DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-95-100

К.В. Брикс, Т.В. Азизова, Е.С. Григорьева, М.В. Банникова

ХРОНИЧЕСКАЯ СЕРДЕЧНАЯ НЕДОСТАТОЧНОСТЬ У РАБОТНИКОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ХРОНИЧЕСКОМУ ОБЛУЧЕНИЮ

Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики ФМБА России, Челябинская область, Озерск

Контактное лицо: Ксения Васильевна Брикс, e-mail: clinic@subi.su

РЕФЕРАТ

Цель: Оценка риска заболеваемости хронической сердечной недостаточностью (ХСН) (код МКБ-10: I50) в когорте работников, подвергшихся профессиональному хроническому облучению с учетом нерадиационных факторов: пол, возраст, курение, употребление алкоголя, индекс максы тела (ИМТ), артериальная гипертензия (АГ), сахарный диабет (СД).

Материал и методы: Изучаемая когорта включала 22377 работников предприятия атомной промышленности – производственного объединения (ПО) «Маяк», впервые нанятых в 1948–1982 гг., и наблюдавшихся до конца 2018 г. Жизненный статус на конец периода наблюдения известен у 95% членов когорты; из них 67,2% умерли, а 32,8% живы. В исследовании использованы индивидуальные оценки доз внешнего и внутреннего облучения дозиметрической системы работников ПО «Маяк» − 2013 (ДСРМ-2013). Средняя суммарная поглощенная в печени доза внешнего гамма-излучения у мужчин составила 0,45 (0,65) Гр (среднее (стандартное отклонение)) и у женщин – 0,37 (0,56) Гр; средняя суммарная поглощенная в печени доза внутреннего альфа-излучения составила 0,18 (0,65) Гр и 0,40 (1,92) Гр соответственно. Анализ включал расчет относительных рисков (ОР) и избыточного относительного риска на единицу дозы (ИОР/Гр) с помощью Пуассоновской регрессии с использованием модуля AMFIT программы EPICURE. ИОР, т. е. риск минус 1, описывался с помощью линейного тренда от дозы внешнего облучения с поправкой (с помощью стратификации) на нерадиационные факторы и дозу внутреннего облучения, а также от дозы внутреннего облучения с поправкой на нерадиационные факторы и дозу внешнего облучения. 95%-ные доверительные интервалы (ДИ) и статистическая значимость (значения *p*) были рассчитаны с помощью методов максимального правдоподобия. Все критерии статистической значимости были двусторонними. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты: Результаты настоящего исследования свидетельствуют о статистически значимой линейной зависимости заболеваемости ХСН от суммарной поглощенной в печени дозы внешнего гамма-излучения с учетом поправок на нерадиационные факторы (пол, достигнутый возраст, календарный период, курение, употребление алкоголя) и дозу внутреннего альфа-облучения как у мужчин, так и у женщин.

Заключение: Данное исследование риска заболеваемости ХСН в когорте работников, подвергшихся профессиональному хроническому облучению, является первым, в котором представлены доказательства связи этого риска с ионизирующим излучением.

Ключевые слова: *профессиональное хроническое облучение, ПО «Маяк», хроническая сердечная недостаточность, внешнее гамма-облучение, внутреннее альфа-облучение, риск, заболеваемость, зависимость*

Для цитирования: Брикс К.В., Азизова Т.В., Григорьева Е.С., Банникова М.В. Хроническая сердечная недостаточность у работников, подвергшихся профессиональному хроническому облучению // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2026. Т. 71. № 6. С. 95–100. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-95-100

DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-95-100

K.V. Briks, T.V. Azizova, E.S. Grigoryeva, M.V. Bannikova

Heart Failure in Workers Chronically Exposed to Ionizing Radiation During Occupational Activities

Southern Urals Federal Research and Clinical Center for Medical Biophysics, Ozyorsk, Chelyabinsk region, Russia

Contact person: K.V. Briks, e-mail: clinic@subi.su

ABSTRACT

Purpose: To assess the incidence risk of chronic heart failure (ICD-10 code:I50) in a cohort of workers who had chronic occupational exposure with account taken of non-radiation factors: sex, age, smoking status, alcohol consumption, body mass index (BMI), arterial hypertension (AH), diabetes mellitus (DM).

Material and methods: The study cohort included 22,377 workers of the nuclear energy enterprise – the Mayak Production Association (PA) (22,377 persons) – who were hired over the period from 1948 to 1982 and followed up until the end of 2018. The vital status as of the end of the follow-up period is known for 95% of the cohort members, of whom 67.2% died, .and 32% are alive. The presented study utilizes the MWDS-2013 (Mayak Worker Dosimetry System-2013) individual dose estimates of external and internal exposure.

Mean cumulative liver absorbed dose of external gamma-exposure was 0.45 (0.65) Gy – in males (mean(standard deviation)) and 0.37 (0.56) Gy – in females. Mean cumulative dose of internal alpha-exposure to the liver made up 0.18 (0.65) Gy and 0.40 (1.92) Gy, respectively. The analysis included the calculation of relative risks (RR) and excess relative risk per unit dose (ERR/Gy) with the Poisson regression using the AMFIT module of the EPICURE *statistical software* package.

Excess relative risk (ERR), i.e. the relative risk minus one, was described with the help of the linear dependence on the external dose adjusted for non-radiation factors (via stratification) and internal dose, as well as on the internal dose adjusted for the non-radiation factors and external dose. 95% confidence intervals (CI) and statistical significance (*p*-values) were calculated with maximum likelihood methods. All the criteria of statistical significance were two-sided. The differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results: Based on the results of the current study a statistically significant linear dependence of the chronic heart failure incidence on the cumulative liver absorbed dose of external gamma-exposure adjusted for non-radiation factors (sex, attained age, calendar period, smoking status, alcohol consumption) and internal alpha-exposure dose has been established both for males and females.
Conclusion: This is the first study of the chronic heart failure incidence risk in the cohort of workers who had chronic occupational exposure that brings forward evidence of the relationship with the ionizing radiation.

Keywords: *chronic occupational radiation exposure, Mayak PA, heart failure, external exposure by gamma radiation, internal exposure by alpha particles, risk, incidence*

For citation: Briks KV, Azizova TV, Grigoryeva ES, Bannikova MV. Heart Failure in Workers Chronically Exposed to Ionizing Radiation During Occupational Activities. Medical Radiology and Radiation Safety. 2026;71(6):95–100. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-95-100

Введение

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) – это клинический синдром, характеризующийся настоящими или предшествующими симптомами (одышка, повышенная утомляемость, отечность голеней и стоп) и признаками (повышение давления в яремных венах, хрипы в легких, периферические отеки) вследствие нарушения структуры и/или функции сердца, приводящего к снижению сердечного выброса и/или повышению давления наполнения сердца в покое или при нагрузке и/или увеличению уровней натрийуретических пептидов [1].

Известно большое количество причин развития ХСН. В Российской Федерации (РФ) основными причинами ХСН являются артериальная гипертензия (АГ) и ишемическая болезнь сердца (ИБС) [2].

Их комбинация встречается у половины пациентов с ХСН [3]. ИБС является причиной систолической ХСН в двух третях случаев, часто сочетаясь с сахарным диабетом (СД) и АГ [2].

По данным российских эпидемиологических исследований распространенность ХСН в РФ увеличилась с 6,1 до 8,2% в течение 20-летнего наблюдения [3]. До 1990-х годов 60–70% пациентов с ХСН умирали в течение 5 лет. Современная терапия позволила уменьшить как количество повторных госпитализаций в связи с декомпенсацией ХСН, так и смертность [3–5]. Тем не менее, в РФ средняя годовая смертность среди пациентов с ХСН I – IV функционального класса (ФК) составляет 6%, а среди пациентов с клинически выраженной ХСН – 12% [6]. По данным исследования ЭПОХА-ХСН, прогноз пациентов неблагоприятен: при ХСН I – II ФК медиана времени дожития составляет 8,4 (95% доверительный интервал (ДИ): 7,8–9,1) года, а при ХСН III – IV ФК – 3,8 (95% ДИ: 3,4–4,2) года [3].

На протяжении последних десятилетий появляется все больше доказательств связи заболеваемости и смертности от различных сердечно-сосудистых заболеваний с ионизирующим излучением [7–13]. В то же время данные о риске развития ХСН в когортах лиц, подвергшихся хроническому облучению, в доступной нам литературе отсутствуют.

Поэтому целью настоящего исследования была оценка риска развития ХСН (код МКБ-10: I50) в когорте работников, подвергшихся профессиональному хроническому облучению, с учетом нерадиационных факторов: пол, возраст, курение, употребление алкоголя, индекс максы тела (ИМТ), АГ, СД.

Материал и методы

Это исследование является ретроспективным когортным исследованием. Изучаемая когорта включала всех работников, впервые нанятых на предприятие атомной промышленности производственное объединение (ПО) «Маяк» в период 1948–1982 гг. (22377 чел., из них 25% женщин).

Период наблюдения за когортой начинался от даты найма на предприятие и продолжался до даты первого из следующих событий: даты установления диагноза ХСН; даты смерти; 31 декабря 2018 г. для тех работников, которые, как известно, были живы и проживали в г. Озерск, расположенном вблизи ПО «Маяк», (резиденты); даты «последней медицинской информации» для работников с неизвестным жизненным статусом и для тех работников, которые выехали из г. Озерск на другое постоянное место жительства (мигранты). На конец периода наблюдения жизненный статус был известен для 95,4% членов когорты.

Краткая характеристика изучаемой когорты представлена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика изучаемой когорты
Characteristics of the study cohort

Характеристика изучаемой когорты	Мужчины	Женщины	Оба пола
Количество работников, включенных в когорту	16688	5689	22377
Жизненный статус известен на 31.12.2018	15887	5450	21337
Умерли	11017	3345	14362
Причина смерти известна	10989	3339	14328
Средний возраст найма, лет (СтОткл)	24,11 (7,13)	27,32 (7,97)	24,93 (7,48)
Средняя продолжительность работы, лет (СтОткл)	18,35 (14,83)	17,36 (12,79)	18,10 (14,34)
Средний возраст на момент смерти, лет (СтОткл)	62,30 (13,75)	72,06 (12,61)	64,57 (14,11)
Средняя суммарная поглощенная в печени доза внешнего гамма-излучения, Гр (СтОткл)	0,45 (0,65)	0,37 (0,56)	0,43 (0,63)
Количество работников с измеренной альфа-активностью в моче	5574	2432	8006
Средняя суммарная поглощенная в печени доза внутреннего альфа-облучения, Гр (СтОткл)	0,18 (0,65)	0,40 (1,92)	0, 25 (1,19)

Преобладающее большинство работников изучаемой когорты (76,1%) подвергались сочетанному облучению (внешнее гамма- и внутреннее альфа-облучение). Как и в предыдущих исследованиях [10–15] в настоящем исследовании использованы поглощенные в печени дозы внешнего гамма-излучения и внутреннего альфа-излучения, так как в дозиметрической системе работников ПО «Маяк»-2013 («ДСРМ-2013») не представлены поглощенные в сосудах или сердце дозы. Средняя суммарная поглощенная в печени доза внешнего гамма-излучения составила 0,45 (0,65) Гр у мужчин и 0,37 (0,56) Гр у женщин изучаемой когорты.

Согласно ДСРМ-2013, альфа-активность в моче измерена лишь у 35,7% работников (33,2% мужчин и 42,7%

женщин), которые потенциально могли подвергаться воздействию аэрозолей плутония. Средняя суммарная поглощенная в печени доза внутреннего альфа-излучения составила 0,18 (0,65) Гр у мужчин и 0,40 (1,92) Гр у женщин изучаемой когорты.

Настоящий анализ был ограничен периодом проживания в г. Озерск, т.к. информация о заболеваниях и нерадиационных факторах была недоступной для мигрантов. Сравнение проводилось внутри изучаемой когорты.

Оценки ОР и ИОР/Гр рассчитывались с помощью пуассоновской регрессии с использованием модуля AMFIT программы EPICURE [16]. 95%-доверительные интервалы и *p*-значения для проверки статистической значимости были рассчитаны с помощью методов правдоподобия, используя модуль AMFIT. Все критерии статистической значимости были двусторонними. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Как в анализах ОР, так и ИОР, поправка с помощью стратификации была сделана на следующие нерадиационные факторы: пол, достигнутый возраст (< 20, 20–25, …, 80–85, > 85), календарный период (1948–1950, 1951–1955, 1956–1960, …, 2011–2015, 2016–2018), статус курения (никогда не курил, когда-либо курил, курит, неизвестно), статус употребления алкоголя (редко, умеренно, злоупотребление, неизвестно) и дозу внутреннего альфа-облучения при анализе зависимости изучаемого эффекта от гамма-облучения и наоборот.

При оценке ИОР/Гр были проведены анализы чувствительности:

- использование различных периодов лагирования (0, 5, 20, и 30 лет) для дозы внешнего и внутреннего облучения;
- исключение поправок на статус курения и употребление алкоголя;
- включение поправок (с помощью стратификации) на дополнительные факторы: индекс массы тела (ИМТ – неизвестно, ниже нормы, норма, выше нормы, ожирение); наличие подтвержденного диагноза: (гипертензия, сахарный диабет); индекс курения (неизвестно, 0, 0–10, 10–20, > 20 пачка × лет) вместо статуса курения; продолжительность работы (< 1, 1–10, 10–20, ≥ 20 лет); период найма (1948–1958, 1959–1972, 1973–1982); возраст найма (≤ 20, 20–30, ≥ 30);
- ограничение анализа работниками, с продолжительностью работы больше 1 года;
- исключение поправок (с помощью стратификации) на дозу внутреннего облучения при анализе зависимости от дозы внешнего облучения и наоборот.

Также была изучена модификация радиогенного риска заболеваемости ХСН в зависимости от достигнутого возраста, возраста найма, продолжительности работы и календарного периода (с оценкой гетерогенности и лог-линейного тренда ИОР/Гр с: достигнутым возрастом, центрированным к 50 годам; возрастом найма, центрированным к 25 годам; продолжительностью работы, центрированной к 15 годам).

Сведения об отношении работников к курению учитывались за весь период наблюдения и оценивались с помощью качественного и количественного показателей. Сведения об отношении работников к употреблению алкоголя учитывались также за весь период наблюдения и оценивались только с помощью качественного показателя. В настоящем исследовании информация об ИМТ была учтена на момент предварительного медицинского осмотра и, напротив, статус курения и употребления алкоголя фиксировали на момент последней информации. ИМТ рассчитывался как отношение массы тела в килограммах к квадрату роста в метрах. В настоящем исследовании принимались во внимание только те случаи артериальной гипертензии (АГ) и сахарного диабета (СД), которые были установлены до даты диагноза ХСН, то есть в период наблюдения.

Результаты и обсуждение

К концу периода наблюдения в изучаемой когорте работников были верифицированы 4939 случаев хронической сердечной недостаточности (3291 случаев у мужчин и 1648 случаев у женщин) в течение 560039 человеколет наблюдения. Преобладающее большинство случаев ХСН зарегистрированы у мужчин и женщин в возрасте старше 60 лет (71,3% и 86,9% соответственно). Следует отметить, что 16,9% случаев ХСН зарегистрированы у работников, подвергшихся внешнему гамма-облучению в суммарной дозе более 1,0 Гр.

Результаты анализа ОР заболеваемости ХСН у мужчин и женщин изучаемой когорты в различных дозовых категориях внешнего и внутреннего облучения представлены в табл. 2 и 3.

Обнаружен повышенный статистически значимый риск заболеваемости ХСН у мужчин, подвергшихся внешнему гамма-облучению в дозах 0,75–1,0 Гр; 1,0–1,5 Гр; 1,5–2,0 Гр и 2,0–3,0 Гр, и у женщин, подвергшихся внешнему гамма-облучению в дозах 0,75–1,0 Гр и 1,0–1,5 Гр, по сравнению с работниками, подвергшимися облучению в дозе 0–0,1 Гр. В то же время лишь в одной категории суммарной поглощенной в печени дозы внутреннего альфа-облучения (> 1,0 Гр) был обнаружен статистически значимый повышенный риск заболевае-

Таблица 2

Относительный риск заболеваемости ХСН в изучаемой когорте работников для разных диапазонов суммарной поглощенной в печени дозы внешнего гамма-излучения, 10-летний лаг-период

Relative incidence risks of heart failure in the cohort by groups of cumulative liver absorbed external gamma-ray doses, 10-year lag

	Суммарная доза облучения, Гр								
	0–0,1	0,1–0,2	0,2–0,5	0,5–0,75	0,75–1,0	1,0–1,5	1,5–2,0	2,0–3,0	> 3,0
Мужчины	1	1,09 (0,97; 1,22)	1,03 (0,92; 1,15)	1,01 (0,86; 1,18)	1,21 (1,02; 1,44)	1,36 (1,16; 1,60)	1,36 (1,11; 1,66)	1,74 (1,40; 2,16)	1,49 (0,88; 2,38)
Женщины	1	0,92 (0,78; 1,08)	0,99 (0,84; 1,17)	1,05 (0,83; 1,30)	1,46 (1,13; 1,86)	1,35 (1,05; 1,71)	1,07 (0,76; 1,47)	1,44 (0,96; 2,11)	1,05 (0,26; 2,97)

Таблица 3

Относительный риск заболеваемости ХСН в изучаемой когорте работников для разных диапазонов суммарной поглощенной в печени дозы внутреннего альфа-излучения, 10-летний лаг-период

Relative risks of heart failure in the study cohort by groups of cumulative liver absorbed alpha dose of internal exposure, 10-year lag

	Суммарная доза облучения, Гр							
	0–0,025	0,025–0,05	0,05–0,1	0,1–0,15	0,15–0,25	0,25–0,5	0,5–1,0	> 1,0
Мужчины	1	0,95 (0,82; 1,1)	1,08 (0,92; 1,26)	1,09 (0,88; 1,34)	1,00 (0,81; 1,23)	1,20 (0,95; 1,50)	0,83 (0,58; 1,15)	1,48 (1,04; 2,08)
Женщины	1	0,96 (0,77; 1,18)	1,15 (0,90; 1,46)	0,96 (0,71; 1,29)	0,98 (0,74; 1,3)	0,95 (0,70; 1,27)	1,17 (0,77; 1,72)	1,58 (1,08; 2,25)

мости ХСН как у мужчин, так и у женщин изучаемой когорты по сравнению с теми, кто подвергся внутреннему альфа-облучению в дозе 0–0,025 Гр.

Результаты основного анализа заболеваемости ХСН в зависимости от суммарной поглощенной в печени дозы внешнего гамма-излучения с использованием линейной модели с учетом поправок на нерадиационные факторы (пол, достигнутый возраст, календарный период, курение, употребление алкоголя) и дозу внутреннего альфа-облучения представлены в табл. 4.

В результате исследования в изучаемой когорте работников обнаружена статистически значимая линейная зависимость заболеваемости ХСН от суммарной поглощенной в печени дозы внешнего гамма-излучения с учетом поправок на нерадиационные факторы (пол, достигнутый возраст, календарный период, курение, употребление алкоголя) и дозу внутреннего альфа-облучения как у мужчин, так и у женщин (ИОР/Гр = 0,27 (95% ДИ 0,16; 0,40) и ИОР/Гр = 0,27 (95% ДИ 0,10; 0,49) соответственно) – табл. 4 и рис. 1.

У мужчин эта зависимость сохранялась статистически значимой и при ограничении изучаемой когорты работниками, подвергшимися внешнему гамма-облучению в суммарной дозе <3,0 Гр, <2,0 Гр и <1,5 Гр, а у женщин – при ограничении работниками, которые подверглись внешнему гамма-облучению в суммарной дозе <3,0 Гр, <2,0 Гр, <1,5 Гр и <1,0 Гр (табл. 5).

Анализ чувствительности показал, что величина риска заболеваемости ХСН существенно увеличивалась как у мужчин, так и у женщин к 30-летнему лаг-периоду.

Исключение поправки на дозу внутреннего альфа-облучения увеличивало оценку риска заболеваемости ХСН у мужчин и у женщин изучаемой когорты.

Риск заболеваемости ХСН снижался при исключении из модели поправки на курение и употребление алкоголя как у мужчин, так и у женщин изучаемой когорты.

ИОР/Гр внешнего гамма-облучения для заболеваемости ХСН у мужчин увеличивался при включении поправок на индекс массы тела, индекс курения, продолжительность работы, период найма и возраст найма на

Таблица 4

Оценки избыточного относительного риска заболеваемости ХСН в изучаемой когорте работников на единицу суммарной поглощенной в печени дозы внешнего гамма-излучения, 10-летний лаг-период

Excess relative risks of heart failure in the cohort in relation to cumulative liver absorbed external gamma-ray dose, 10-year lag

Тип анализа	ИОР/Гр (95% ДИ)	
	Мужчины	Женщины
1	2	3
Основной анализ, лаг-период 10 лет	0,27 (0,16; 0,40)	0,27 (0,10; 0,49)
Анализ чувствительности – периоды лагирования		
лаг-период 0 лет	0,24 (0,14; 0,36)	0,26 (0,09; 0,47)
лаг-период 5 лет	0,25 (0,14; 0,37)	0,28 (0,11; 0,50)
лаг-период 20 лет	0,24 (0,13; 0,36)	0,28 (0,10; 0,51)
лаг-период 30 лет	0,35 (0,22; 0,50)	0,36 (0,16; 0,61)
Анализ чувствительности; лаг-период 10 лет – исключение из стратификации поправки на:		
Дозу внутреннего альфа-облучения	0,30 (0,20; 0,41)	0,30 (0,16; 0,47)
Оба пола		
Основной анализ; лаг-период 10 лет	0,27 (0,18; 0,38)	
Анализ чувствительности; лаг-период 10 лет – исключение поправки на:		
Курение и употребление алкоголя	0,25 (0,15; 0,36)	0,25 (0,09; 0,45)
Анализ чувствительности; лаг-период 10 лет – включение поправки на:		
Индекс массы тела	0,34 (0,21; 0,49)	0,33 (0,13; 0,60)
Артериальную гипертензию	0,24 (0,13; 0,36)	0,24 (0,07; 0,45)
Сахарный диабет	0,27 (0,16; 0,40)	0,25 (0,08; 0,48)
Индекс курения	0,31 (0,20; 0,45)	0,27 (0,10; 0,48)
Продолжительность работы	0,36 (0,23; 0,52)	0,30 (0,10; 0,56)
Период найма	0,31 (0,19; 0,45)	0,23 (0,06; 0,45)
Возраст найма	0,31 (0,19; 0,47)	0,31 (0,11; 0,58)
Анализ чувствительности; лаг-период 10 лет – ограничен работниками		
Проработавшими дольше года	0,36 (0,22; 0,52)	0,30 (0,10; 0,56)
Анализ чувствительности; лаг-период 10 лет – ограничен работниками достигнутого возраста (лет):		
<50	0,35 (–0,06; 1,09)	0,08 (*n/a*; 2,62)
50–59	0,12 (–0,07; 0,40)	–0,06 (*n/a*; 0,63)
60–69	0,23 (0,06; 0,44)	0,15 (–0,13; 0,61)
70–79	0,40 (0,20; 0,66)	0,37 (0,11; 0,73)
≥80	0,24 (–0,07; 0,76)	0,36 (–0,02; 0,97)
p^a	>0,5	>0,5

Окончание таблицы 4

1	2	3
p^b	0,45	0,37
Анализ чувствительности; лаг-период 10 лет – ограничен работниками; нанятыми в возрасте (лет):		
<20	0,30 (0,04; 0,67)	0,05 (–0,18; 0,48)
20–24	0,41 (0,19; 0,71)	0,60 (0,23; 1,16)
25–29	0,27 (0,02; 0,66)	0,39 (–0,12; 1,42)
≥30	0,14 (–0,08; 0,46)	0,001 (–0,47; 0,79)
p^e	>0,5	0,15
p^d	0,23	>0,5
Анализ чувствительности; лаг-период 10 лет – ограничен работниками; проработавшими в течение (лет):		
<1	7,93 (*n/a*; 35,08)	4,17 (–7,71; 35,46)
1–9	0,37 (0,08; 0,83)	0,44 (0,05; 1,10)
10–19	0,33 (0,05; 0,74)	0,04 (–0,25; 0,47)
≥20	0,35 (0,19; 0,56)	0,38 (0,07; 0,81)
P^e	0,18	0,44
p^f	<0,001	0,34
Анализ чувствительности; лаг-период 10 лет – ограничен работниками с установленным диагнозом до и после 1960 г.		
≤1960	–0,24 (*n/a*; 1,26)	0,30 (*n/a*; 9,07)
>1960	0,28 (0,17; 0,41)	0,27 (0,10; 0,49)
p^g	*n/a*	>0,5

Примечание:

Основной анализ – стратифицировано по полу; достигнутому возрасту; календарному периоду; статусу курения; употреблению алкоголя; дозе внутреннего альфа-облучения

Стратифицировано по полу; достигнутому возрасту; календарному периоду; статусу курения; употреблению алкоголя; дозе внутреннего альфа-облучения,

[a]Тест на гетерогенность между группами работников различного достигнутого возраста на основе критерия отношения правдоподобия,

[b]Тест на лог-линейный тренд ИОР/Гр в зависимости от достигнутого возраста на основе критерия отношения правдоподобия,

[c]Тест на гетерогенность между группами работников различного возраста найма на основе критерия отношения правдоподобия,

[d]Тест на лог-линейный тренд ИОР/Гр в зависимости от возраста найма на основе критерия отношения правдоподобия,

[e]Тест на гетерогенность между группами работников с различной продолжительностью работы на основе критерия отношения правдоподобия,

[f]Тест на лог-линейный тренд ИОР/Гр в зависимости от продолжительности работы на основе критерия отношения правдоподобия,

[g]Тест на гетерогенность между группами работников с диагнозами до и после 1960 года

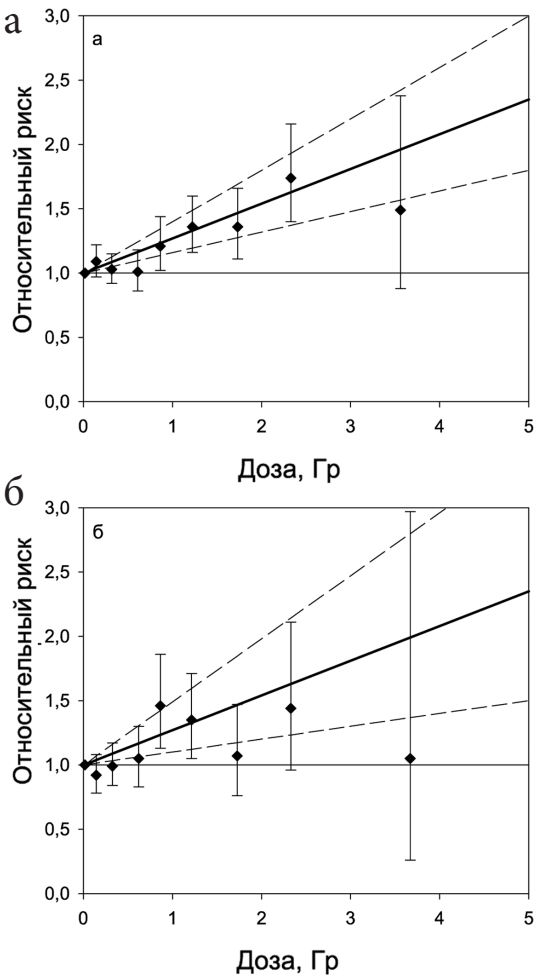


Рис. 1. Зависимость заболеваемости ХСН от суммарной дозы внешнего гамма-облучения, лаг-период 10 лет. а – мужчины, б – женщины
Fig. 1. Heart failure incidence association with cumulative gamma-ray dose of external exposure with 10-year lag. Panel a – males. Panel б – females

предприятие. Включение поправки на АГ снижало, а поправки на СД не изменяло оценку риска у мужчин. Для женщин включение поправок на дополнительные нерадиационные факторы (ИМТ, продолжительность работы и возраст найма) увеличивало оценку риска заболеваемости ХСН: поправка на индекс курения не изменяла, а поправки на АГ, СД и период найма – снижали.

Ограничение анализа работниками, проработавшими больше года, приводило к увеличению оценки риска заболеваемости ХСН как у мужчин, так и у женщин изучаемой когорты (ИОР/Гр = 0,36 (95% ДИ 0,22; 0,52) и ИОР/Гр = 0,30 (95% ДИ 0,10; 0,56) соответственно).

Статистически значимое повышение риска заболеваемости ХСН обнаружено у мужчин и у женщин в возрасте 70–79 лет (табл. 4).

Статистически значимый повышенный риск заболеваемости ХСН выявлен у мужчин, нанятых на предприятие в возрасте до 20 лет и 20–24 года, а также у женщин, нанятых в возрасте 20–24 года.

У мужчин, проработавших на предприятии более 1 года и у женщин, проработавших 1–9 лет и более 20 лет, риск заболеваемости ХСН был статистически значимо выше.

Не выявлено влияния календарного периода установления диагноза на оценку риска заболеваемости ХСН как у мужчин, так и у женщин изучаемой когорты (табл. 4).

Обсуждение

Результаты настоящего исследования свидетельствуют о статистически значимой линейной зависимости заболеваемости ХСН от суммарной поглощенной в печени дозы внешнего гамма-облучения с учетом поправок на нерадиационные факторы (пол, достигнутый возраст, календарный период, курение, употребление алкоголя) и дозу внутреннего альфа-облучения как у мужчин, так и у женщин. Причем, у мужчин эта зависимость сохранялась статистически значимой и при ограничении изучаемой когорты работниками, подвергшимися внешнему гамма-облучению в суммарной дозе <3,0 Гр, <2,0 Гр и <1,5 Гр, а у женщин – при ограничении работниками, которые подверглись внешнему гамма-облучению в суммарной дозе <3,0 Гр, <2,0 Гр, <1,5 Гр и <1,0 Гр.

Сравнение полученных результатов с таковыми, полученными в других работах, невозможно в связи с тем, что исследования зависимости доза–эффект для заболеваемости ХСН в других когортах лиц, подвергшихся хроническому облучению, отсутствуют.

Как сообщалось ранее [10, 15], исследования когорты работников ПО «Маяк» имеет ряд преимуществ: большая численность (более 22000 чел.); длительный период наблюдения (1948–2018 гг.); гетерогенность когорты по полу и возрасту; индивидуальные измеренные годовые дозы внешнего гамма-облучения; широкий диапазон доз пролонгированного облучения с низкой мощностью дозы; известные жизненный статус (96%) и причины смерти (99%); полные и качественные данные обо всех заболеваниях за весь период наблюдения (97%); достаточная статистическая мощность исследования.

Одним из главных преимуществ изучаемой когорты является то, что все работники, независимо от образования, места работы, профессии, дозы облучения помимо предварительного медицинского обследования (до найма на предприятие) проходили обязательные ежегодные медицинские обследования по единой стандартной программе. Эти обследования включали осмотры врачей разных специальностей (терапевт, гематолог, невролог, эндокринолог, дерматолог, окулист, хирург и др.), инструментальные, функциональные и лабораторные исследования. Кроме этого, во время медицинских осмотров измеряли рост и вес тела, артериальное давление, а также проводили опрос по стандартной анкете о нерадиационных

Таблица 5

Избыточный относительный риск заболеваемости ХСН на единицу дозы в изучаемой когорте работников в различных диапазонах суммарных поглощенных в печени доз внешнего гамма-излучения, 10-летний лаг-период

Excess relative risks of heart failure in the cohort by ranges of cumulative liver absorbed external gamma-ray doses, 10-year lag

	Суммарная доза облучения, Гр								
	<0,1	<0,2	<0,5	<0,75	<1,0	<1,5	<2,0	<3,0	Весь диапазон
Мужчины	0,61 (–1,60; 3,34)	0,77 (–0,28; 2,02)	0,19 (–0,17; 0,62)	0,02 (–0,22; 0,29)	0,13 (–0,06; 0,35)	0,25 (0,10; 0,42)	0,23 (0,11; 0,38)	0,28 (0,17; 0,41)	0,27 (0,16; 0,40)
Женщины	1,33 (–1,24; 4,54)	–0,40 (–1,52; 0,97)	0,32 (–0,24; 0,99)	0,27 (–0,11; 0,72)	0,56 (0,21; 0,97)	0,52 (0,26; 0,84)	0,34 (0,13; 0,59)	0,30 (0,12; 0,52)	0,27 (0,10; 0,49)

факторах, в первую очередь о курении и употреблении алкоголя, семейном анамнезе. Все первичные данные с результатами всех проведенных за весь период наблюдения медицинских обследованиях хранятся на бумажных носителях, и часть из них введена в медико-дозиметрическую электронную базу данных «Клиника» [17].

Основным недостатком настоящего исследования является ограничение анализа заболеваемости периодом проживания в г. Озерске (город, расположенный в непосредственной близости ПО «Маяк»), так как полная информация о заболеваниях и нерадиационных факторах недоступна для работников, выехавших на другое постоянное место жительство. Кроме того, к слабым сторонам исследования следует отнести качество оценок доз внутреннего альфа-облучения, обусловленное погрешностями измерений альфа-активности в биосубстратах, а также с некоторыми неопределенностями биокинетических и дозиметрических моделей. Об этом мы неоднократно указывали ранее [10, 14, 15]. В то же время, следует отметить, что в настоящем исследовании мы использовали улучшенные оценки доз внутреннего альфа-облучения на основе новой дозиметрической системы работников ПО «Маяк» – ДСРМ-2013 [18].

Заключение

Настоящее исследование – это первое исследование ХСН, в котором дана оценка влияния ионизирующего излучения на заболеваемость ХСН у работников, подвергшихся профессиональному хроническому облучению.

Установлена статистически значимая линейная зависимость заболеваемости ХСН от суммарной поглощенной в печени дозы внешнего гамма-излучения с учетом поправок на нерадиационные факторы (пол, достигнутый возраст, календарный период, курение, употребление алкоголя) и дозу внутреннего альфа-облучения как у мужчин, так и у женщин.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Галявич А.С., Терещенко С.Н., Ускач Т.М. и др. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2024 // Российский кардиологический журнал. 2024. Т.29. №11. С. 6162 [Galyavich A.S., Tereshchenko S.N., Uskach T.M., et al. Chronic Heart Failure. Clinical Guidelines 2024. *Rossiyskiy Kardiologicheskiy Zhurnal* = Russian Journal of Cardiology. 2024;29;11:6162 (In Russ.)]. Doi: 10.15829/1560-4071-2024-6162.
2. Ситникова М.Ю., Лясникова Е.А., Юрченко А.В., Трукшина М. А., Либис Р.А., Кондратенко В.Ю., Дупляков Д.В., Хохлунов С.М., Шляхто Е.В. Результаты Российского госпитального регистра ХСН в 3 субъектах Российской Федерации // Кардиология. 2015. Т.55. №10. С. 5–13 [Sitnikova M. Yu., Lyasnikova Ye. A., Yurchenko A.V., Trukshina M. A., Libis R.A., Kondratenko V.YU., Duplyakov D.V., Khokhlunov S.M., Shlyakhto Ye.V. Results of the Russian Hospital Registry of CHF in 3 Subjects of the Russian Federation. *Kardiologiya* = Cardiology. 2015;55;10:5–13 (In Russ.)]. Doi: 10.18565/cardio.2015.10.5-13.
3. Поляков Д.С., Фомин И.В., Беленков Ю.Н. и др. Хроническая сердечная недостаточность в Российской Федерации: что изменилось за 20 лет наблюдения? Результаты исследования ЭПОХА –ХСН // Кардиология. 2021. Т.61. №4. С. 4-14 [Polyakov D.S., Fomin I.V., Belenkov Yu.N., et al. Chronic Heart Failure in the Russian Federation: What Has Changed Over 20 Years of Follow-Up? Results of the EPOCHA-CHF Study. *Kardiologiya* = Cardiology. 2021;61;4:4-14 (In Russ.)]. Doi: 10.18087/cardio.2021.4.n1628
4. Терещенко С.Н., Жиров И. В., Нарусов О.Ю., Мареев Ю.В., Затейщиков Д.А., Осмоловская Ю.Ф., Овчинников А.Г., Самко А.Н., Насонова С.Н., Стукалова О.В., Саидова М.А., Скворцов Д.А., Шария М.А., Явелов И.С. Диагностика и лечение хронической и острой сердечной недостаточности // Кардиологический вестник. 2016. №2. С. 3-33 [Tereshchenko S.N., Zhirov I. V., Narusov O.Yu., Mareyev Yu.V., Zateyshchikov D.A., Osmolovskaya Yu.F., Ovchinnikov A.G., Samko A.N., Nasonova S.N., Stukalova O.V., Saidova M.A., Skvortsov D.A., Shariya M.A., Yavelov I.S. Diagnosis and Treatment of Chronic and Acute Heart Failure. *Kardiologicheskiy Vestnik* = Russian Cardiology Bulletin. 2016;2:3-33 (In Russ.)].
5. Kapoor J.R., Kapoor R., Ju C., Heidenreich P.A., Eapen Z.J., Hernandez A.F., Butler J., Yancy C.W., Fonarow G.C. Precipitating Clinical Factors, Heart Failure Characterization, and Outcomes in Patients Hospitalized with Heart Failure with Reduced, Borderline, and Preserved Ejection Fraction. JACC Heart Fail. 2016;4;6:464-72. Doi:10.1016/j.jchf.2016.02.017.
6. Фомин И.В. Хроническая сердечная недостаточность в Российской Федерации: что сегодня мы знаем и что должны делать // Российский кардиологический журнал. 2016. Т.8. №136. С. 7-13 [Fomin I.V. Chronic Heart Failure in the Russian Federation: What We Know Today and What We Should Do. *Rossiyskiy Kardiologicheskiy Zhurnal* = Russian Journal of Cardiology. 2016;8;136:7-13 (In Russ.)]. Doi: 10.15829/1560-4071-2016-8-7-13.
7. Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I. New York, United Nations, 2008. 383 p.
8. Moseeva M.B., Azizova T.V., Grigoryeva E.S., Haylock R.G. Risks of Circulatory Diseases among Mayak PA Workers with Radiation Doses Estimated Using the Improved Mayak Worker Dosimetry System 2008. Radiat. Environ. Biophys. 2014;53;2:469-477. Doi: 10.1007/s00411-014-0517-x
9. Azizova T.V., Haylock R.G., Moseeva M.B., Bannikova M.V., Grigoryeva E.S. Cerebrovascular Diseases Incidence and Mortality in an Extended Mayak Worker Cohort 1948-1982. Radiation Research. 2014;182;5:529–544. Doi: 10.1667/RR13680.1
10. Azizova T.V., Grigoryeva E.S., Haylock R.G., Pikulina M.V., Moseeva M.B. Ischaemic heart Disease Incidence and Mortality in an Extended Cohort of Mayak Workers First Employed in 1948-1982. The British Journal of Radiology. 2015;88;1054:20150169. Doi: 10.1259/bjr.20150169.
11. Takahashi I., Shimizu Y., Grant E.J., Cologne J., Ozasa K., Kodama K. Heart Disease Mortality in the Life Span Study, 1950-2008. Radiation research. 2017;187;3:319–332. Doi: 10.1667/RR14347.1
12. Gillies M., Richardson D.B., Cardis E., Daniels R.D., O'Hagan J.A., Haylock R., Laurier D., Leuraud K., Moissonnier M., Schubauer-Berigan M.K., Thierry-Chef I., Kesminiene A. Mortality from Circulatory Diseases and other Non-Cancer Outcomes among Nuclear Workers in France, the United Kingdom and the United States (INWORKS). Radiation Research. 2017;188;3:276–290. Doi: 10.1667/RR14608.1.
13. Little M.P. Radiation and Circulatory Disease. Mutation Research. Reviews in Mutation Research. 2016;770(Pt B):299–318. Doi: 10.1016/j.mrrev.2016.07.008.
14. Azizova T.V., Grigorieva E.S., Hunter N., Pikulina M.V., Moseeva M.B. Risk of Mortality from Circulatory Diseases in Mayak Workers Cohort Following Occupational Radiation Exposure. Journal of Radiological Protection: Official Journal of the Society for Radiological Protection. 2015;35;3:517–538. Doi: 10.1088/0952-4746/35/3/517
15. Azizova T.V., Briks K.V., Bannikova M.V., Grigoryeva E.S. Hypertension Incidence Risk in a Cohort of Russian Workers Exposed to Radiation at the Mayak Production Association Over Prolonged Periods. Hypertension. 2019;73;6:1174–1184. Doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.118.11719
16. Preston D., Lubin J., Pierce D., McConney M. Epicure Users Guide. Seattle, Hirosoft, 1993. 875 p.
17. Azizova T.V., Day R.D., Wald N., Muirhead C.R., O'Hagan J.A., Sumina M.V., Belyaeva Z. D., Druzhinina M. B., Teplyakov I. I., Semenikhina N. G., Stetsenko L. A., Grigoryeva E.S., Krupenina L.N., Vlasenko E.V. The "Clinic" Medical-Dosimetric Database of Mayak Production Association Workers: Structure, Characteristics and Prospects of Utilization. Health Physics. 2008;94;5:449–458. Doi: 10.1097/01.HP.0000300757.00912.a2
18. Napier B.A. The Mayak Worker Dosimetry System (MWDS-2013): an Introduction to the Documentation. Radiation Protection Dosimetry. 2017;176;1-2:6–9. Doi: 10.1093/rpd/ncx020.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Государственного контракта от 6 июня 2024 г. №11.313.24.2 с Федеральным медико-биологическим агентством «Оценка эффектов хронического облучения и изучение их патогенеза для совершенствования медицинского обеспечения персонала и населения, подвергшихся радиационному воздействию».

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.06.2026. Принята к публикации: 25.07.2026.

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

Financing. The study was carried out within the framework of the state contract as of 6 June 2024 №11.313.24.2 with Federal medical biological agency titled "Assessment of chronic radiation exposure effects and study of their pathogenesis for improvement of medical provision for personal and population exposed to radiation".

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.06.2026. Accepted for publication: 25.07.2026.