| Показатель<br>Parameter                                               | Работники алюминиевой промышленности<br>Aluminum industry workers                                           |                                                                                                                 | p     |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                                                                       | с диастолической дисфункцией левого желудочка<br>with diastolic dysfunction of the left ventricle<br>n = 80 | без диастолической дисфункции левого желудочка<br>without diastolic dysfunction of the left ventricle<br>n = 38 |       |
| Общий холестерин, ммоль/л   Total cholesterol, mmol/L                 | 5.84 (5.14; 6.55)                                                                                           | 5.45 (4.95; 6.54)                                                                                               | 0.43  |
| ХС ЛПНП, ммоль/л   Low-density lipoprotein cholesterol, mmol/L        | 3.75 (3.2; 4.14)                                                                                            | 3.14 (2.8; 3.9)                                                                                                 | 0.064 |
| ХС ЛПВП, ммоль/л   High-density lipoprotein cholesterol, mmol/L       | 1.38 (1.18; 1.56)                                                                                           | 1.31 (1.15; 1.53)                                                                                               | 0.431 |
| Триглицериды, ммоль/л   Triglycerides, mmol/L                         | 1.54 (1.17; 2.13)                                                                                           | 1.32 (0.92; 1.76)                                                                                               | 0.092 |
| Коэффициент атерогенности   Atherogenicity coefficient                | 3.4 (2.9; 3.9)                                                                                              | 2.8 (2.4; 3.8)                                                                                                  | 0.23  |
| Фибриноген, г/л   Fibrinogen, g/L                                     | 2.8 (2.3; 3.2)                                                                                              | 2.3 (2.1; 2.6)                                                                                                  | 0.003 |
| Протромбиновое отношение   Prothrombin ratio                          | 0.91 (0.82; 1.1)                                                                                            | 0.91 (0.77; 1.0)                                                                                                | 0.348 |
| РФМК, мкг/мл   Soluble fibrin-monomer complexes, mkg/ml               | 0.0 (0.00; 3.0)                                                                                             | 0.00 (0.00; 0.00)                                                                                               | 0.637 |
| ХП-эуглобулиновый фибринолиз, мин<br>XII-euglobulin fibrinolysis, min | 7.0 (5.0; 8.0)                                                                                              | 6.0 (5.0; 7.0)                                                                                                  | 0.118 |

Курили 66,67% респондентов с ХПИСФ, 52,56% с ОПВФ и 58,7% из контрольной группы ( $p > 0,05$ ). Достоверных различий удельного веса курящих лиц между группами в зависимости от наличия артериальной гипертензии и диастолической функции желудочков также не выявлено.

Все вышеописанные результаты показывают возможное влияние вредных производственных условий на работников алюминиевого производства. Для подтверждения гипотезы мы оценили корреляционные взаимосвязи стажа работы и показателей ДФ желудочков: стаж работы в условиях воздействия соединений фтора с показателями диастолической функции ЛЖ (Е/А ЛЖ  $-0,262$ ;  $p = 0,003$ ; Еа/Аа ЛЖ  $-0,269$ ;  $p = 0,012$ ) и показателями диастолической функции ПЖ (Еа/Аа ПЖ  $-0,182$ ;  $p = 0,046$ ). Также значимые корреляционные связи получены с уровнем артериального давления и параметрами ДД ЛЖ: систолическое АД (САД) и показатели ДФ ЛЖ (Е/А ЛЖ  $-0,294$ ;  $p = 0,003$ ; Еа/Аа ЛЖ  $-0,261$ ;  $p = 0,007$ ); диастолическое АД (ДАД) и показатели ДФ ЛЖ (Е/А ЛЖ  $-0,212$ ;  $p = 0,0031$ ; Еа/Аа ЛЖ  $-0,307$ ;  $p = 0,002$ ). Других достоверно значимых взаимосвязей выявлено не было.

## Обсуждение

Диастолическая дисфункция желудочков формируется на достаточно ранних (доклинических) этапах поражения сердца. При стандартном обследовании у пациента могут отсутствовать клинические признаки развития сердечной недостаточности, а фракция сердечного выброса, по данным эхокардиографии, соответствовать норме [14]. В основе патофизиологического механизма развития диастолической дисфункции лежит нарушение расслабления миокарда и наполнения его кровью в диастолу. ДД напрямую связана с ростом конечного диастолического давления, вызывающего симптомы застойных явлений в малом круге кровообращения (одышка, тахипноэ, ортопноэ) [15]. Диастолическая дисфункция является маркёром грядущих осложнений в течении таких патологий, как ИБС, артериальная гипертензия, хроническая обструктивная болезнь лёгких. В проведённом нами исследовании у работников алюминиевого производства признаки развития ДД выявлялись достоверно чаще, чем в контрольной группе, что может быть признаком токсического действия фтора на миокард.

Достоверного влияния артериальной гипертензии на развитие диастолической дисфункции левого желудочка у респондентов с хронической фтористой интоксикацией не установлено. Взаимосвязь развития диастолической дисфункции ЛЖ и артериальной гипертензии чаще выявлялась у лиц с отдельными признаками воздействия фтора. Можно предположить, что токсический эффект фтора на миокард более выражен, чем такой фактор риска, как артериальная гипертензия. В то же время большая распространенность ДД правого желудочка у работников алюминиевого завода с хронической ХПИСФ и артериальной гипертензией может косвенно указывать на поражение лёгких у работников алюминиевой промышленности с флюорозом, а также на более выраженный токсический эффект фтора при воздействии на сердце. Известно, что правожелудочковая диастолическая дисфункция сопровождает состояния, связанные с перегрузкой правых отделов сердца на фоне увеличения постнагрузки правого желудочка, снижения его сократительной способности и при сочетании этих факторов [16].

В контрольной группе частота диагностирования ДД левого и правого желудочков не зависела от наличия артериальной гипертензии и была значительно меньше, чем у рабочих-алюминистиков.

При анализе биохимических данных и коагулограммы работников алюминиевого завода с диастолической дисфункцией выявлена положительная связь между нарушением обмена холестерина, а именно повышением уровня ЛПНП и индекса атерогенности, и развитием диастолической дисфункции левого желудочка. Атеросклеротическое поражение сосудов неизбежно приводит к формированию эндотелиальной дисфункции, гипертрофии гладкомышечных клеток сосудов и повышению их жёсткости с исходом в развитие артериальной гипертензии, гипертрофии миокарда и сердечной недостаточности. Токсический эффект фторидов проявляется нарушением липидного обмена с ростом ЛПНП. По данным литературных источников, у  $\approx 73,6\%$  работников алюминиевой промышленности может выявляться атеросклероз в одном или двух сосудистых бассейнах [17, 18]. Таким образом, длительная работа с соединениями фтора может быть дополнительным фактором риска атеросклероза, следовательно, и риска развития диастолической дисфункции.

Несмотря на множество работ, демонстрирующих развитие диастолической дисфункции желудочков у людей с хроническими болезнями лёгких, особенно с хронической обструктивной болезнью лёгких (ХОБЛ) [19, 20], в нашем исследовании достоверной связи между патологией лёгких и развитием ДД ПЖ не установлено. Выявлена безусловная достоверная взаимосвязь параметров ДФ ЛЖ с показателями систолического и диастолического артериального давления. С учётом проявления токсического действия фтора при длительной экспозиции мы провели анализ корреляционной связи между стажем работы на алюминиевом производстве с развитием диастолической дисфункции желудочков, который показал, что с увеличением стажа работы в условиях воздействия соединений фтора показатели ДФ желудочков ухудшаются. Диастолическая функция правого желудочка достоверно не коррелировала ни со значениями артериального давления, ни с показателями функции внешнего дыхания, что также указывает на вероятное токсическое воздействие соединений фтора на миокард.

**Ограничения исследования.** Данное исследование лимитировано выборкой работников основных профессий алюминиевой промышленности, находящихся на обследовании в клинике НИИ КППЗ.

## Заключение

Диастолическая дисфункция желудочков выявлялась более чем у половины стажированных работников алюминиевой промышленности вне зависимости от наличия у них хронической профессиональной интоксикации соединениями фтора.

На формирование диастолической дисфункции левого желудочка оказывали влияние артериальная гипертензия, повышение уровня холестерина низкой плотности, коэфициента атерогенности и наличие атеросклероза.

Воздействие соединений фтора является дополнительным фактором риска развития диастолической дисфункции миокарда у работников алюминиевой промышленности, который реализуется прямым токсическим действием на миокард.

## Литература

1. Николаев В.А., Николаев А.А. Инсульт: статистика и динамика заболеваемости в России. *Менеджер здравоохранения*. 2025; (6): 133–47. <https://10.21045/1811-0185-2025-6-133-147> <https://elibrary.ru/bduvqv>
2. Игнатова В.И., Вознюк И.А., Шамалов Н.А., Резник А.В., Виноцкий А.А., Деркач Е.В. Социально-экономическое бремя инсульта в Российской Федерации. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2023; 123(8–2): 5–15. <https://doi.org/10.17116/jnevro20231230825> <https://elibrary.ru/qeivcm>
3. Гургенян С.В., Ватинян С.Х., Зелвян П.А. Метаболический синдром и ишемическая болезнь сердца. *Терапевтический архив*. 2014; 86(3): 106–10. <https://elibrary.ru/sdzjuj>
4. Di Pietro P., Izzo C., Carrizzo A. Editorial: The role of metabolic syndrome and disorders in cardiovascular disease. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2023; 14: 1327394. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1327394>
5. Росстат. *Промышленное производство в России — 2023: Статистический сборник*. М.; 2023.

6. Шаяхметов С.Ф., Мешакова Н.М., Лисецкая Л.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://elibrary.ru/yocqtz>
7. Кислицына В.В., Суржиков Д.В., Штайгер В.А., Мотуз И.Ю. Гигиеническая характеристика некоторых показателей условий труда работников основных профессий угледобывающей и алюминиевой отраслей промышленности. *Санитарный врач*. 2026; 23(1): 15–25. <https://doi.org/10.33920/med-08-2601-02> <https://elibrary.ru/pfwote>
8. Шалина Т.И., Васильева Л.С. Общие вопросы токсического действия фтора. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2009; 88(5): 5–9. <https://elibrary.ru/kzbtit>
9. 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. <https://elibrary.ru/zgilyf>
10. Бугаева М.С., Казичкая А.С., Ядыкина Т.К., Жукова А.Г., Михайлова Н.Н. Патогенез морфологических изменений органов и тканей при хронической фтористой интоксикации (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2023; 102(7): 700–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-7-700-705> <https://elibrary.ru/keyvlz>
11. DenBesten P.K., Thariani H. Biological mechanisms of fluorosis and level and timing of systemic exposure to fluoride with respect to fluorosis. *J. Dent. Res.* 1992; 71(5): 1238–43. <https://doi.org/10.1177/00220345920710051701>
12. Сюрин С.А. Состояние здоровья работников алюминиевой промышленности Европейского севера России. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(1): 68–72. <https://elibrary.ru/tsbqmn>
13. Галевич А.С., Терещенко С.Н., Ускач Т.М., Агеев Ф.Т., Аронов Д.М., Арутюнов Г.П. и др. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2024. *Российский кардиологический журнал*. 2024; 29(11): 251–349. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6162> <https://elibrary.ru/wkidlj>
14. Драпкина О.М., Джиоева О.Н. Современные эхокардиографические критерии сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса: не только диастолическая дисфункция. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2020; 19(2): 66–74. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2454> <https://elibrary.ru/wtjdno>
15. Терещенко Ю.В., Нечаева Г.И., Потапов В.В., Шупина М.И., Логинова Е.Н., Надей Е.В. и др. Диастолическая функция сердца при дисплазии соединительной ткани. *Лечащий врач*. 2019; (7): 46–8. <https://doi.org/10.26295/OS.2019.68.20.009> <https://elibrary.ru/ockggy>
16. Чаулин А.М., Свечков Н.А., Григорьева Ю.В. Лабораторные биомаркеры дисфункции правого желудочка. *Современные проблемы науки и образования*. 2021; (1): 84. <https://doi.org/10.17513/spno.30462> <https://elibrary.ru/dxluma>
17. Коротенко О.Ю., Панев Н.И., Захаренков В.В., Филимонов С.Н., Семёнова Е.А., Панев Р.Н. Хроническая фтористая интоксикация как фактор риска развития атеросклероза. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(5): 91–4. <https://elibrary.ru/uduvnr>
18. Коротенко О.Ю., Филимонов Е.С., Михайлова Н.Н., Уланова Е.В. Состояние магистральных сосудов у работников тяжёлых отраслей промышленности. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(7): 687–92. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-7-687-692> <https://elibrary.ru/gwgjij>
19. Кушникова И.П., Граудина В.Е. Сердечно-сосудистая патология у больных хронической обструктивной болезнью легких: клинико-патогенетические особенности и диагностика. *Вестник СурГУ. Медицина*. 2019; (1): 8–13. <https://elibrary.ru/ceamew>
20. Голощапова Ю.В., Логвинова Л.В. Оценка диастолической функции правого желудочка у пациентов с хронической бронхолегочной патологией. *Инновационная медицина Кубани*. 2021; (1): 21–7. <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-21-1-21-27> <https://elibrary.ru/Intukm>

## References

1. Nikolaev V.A., Nikolaev A.A. Stroke: statistics and dynamics of morbidity in Russia. *Menedzher zdravookhraneniya*. 2025; (6): 133–47. <https://doi.org/10.21045/1811-0185-2025-6-133-147> <https://elibrary.ru/bduevq> (in Russian)
2. Ignatyeva V.I., Voznyuk I.A., Shamalov N.A., Reznik A.V., Vinititskiy A.A., Derkach E.V. Social and economic burden of stroke in Russian Federation. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2023; 123(8–2): 5–15. <https://doi.org/10.17116/jnevro20231230825> <https://elibrary.ru/qeivcm> (in Russian)
3. Gurgentian S.V., Vatinian S.Kh., Zelveian P.A. Metabolic syndrome and coronary heart disease. *Terapevticheskiy arkhiv*. 2014; 86(3): 106–10. <https://elibrary.ru/sdzjuz> (in Russian)
4. Di Pietro P., Izzo C., Carrizzo A. Editorial: The role of metabolic syndrome and disorders in cardiovascular disease. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2023; 14: 1327394. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1327394>
5. Rosstat. *Industrial Production in Russia – 2023: Statistical Collection*. Moscow; 2023. (in Russian)
6. 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 (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(10): 899–904. <https://elibrary.ru/yocqtz>
7. Kislytsyna V.V., Surzhikov D.V., Shtaiher V.A., Motuz I.Yu. Hygienic characteristics of some indicators of working conditions of workers in the main professions of the coal mining and aluminum industries. *Sanitarnyi vrach*. 2026; 23(1): 15–25. <https://doi.org/10.33920/med-08-2601-02> <https://elibrary.ru/pfwote> (in Russian)
8. Shalina T.I., Vasilyeva L.S. General problems of toxic effect of fluorine. *Sibirskii meditsinskii zhurnal (Irkutsk)*. 2009; 88(5): 5–9. <https://elibrary.ru/kzbtit> (in Russian)
9. 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. *Meditsina v Kuzbasse*. 2017; 16(3): 4–11. <https://elibrary.ru/zgilyf> (in Russian)
10. Bugaeva M.S., Kazitskaya A.S., Yadykina T.K., Zhukova A.G., Mikhailova N.N. Pathogenesis of morphological changes in organs and tissues in chronic fluoride intoxication (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(7): 700–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-7-700-705> <https://elibrary.ru/keyvlz> (in Russian)
11. DenBesten P.K., Thariani H. Biological mechanisms of fluorosis and level and timing of systemic exposure to fluoride with respect to fluorosis. *J. Dent. Res.* 1992; 71(5): 1238–43. <https://doi.org/10.1177/00220345920710051701>
12. Syurin S.A. Health state of aluminum industry workers in the European North of Russia. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(1): 68–72. <https://elibrary.ru/tsbqmn> (in Russian)
13. Galyavich A.S., Tereshchenko S.N., Uskach T.M., Ageev F.T., Aronov D.M., Arutyunov G.P., et al. 2024 Clinical Practice Guidelines for Chronic Heart Failure. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal*. 2024; 29(11): 251–349. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6162> <https://elibrary.ru/wkidlj> (in Russian)
14. Drapkina O.M., Dzhioeva O.N. Modern echocardiographic criteria for heart failure with preserved ejection fraction: not only diastolic dysfunction. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*. 2020; 19(2): 66–74. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2454> <https://elibrary.ru/wtjdno> (in Russian)
15. Tereshchenko Yu.V., Nechaeva G.I., Potapov V.V., Shupina M.I., Loginova E.N., Nadey E.V. et al. Diastolic cardiac function in connective tissue dysplasia. *Lechashchii vrach*. 2019; (7): 46–8. <https://doi.org/10.26295/OS.2019.68.20.009> <https://elibrary.ru/ockggy> (in Russian)
16. Chaulin A.M., Svechikov N.A., Grigoreva Yu.V. Laboratory biomarkers of right ventricular dysfunction. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2021; (1): 84. <https://doi.org/10.17513/spno.30462> <https://elibrary.ru/dxluma> (in Russian)
17. Korotenko O.Yu., Panev N.I., Zakharenkov V.V., Filimonov S.N., Semёnova E.A., Panev R.N. Chronic fluoride intoxication as a risk factor for the development of atherosclerosis. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(5): 91–4. <https://elibrary.ru/uduvnr> (in Russian)
18. Korotenko O.Yu., Filimonov E.S., Mikhailova N.N., Ulanova E.V. The state of the main vessels in workers of heavy industries. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(7): 687–92. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-7-687-692> <https://elibrary.ru/gwgjij> (in Russian)
19. Kushnikova I.P., Graudina V.E. Cardiovascular pathology in patients with chronic obstructive pulmonary disease: clinical and pathogenetic features and diagnostics. *Vestnik SurGU. Meditsina*. 2019; (1): 8–13. <https://elibrary.ru/ceamew> (in Russian)
20. Goloshchapova Yu.V., Logvinova L.V. Evaluation of right ventricular diastolic function in patients with chronic bronchopulmonary pathology. *Innovatsionnaya meditsina Kubani*. 2021; (1): 21–7. <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-21-1-21-27> <https://elibrary.ru/Intukm> (in Russian)

## Сведения об авторах

**Коротенко Ольга Юрьевна**, канд. мед. наук, и. о. директора ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: olgakorotenko@yandex.ru

**Красильникова Полина Леонидовна**, аспирант ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: aergos0203@mail.ru

## About the authors

**Olga Yu. Korotenko**, PhD (Medicine), acting director, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7158-4988> E-mail: olgakorotenko@yandex.ru

**Polina L. Krasilnikova**, postgraduate student, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0007-2333-1725> E-mail: aergos0203@mail.ru