DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-80-90
УДК: 616-073.756.8:616-006.6

Ретроспективный анализ онкологической заболеваемости пациентов после проведения компьютерной томографии

М.В. Осипов[1], В.Ю. Шкаредных[2], В.С. Логинов[3], В.В. Мельников[3], П.С. Дружинина[4], М.Э. Сокольников[1]

[1] Южно-Уральский институт биофизики, Озёрск, Россия
[2] Областная клиническая больница № 3, Челябинск, Россия
[3] Районная больница города Касли, Касли, Россия
[4] Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

В статье проведён анализ онкологической заболеваемости пациентов в течение 10 лет после проведения диагностических исследований методом компьютерной томографии в зависимости от различных факторов. Для проведения исследования была собрана информация о жителях Озёрского городского округа, обследованных методом компьютерной томографии в Районной больнице г. Касли. Начало периода наблюдения 01.01.2009 г. соответствует вводу в эксплуатацию компьютерного томографа в отделении лучевой диагностики Каслинской районной больницы, окончание периода наблюдения соответствовало дате последнего уточненного жизненного статуса пациентов (31 декабря 2018 г.). Данные, полученные в исследовании, были сверены с данными ракового регистра и регистра умерших, а также с базой данных «Регистр КТ» для получения информации о жизненном статусе, заболеваемости злокачественными новообразованиями и КТ-исследованиях, проведённых вне Каслинской районной больницы. При оценке накопленной заболеваемости были учтены состояния, предшествующие онкологическим заболеваниям, диагнозы рака, выявленные до даты первого КТ-исследования, а также случаи рака, диагностированные при помощи КТ. В результате проведённого исследования получена информация о 275 обследованиях 246 жителей Озёрского городского округа. К концу периода наблюдения в исследуемой группе накоплено 46 диагнозов злокачественных новообразований. Среднее время наблюдения составило 6,5 года. Распределение канцерогенных эффектов среди пациентов, обследованных на КТ, представлено ретроспективно от даты рождения пациента до 31 декабря 2018 г. (даты окончания наблюдения). Проведено сравнение показателя накопленной заболеваемости злокачественными новообразованиями в исследуемой группе с результатами, полученными в когорте LSS, с поправкой на предрасполагающие состояния. Эпидемиологических данных о связи выявленных случаев злокачественных новообразований с действием диагностического излучения при проведении КТ не найдено. Данные, полученные в ходе исследования, предоставляют информацию об отдалённых онкологических эффектах после проведения компьютерной томографии, а также являются источником информации для комплексной оценки радиационного риска диагностического облучения в когорте.

Ключевые слова: *радиационный риск, малые дозы облучения, рентгеновское излучение, компьютерная томография, заболеваемость, рак.*

Введение

Радиационный канцерогенез в области малых доз представляет особый интерес для исследователей в связи со стохастической природой эффектов радиационного воздействия на организм человека [1]. Наибольшее внимание, с точки зрения радиационно-гигиенического нормирования, уделяется техногенной составляющей совокупного радиационного фона, которая наиболее значимо возросла за счет рентгенодиагностических исследований [2]. За последние десятилетия современные методы лучевой диагностики, в том числе компьютерная томография (КТ), стали вносить значительный вклад в коллективную дозу населения Земли от источников техногенной радиации [3]. Это делает необходимой оценку радиогенного риска для обеспечения радиационной безопасности пациентов при проведении компьютерной томографии.

Несмотря на значительное количество опубликованных за последние десятилетия научных исследований по этому вопросу [4], оценка радиационного риска в области действия малых доз диагностического излучения в насто-

Осипов Михаил Викторович
Южно-Уральский институт биофизики
Адрес для переписки: 456780 Озёрск, Челябинская область, Озёрское шоссе 19-108; Email: Osipov@subi.su

ящее время является предметом дискуссий. Отсутствие специфических маркеров радиационного канцерогенеза, а также значительная вариабельность канцерогенных эффектов в зависимости от различных сопутствующих факторов радиационной и нерадиационной природы осложняют проблему оценки радиационного риска в области малых доз.

Согласно результатам эпидемиологического исследования, являющегося источником данных, используемых в современной радиационной защите (когорта LSS, Life Span Study), значимые результаты оценки радиационного риска были получены для лиц, дозы облучения которых превышали 100 мГр для внешнего облучения [5]. При этом в области высоких доз получены доказательства линейности тренда «доза – эффект». На основании этого для оценки радиационного риска в области малых доз было предложено использование экстраполяции значений радиационного риска из области высоких доз в соответствии с линейной беспороговой концепцией (ЛБК), предполагающей наличие радиационно-индуцированных эффектов при сколь угодно малой дозе облучения. Поскольку данная концепция не имеет прямого подтверждения фактическими данными в области малых доз, существует несколько альтернативных точек зрения, результатом которых стало появление надпороговой, линейной беспороговой, подпороговой моделей, а также модели радиационного гормезиса (рис. 1). Ввиду своей математической простоты линейная беспороговая модель получила наибольшее распространение.

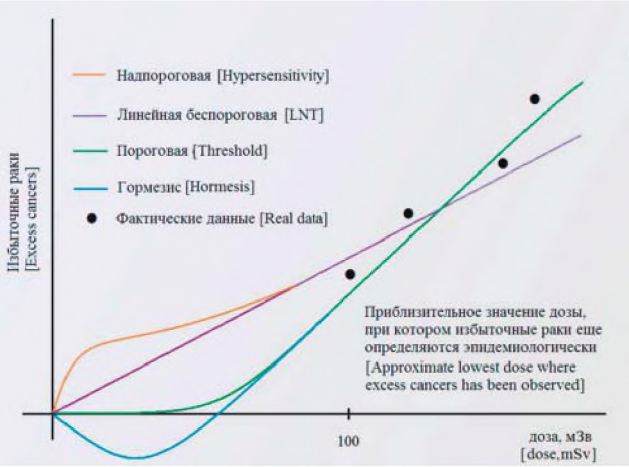

Рис. 1. Модели радиационного риска и эпидемиологические данные (по материалам Канадской комиссии по ядерной безопасности, 2015)[1]
[Fig. 1. Radiation risk models and the epidemiological data (Adopted from Canadian nuclear safety commission, 2015)[1]]

Экстраполяция значений риска на основании ЛБК успешно применяется в целях радиационно-гигиенического нормирования. В результате использования такого подхода были установлены допустимые уровни радиационного облучения для населения и профессионалов, подвергающихся производственному воздействию ионизирующего излучения. При этом особенности сценария медицинского диагностического облучения, для которого характерно неравномерное (локальное) воздействие, и связанные с ним особенности, включая возрастной состав и исходное состояние здоровья обследуемых, а также малые дозы [6], имеющие тенденцию к накоплению при повторных обследованиях [7], являются поводом для аргументированной критики применимости ЛБК в целях радиационной защиты пациентов [8].

Фактологической базой для обеспечения надежности радиационно-гигиенического нормирования в области малых доз является проведение эпидемиологических исследований с целью оценки риска развития отдалённых эффектов с учетом возможного влияния мешающих факторов радиационной и нерадиационной природы [9]. В случае, когда в роли радиационного фактора выступает диагностическое излучение, для которого характерны неоднократные эпизоды воздействия диагностического излучения в течение длительного периода, являющиеся типичными для обследований пациентов с хроническими заболеваниями, особого внимания требует учёт всей индивидуальной истории облучения пациента с целью недопущения переоценки совокупного радиационного риска, вызванного недооценкой дозы.

Цель исследования – оценка отдалённых онкологических эффектов в результате воздействия диагностического излучения на организм человека, во взаимосвязи с современными представлениями о радиационном риске в области малых доз. Настоящее исследование представляет дополнительный кластер данных для расширения базы данных «Регистр КТ» [10], используемой для проведения расширенного многоцентрового эпидемиологического исследования Озёрской когорты обследованных на КТ («ОККТ», «OCTC study»), которое предназначено для оценки радиогенного риска в результате проведения компьютерной томографии. Данные, полученные в исследовании, позволяют учесть дополнительные эпизоды облучения членов когорты ОККТ и минимизировать неопределенности в оценке радиационного риска вследствие недооценки совокупной дозы диагностического облучения пациента.

Материалы и методы

Источником информации для проведения исследования являлся архив отделения компьютерной томографии ГБУЗ «Районная больница г. Касли» (КРБ), расположенной на Южном Урале в 15 км от города Озёрск и производственного объединения «Маяк» (ПО «Маяк») – предприятия по производству компонентов ядерного оружия, изотопов, хранению, регенерации и утилизации ядерного топлива и радиоактивных отходов.

Эпидемиологическое исследование было проведено ретроспективно. В исследуемую группу вошли жите-

[1] Канадская комиссия по ядерной безопасности. Официальный сайт. URL: https://nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/health/linear-non-threshold-model/index.cfm (Дата обращения: 09.08.2021) [Canadian nuclear safety commission. Official site. Available from: https://nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/health/linear-non-threshold-model/index.cfm (Accessed: 09.08.2021)]

ли Озёрского городского округа (ОГО), обследованные в отделении лучевой диагностики КРБ на компьютерном томографе «Somatom Spirit» фирмы «Siemens Healthcare Diagnostics». Дата начала наблюдения соответствовала внедрению в начале 2009 г. нового метода рентгеновской диагностики – компьютерной томографии – в клиническую практику КРБ. Дата окончания наблюдения (31 декабря 2018 г.) соответствовала дате последнего уточнения информации о жизненном статусе населения ОГО. Критериями включения в исследуемую группу были:

— проживание в пределах Озёрского городского округа;

— прохождение КТ-исследования в КРБ.

Изучаемым фактором риска являлось воздействие рентгеновского диагностического излучения при проведении компьютерной томографии. Исследуемым эффектом являлось установление у пациента диагноза злокачественного новообразования в период после проведения КТ-исследования.

Для проведения исследования из архивных журналов КТ-исследований была собрана медико-дозиметрическая информация, включая пол пациента, возраст на момент исследования, исследованную область тела, использование контрастирования, количество сканирований, клинический диагноз и заключение рентгенолога после проведения КТ. Собранные из первичных источников данные были внесены в электронную базу данных (кластер КРБ).

Информация о жизненном статусе, причинах смерти и заболеваемости онкологическими заболеваниями населения ОГО была получена из популяционных регистров, созданных и поддерживаемых в Южно-Уральском институте биофизики. Данные о дате и диагнозе онкологического заболевания были получены из контрольных карт пациентов, внесённых в базу данных «Канцер-регистр» на дату 31 декабря 2019 г. Данные, полученные в ходе исследования, также были связаны с базой данных «Регистр КТ» для учета количества КТ-исследований, проведённых в других лечебных учреждениях Челябинской области. Источники информации о диагностических КТ-исследованиях населения ОГО вне КРБ описаны в исследовании [11].

Время под наблюдением для каждого пациента вычислялось от даты первого КТ-обследования до даты установления диагноза первого злокачественного новообразования (C00–C97), даты смерти или даты окончания наблюдения, в зависимости от того, что наступит раньше. Период наблюдения для лиц с онкологическими заболеваниями заканчивался датой диагноза первого ЗНО. Случаи вторых и последующих ЗНО исключались из анализа в связи с влиянием предшествующего рака как дополнительного фактора риска [12]. Наблюдения, в которых изучаемое событие (диагноз ЗНО) не наступило к моменту окончания периода наблюдения, цензурировались.

Расчёт эффективной дозы (ЭД) для каждого исследования выполнялся персоналом отделения КТ согласно методическим указаниям МУ 2.6.1.3584-19 («Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении рентгенодиагностических исследований») с использованием значения dose-length product (DLP, мГр*см) и значения коэффициентов $E_{(i)/DLP}$ (мЗв/мГр*см) для различных областей сканирования и возраста пациентов на момент проведения исследования. Суммарная величина ЭД определялась с учётом количества диагностических КТ, выполненных до даты установления диагноза ЗНО.

Случаи ЗНО, накопленные в исследуемой группе, разделялись на две категории в зависимости от даты первого обследования на КТ:

1) рак диагностирован до первого КТ;

2) рак диагностирован после первого КТ.

Показатель накопленной заболеваемости (CI_{10}) рассчитывался как количество случаев рака (n) в исследуемой группе, накопленное к концу периода наблюдения, по отношению к общему количеству наблюдаемых (N) на дату окончания периода наблюдения.

Лица с диагнозом ЗНО, установленным до даты 1-го КТ (n_0), считались неэкспонированными по отношению к изучаемому фактору (воздействию диагностического излучения при КТ). Предрасполагающие к установлению диагноза ЗНО состояния были определены как состояния, при которых клинический диагноз пациента при направлении или заключение врача КТ содержали информацию, относящуюся к опухолевому процессу. Случаи с предрасполагающими состояниями (n_1) также рассматривались как не связанные с воздействием КТ. В соответствии с этим показатель накопленной заболеваемости в исследуемой группе за 10-летний период наблюдения для новых случаев, экспонированных по отношению к изучаемому фактору (CI_{10}), рассчитывался согласно формуле 1:

$$CI_{10} = \frac{n-(n0+n1)}{N-(n0+n1)} \quad (1)$$

где n – общее количество первых раков, накопленных в исследуемой группе с момента рождения до конца наблюдения,

n_0 – случаи рака, подтвержденные во время или до 1-го КТ-исследования,

n_1 – случаи рака, подтвержденные после 1-го КТ-исследования с предрасполагающими состояниями, установленными до исследования,

N – общее количество пациентов в исследуемой группе.

Ожидаемое количество избыточных случаев (ИС) в каждой возрастной группе для пациентов КРБ вычислялось с использованием данных национальной статистики за 2009–2014 гг.[2] по формуле (2):

$$\text{ИС ЗНО}_{\text{КРБ}} = \frac{\lambda(\text{РФ})}{100\,000} * PYR(\text{КРБ}) \quad (2)$$

где λ(РФ) – повозрастной показатель заболеваемости ЗНО всех локализаций в России на 100 000 человеко-лет,

PYR(КРБ) – количество человеко-лет, накопленных в когорте КРБ на момент окончания наблюдения.

[2] Злокачественные новообразования в России (заболеваемость и смертность) за 2009–2014 годы. Ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена. 2019, 250 с. [Malignant neoplasms in Russia in 2018 (morbidity and mortality). Eds. Kaprin, V.V. Starinsky, G.V. Petrova. Moscow. MNIOI after P.A. Herzen, branch of the Federal State Budgetary Institution «National Medical Research Center of Radiology», Ministry of Health of Russia, 2019. 250 p. (In Russ.)]

Статистический анализ данных был выполнен с использованием статистического программного обеспечения «Stata» [13]. Данные были обработаны с использованием общепринятых методов статистики, для средних величин указывалось стандартная ошибка среднего по формуле (3):

$$S.E. = \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (3)$$

где s – стандартное отклонение выборочного среднего,

N – объём выборки.

Для оценки полученных результатов использовался общепринятый уровень значимости 0,95. Значение вероятности (p), при котором отвергалась гипотеза об отсутствии значимого влияния исследуемого фактора, было принято на уровне 0,05.

Результаты и обсуждение

Из архивных протоколов было получено 275 записей исследований 246 жителей ОГО, проходивших КТ-диагностику в КРБ за период с 2009 по 2018 г. Исследуемая группа включала 113 мужчин (45,9%) и 133 (54,1%) женщины в возрасте на момент проведения 1-го КТ от 8 до 85 лет. Средний возраст пациентов составлял 52,5±1,0 года. Количество лиц, обследованных в детском возрасте (до 18 лет), составило 6 человек (средний возраст 10,0±0,5 лет).

11,8% пациентов исследуемой группы проходили повторные КТ-исследования (в среднем 3,5±0,6 процедуры) в КРБ в течение всего периода наблюдения, длительность которого варьировала от 0 до 10 лет (в среднем 6,5±0,17 лет). В 17,5% исследований использовалось болюсное внутривенное введение йодсодержащего контраста. Количество сканирований в исследованиях с контрастированием варьировало от 1 до 5. Количество и доля обследований в зависимости от анатомической области, а также среднее значение эффективной дозы (ЭД) и его стандартная ошибка с учётом количества выполненных сканирований представлены в таблице 1.

Наибольшая доля исследований приходилась на область головного мозга (44,4%). Брюшная полость (включая поясничный отдел позвоночника) и грудная клетка были исследованы в 22,9% и 12,7% случаев соответственно. Доля остальных локализаций среди всех исследований составила менее 7%. Среднее значение ЭД в исследуемой группе за одно диагностическое КТ-исследование составило 1,96±0,12 мЗв (2,2±0,19 мЗв для мужчин, и 1,8±0,16 мЗв для женщин).

Оценка жизненного статуса и заболеваемости ЗНО

Информация о жизненном статусе получена по состоянию на 31 декабря 2018 г. К моменту окончания наблюдения умерло 36 пациентов (14,6%), из них в 19 случаях причиной смерти стало злокачественное новообразование. Количество пациентов, которые были живы и не имели диагноза ЗНО на дату окончания наблюдения, составило 77,1%.

Общее количество диагнозов заболевания ЗНО, накопленных в исследуемой группе, составило 46 (18,7%). В таблице 2 представлена структура заболеваемости ЗНО в исследуемой группе за период от даты рождения пациента до даты окончания наблюдения в зависимости от локализации рака.

Из 46 случаев ЗНО, накопленных в исследуемой группе ЗНО на дату окончания наблюдения, 30 случаев рака (65,2%) были диагностированы до 1-го КТ-исследования, проведенного в КРБ (t <= 0), при этом 20 случаев рака были диагностированы в течение предшествующих 5 лет. Остальные 16 диагнозов ЗНО (34,8%) были установлены в течение 5 лет после первого КТ-исследования. Распределение случаев ЗНО, накопленных в исследуемой группе в течение периода наблюдения, в зависимости от даты первого КТ представлено в таблице 3.

Таблица 1

Распределение количества выполненных КТ в зависимости от области исследования и средняя доза за одно исследование

[Table 1

Distribution of CT examinations by the area observed, and the average dose per one CT examination]

Обследуемая область [Area examined]	Исследований [Examinations]	%	ЭД, мЗв (S.E.) [ED, mSv (S.E.)
Голова [Head]*	122	44,4	0,8 (0,02)
Шея [Neck]	18	6,5	0,5 (0,04))
Грудная клетка [Thorax]*	35	12,7	2,3 (0,29)
Грудной отдел позвоночника [Thorax spine]	19	6,9	1,9 (0,16)
Брюшная полость и малый таз [Abdomen and pelvis]*	17	6,2	7,0 (0,53)
Поясничный отдел позвоночника [Lumbar spine]	46	16,7	3,6 (0,2)
Прочее** [Other]	18	6,5	0,97 (0,32)
Всего [Total]	275	100,0	–

* Включая исследования с контрастированием [including contrast enhancement];

**Включая суставы, конечности и смежные локализации [including joints, limbs and adjacent sites].

Таблица 2

Структура онкологической заболеваемости в зависимости от локализации ЗНО

[Table 2

The structure of cancer incidence depending on cancer site]

№	Локализация ЗНО [Cancer site]	n	Доля,% [Proportion,%]
1	Орофарингеальная зона [Oropharyngeal area)	1	2,2
2	ЖКТ [Gastrointestinal)	5	10,9
3	Органы дыхания [Respiratory]	9	19,6
4	Кожа, кости и соединительная ткань [Skin, bone and connective tissue]	6	13,0
5	Репродуктивная система, женщины [Reproductive system, female]	3	6,5
6	Репродуктивная система, мужчины [Reproductive system, male]	5	10,9
7	Выделительная система [Urinary system]	3	6,5
8	ЦНС [Central nervous system]	9	19,6
9	Другие и не точно обозначенные [Other and non-specified]	2	4,3
10	Лейкозы (Leukemia]	3	6,5
11	Всего [Total]	46	100,0

Таблица 3

Период времени между датой первого КТ-исследования и диагнозом ЗНО

[Table 3

The time between the date of the first CT scan and cancer]

Время, лет [time, years]	n	Доля,% [Proportion,%]
> 10 лет перед КТ [> 10 years before CT]	7	15,2
5–10 лет перед КТ [5 – 10 years before CT]	3	6,5
0–5 лет перед КТ [0 – 5 years before CT]	18	39,1
0–1 год после КТ [0 – 1 year before CT]	14	30,4
2–5 лет после КТ [2 – 5 years after CT]	4	8,7
Всего [Total]	46	100,0

Данные, приведённые в таблице 3, иллюстрируют особенности «госпитальной когорты», характеризующиеся наличием значительного количества лиц с предшествующим онкологическим анамнезом. При этом наибольшее количество диагнозов ЗНО, накопленных в данной группе, было установлено в течение последних 5 лет перед первым исследованием на КТ.

Предрасполагающие состояния

Согласно записям в протоколах обследований, в 8 случаях из 16 ЗНО, диагностированных после 1-го КТ, диагноз при направлении уже содержал упоминание о подозрении на злокачественное новообразование. Данные 8 случаев были исключены из анализа, так как воздействие диагностического излучения при проведении КТ не могло являться фактором риска появления онкологического процесса.

Исходя из этого, накопленная заболеваемость ЗНО в группе экспонированных (CI_{exp}), исключая случаи, не связанные с воздействием диагностического излучения при КТ, составила 3,8%. В таблице 4 приведены клинико-дозиметрические характеристики для этих случаев ЗНО, включая пол, возраст на момент исследования, суммарное количество выполненных в течение жизни КТ-исследований ($КТ_{\Sigma}$), суммарная эффективная доза за все КТ-исследования (ЭД), диагноз ЗНО согласно МКБ-10, стадия, на которой диагноз ЗНО был установлен, а также причина смерти и период наблюдения за пациентом (Т).

Среднее значение ЭД, накопленной с учетом предыдущих обследований вне КРБ, для указанных случаев ЗНО составило 6,7±6,0 мЗв. Среди них было диагностировано 2 опухоли головного мозга (0,96%), 2 ЗНО предстательной железы (0,96%), по 1 случаю ЗНО поджелудочной железы, меланомы кожи, прямой кишки и ЗНО соединительной ткани (по 0,48%). Возраст онкологических пациентов на дату первого исследования на КТ варьировал от 54 до 77 лет, в среднем составляя 66,3±2,6 года. Все злокачественные опухоли были диагностированы в течение первых 5 лет после первого КТ-обследования (в среднем через 1,4±0,5 года). Из них 3 пациента умерли от рака в течение первого года после диагностики.

По данным национальной статистики за период с 2009 по 2014 г., соответствующий времени установления диагнозов рака в настоящем исследовании, было рассчитано ожидаемое количество случаев ЗНО всех локализаций среди мужчин и женщин по возрастным категориям. Полученные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 4

Случаи ЗНО, возникшие после КТ-исследования в распределении по возрасту, полу, суммарному количеству КТ, накопленной эффективной дозе, диагнозу заболевания, причине смерти и времени наблюдения

[Table 4

Cancer cases diagnosed after the 1st CT examination distributed by age, sex, maximum number of CT scans, accumulated effective dose, cancer diagnosis, cause of death and the duration of observation period]

№	Возраст [Age]	Пол [Sex]	$КТ_{\Sigma}$* [CT_{Σ}]	ЭД, мЗв [ED, mSv]	МКБ-10 [ICD-10]	Стадия ЗНО [Stage]	Т, дней [T, days]	Причина смерти [Death cause]
22	77	ж [f]	3*	2,5	C71.9	–**	87	C71.9
32	69	ж [f]	1	0,7	C70.0	–**	33	C70.1
127	54	ж [f]	5*	16,2	C25.0	3	145	Жив [Alive]
145	72	м [m]	1	5,7	C61.0	2	1014	Жив [Alive]
157	62	ж [f]	2*	15,1	C43.5	1	1282	Жив [Alive]
246	60	м [m]	1	5,0	C61.0	2	825	Жив [Alive]
255	67	м [m]	1	0,8	C20.0	-**	42	C20.0
268	69	ж [f]	1	7,4	C49.2	1	609	Жив [Alive]

*Включая КТ, проведённые вне КРБ [including CT outside KDH];
**Не определена [not defined].

Таблица 5

Результаты сравнения данных КРБ с данными национальной статистики

[Table 5

Results of comparison of KDH data with the national statistics data]

Заболеваемость ЗНО в РФ [Russian Federation, all cancers by sex]			КРБ, человеко-лет [KDH, person-years]		Ожидаемое количество ЗНО [Expected cancers]	
Возрастной интервал [Age, years]	Мужчины [male]	Женщины [female]	Мужчины [male]	Женщины [female]	Мужчины [male]	Женщины [female]
0–4	17,1	15,6	–	–	0,00016	0,00026
5–9	11,9	9,3	1,4	2,8	0,00061	0,00090
10–14	10,5	9,3	5,8	9,7	0,00054	0,00038
15–19	14,5	14,0	3,7	2,7	0,00167	0,00246
20–24	17,3	22,4	9,7	11,0	0,00218	0,00265
25–29	24,4	45,2	8,9	5,9	0,00245	0,01893
30–34	38,5	82,8	6,4	22,8	0,02075	0,02979
35–39	62,9	138,4	32,9	21,5	0,03311	0,05559
40–44	112,9	214,8	29,3	25,9	0,05328	0,07326
45–49	216,7	317,1	24,6	23,1	0,14147	0,06663
50–54	432,3	452,7	32,7	14,7	0,23939	0,22339
55–59	785,9	612,1	30,5	36,5	0,30416	0,20780
60–64	1278,9	832,8	23,8	24,9	0,19104	0,16804
65–69	1696,5	966,7	11,3	17,4	0,12847	0,06278
70–74	2084,4	1102,7	6,2	5,7	0,05153	0,09038
75+	2264,2	1181,0	2,3	7,7	0,00016	0,00026
Все возрасты [All ages]	–	–	229,4	232,3	1,2	1,0

Согласно полученным данным, ожидаемое количество случаев ЗНО, с учётом возрастно-полового распределения и количества человеко-лет под наблюдением в изучаемой группе, составило 2,2 случая.

Таким образом, в течение 10-летнего периода наблюдения за 246 пациентами, подвергшимися воздействию рентгеновского диагностического излучения в результате обследований методом компьютерной томографии в средней эффективной дозе 2,4 мЗв, было выявлено 16 новых случаев (6,5%) злокачественных новообразований различных локализаций. Из них 8 случаев ЗНО (3,8%), диагностированных в течение 5 лет после первого КТ,

не имели упоминания о предшествующих обследованию состояниях, связанных с наличием онкологического процесса. Приведённые данные могут свидетельствовать в пользу того, что указанные случаи ЗНО связаны с радиационным воздействием при диагностических КТ-исследованиях, при условии, что влияние конфаундинг-факторов не оказывало значимого влияния на развитие канцерогенных эффектов в изучаемой группе.

Подтверждением данного предположения служат результаты зарубежных исследований [15–18], согласно которым риск развития онкологических заболеваний после воздействия диагностического излучения при проведении КТ статистически значимо повышен. Так, при средней величине ЭД 4,5 мЗв при средней продолжительности наблюдения 9,5 лет риск развития онкологической патологии через 1 год и более после проведения КТ-исследования был на 24% выше, чем у лиц, не подвергавшихся воздействию диагностического КТ, с учетом возраста и пола [16]. По данным других исследований [17, 18], проведение диагностической КТ в возрасте до 21 года также статистически значимо связано с избыточным риском возникновения опухолей головного мозга, лейкемии и рака щитовидной железы.

Однако проводимая аналогия является в достаточной степени условной, поскольку не учитывает различное время под наблюдением для сравниваемых групп и не отражает особенностей, связанных с возрастом на момент облучения, различным состоянием здоровья обследованных, различных сценариев облучения при использовании разных КТ-сканеров и методик. Так, средняя продолжительность наблюдения в исследовании КРБ (6,5 лет) значительно меньше, чем в приводимых для сравнения публикациях (10 лет и более), а объём исследуемой когорты (680 211 пациентов в исследовании Mathews, 2013) многократно превышает объём выборки настоящего исследования.

При этом диагнозы рака щитовидной железы и лейкемии, выявленные в настоящем исследовании, были установлены до или во время проведения первого КТ-исследования. Для 2 случаев ЗНО ЦНС, выявленных после проведения КТ, время под наблюдением составило менее 100 дней, является недостаточным для установления причинной связи, исходя из длительности латентного периода, который, по данным [19], для солидных раков должна составлять в среднем 4,7 года. Это, в свою очередь, согласуется с результатами исследования [20], в котором доза облучения, полученная в результате компьютерной томографии и рентгенологических процедур, не увеличивала риск развития опухолей головного мозга у подростков.

В соответствии с рекомендациями [21] и методологией, применявшейся для расчета дозы с использованием 5-летнего лаг-периода для солидных раков [5], ни одна из злокачественных опухолей, диагностированных в исследуемой группе, не может быть отнесена на счет дозы облучения, полученной при КТ, поскольку период лаггирования дозы в 100% случаев будет превышать период под наблюдением, максимальное значение которого составило 3,5 года (см. табл. 4). Исходя из этого, избыточный риск возникновения рака в результате воздействия диагностического излучения при компьютерной томографии, с учётом необходимого латентного периода развития ЗНО, на данном этапе исследования не может быть определён прямым методом.

Результаты расчёта, произведённые косвенным методом (см. табл. 5), показали, что ожидаемое количество избыточных случаев ЗНО в исследуемой группе составит 2,2 случая на группу из 246 человек. При этом фактическое наблюдаемое количество ЗНО, не связанных с предрасполагающими состояниями (8 случаев), свидетельствует о том, что исследуемая выборка имеет неслучайный характер, т.к. является «госпитальной», включающей, в основном, лиц с нарушениями здоровья, что приводит к ожидаемо более высокой вероятности установления диагноза рака, чем в целом по России. Однако данное различие может быть обусловлено и радиационным воздействием, не связанным с КТ-диагностикой, поскольку особенностью изучаемой группы является наличие профессионального облучения пациентов, являющихся работниками ПО «Маяк». Влияние производственного контакта с внешним гамма- и внутренним альфа-излучением является потенциальным конфаундинг-фактором, что может влиять на различие между фактическим количеством ЗНО у пациентов, и расчётным количеством избыточных случаев по данным национальной статистики.

Ограниченный период дожития для пожилых пациентов и пациентов с тяжелыми нарушениями здоровья затрудняет оценку канцерогенных эффектов воздействия диагностического излучения в смешанных возрастных группах с преобладанием лиц старшего возраста. Поскольку состояние здоровья, связанное с возрастом, может влиять на сокращение продолжительности жизни пациента [22], изменения, вызванные воздействием диагностического излучения, имеют меньшие шансы на реализацию в виде клинических проявлений злокачественного процесса. Тем не менее, наличие в исследуемой группе лиц, которые на дату окончания наблюдения были живы и которым не был установлен диагноз ЗНО (77,1%), представляет интерес для проведения дальнейшего исследования с расширенным периодом наблюдения для оценки реализации возможных отдалённых канцерогенных эффектов с латентным периодом более 5 лет.

Данные, собранные в настоящем исследовании, позволяют расширить существующую базу данных «Регистр КТ» [10], которая включает 26 626 КТ-исследований жителей Озёрского городского округа, обследованных методом компьютерной томографии в лечебных учреждениях Челябинской области за период более 25 лет. База данных предназначена для оценки радиогенного риска в области малых доз в когорте лиц, подвергавшихся воздействию излучения от различных источников, включая производственное облучение работников ПО «Маяк» [11]. Полученная в настоящем исследовании информация позволяет уточнить клинико-дозиметрические характеристики членов когорты, такие как причина направления на КТ-исследования и наличие предшествующих состояний, связанных с наличием онкологического процесса, а также сведения об оценке доз диагностического облучения.

Отсутствие надежных эпидемиологических данных для оценки радиационного риска в области малых доз диагностического излучения диктует необходимость соблюдения рекомендаций МКРЗ по снижению дозы облучения пациентов, что является особенно значимым при обследовании пациентов методом КТ [23], а также в слу-

чае наличия других факторов радиационного риска, таких как традиционное рентгенодиагностическое исследование и профессиональное облучение рабочих радиационно-опасных производств [24].

Заключение

Проведена ретроспективная количественная оценка канцерогенных эффектов в группе из 246 жителей Озёрского городского округа, подвергшихся воздействию малых доз диагностического излучения при проведении КТ. Средняя величина эффективной дозы, накопленной пациентами исследуемой группы составила 4,7 мЗв. Доля выявленных злокачественных новообразований среди данной группы пациентов в течение 5 лет после первого обследования методом КТ, с поправкой на наличие предрасполагающих состояний, составила 3,8%. Эпидемиологических данных о связи выявленных случаев рака с действием диагностического излучения при КТ-сканировании не обнаружено. Проведение дальнейшего исследования с расширенным периодом наблюдения целесообразно для оценки отдалённых эффектов среди 77,1% неонкологических пациентов, которые были живы на момент окончания наблюдения. Результаты, представленные в этой статье, предоставляют дополнительные данные для комплексной оценки радиационного риска в исследовании ОККТ.

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективам отделений компьютерной томографии ГБУЗ «Районная больница г. Касли» и ФГУБЗ «Челябинская областная клиническая больница № 3» за оказанную помощь в проведении исследования. Отдельную благодарность выражаем ведущему научному сотруднику лаборатории эпидемиологии Южно-Уральского института биофизики, профессору Нине Александровне Кошурниковой, а также старшему научному сотруднику лаборатории эпидемиологии Южно-Уральского института биофизики, к.б.н. Юлии Вячеславовне Царевой за помощь в оценке жизненного статуса и онкологической заболеваемости населения Озёрского городского округа.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

1. National Research Council (US) Board on Radiation Effects Research. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII, Phase I, Letter Report (1998). Washington (DC): National Academies Press (US); 1998. PMID: 25077203.
2. Medical Radiation Exposures. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly. 2008. 293 p.
3. Rühm W., Harrison R.M. High CT doses return to the agenda // Radiation and Environmental Biophysics. 2020. Vol. 59. P. 3-7. DOI: 10.1007/s00411-019-00827-9
4. Shultz C.H., Fairley R., Murphy L., Doss M. The risk of cancer from CT scans and other sources of low-dose radiation: a critical appraisal of methodologic quality // Prehospital and disaster medicine. 2020. Vol. 35, No. 1. P. 3-16. doi: 10.1017/S1049023X1900520X.
5. Preston D.L., Ron E., Tokuoka S., et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998 // Radiation Research. 2007. Vol. 168. P. 1-64.
6. Brenner D.J., Hall E.J. Computed tomography-an increasing source of radiation exposure // The New England Journal of Medicine. 2007. Vol. 357. P. 2277-2284.
7. Rehani M.M., Melick E.R., Alvi R.M., et al. Patients undergoing recurrent CT exams: assessment of patients with non-malignant diseases, reasons for imaging and imaging appropriateness // European Journal of Radiology. 2020. Vol. 4. P. 1839-1846. doi: 10.1007/s00330-019-06551-8.
8. Suárez Fernández J.P. The downfall of the linear non-threshold model // Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular. 2020. Vol. 39, No. 5. P. 303-315. DOI:10.1016/j.remn.2020.05.006.
9. ICRP (International Commission on Radiological Protection). Risk estimation for multifactorial diseases. A report of the International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP 29; 1999. 1-144.
10. Осипов М.В., Сокольников М.Э., Фомин Е.П. База данных компьютерной томографии населения г. Озёрск («Регистр КТ»). Свидетельство о государственной регистрации № 2020622807 от 24.12.2020 г.
11. Осипов М.В., Фомин Е.П., Сокольников М.Э. Оценка влияния диагностического облучения с использованием радиационно-эпидемиологического регистра населения г. Озёрска, обследованного при помощи компьютерной томографии // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2020. Т. 65, № 4. С. 65-73. DOI: 10.12737/1024-6177-2020-65-4-65-73.
12. Osipov M., Sokolnikov M. Previous Malignancy as a Risk Factor for the Second Solid Cancer in a Cohort of Nuclear Workers // SciMedicine Journal. 2021. Vol. 3, No.1. P. 8-15. doi: https://doi.org/10.28991/SciMedJ-2021-0301-2.
13. Stata. Stata statistical software: Release 7.0. Stata Corporation, College Station, 2001.
14. Gómez A.M.L., Santana P.C., Mour o A.P. Dosimetry Study in Head and Neck of Anthropomorphic Phantoms in Computed Tomography Scans // SciMedicine Journal. 2020. Vol. 2, No.1. P. 38-43.
15. Berrington de Gonz lez A., Mahesh M., Kim K-P., et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007 // *Archives of Internal Medicine.* 2009. Vol.169, No.22. P. 2071–2077.
16. Mathews J.D., Forsythe A.V., Brady Z., et al. Cancer risk in 680,000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians // British Medical Journal. 2013. May 21. No 346. P. f2360. doi: 10.1136/bmj.f2360.
17. Li I.G., Yang Y.H., Li Y.T., et al. Paediatric computed tomography and subsequent risk of leukaemia, intracranial malignancy and lymphoma: a nationwide population-based cohort study // Scientific Reports. 2020. Vol. 10, No 1. P. 7759. doi: 10.1038/s41598-020-64805-8.
18. Shao Yu-H., Tsai K., Kim S., et al. Exposure to Tomographic Scans and Cancer Risks // JNCI Cancer Spectrum. 2020. Vol. 4, No.1. P.pkz072.
19. Горский А.И., Кащеев В.В., Туманов К.А. Латентный период индукции радиогенных солидных раков в когорте ликвидаторов // Радиация и риск. 2008. Т. 17, № 2. *С. 30-38.*
20. Kojimahara N., Yoshitake T., Ono K., et al. Computed tomography of the head and the risk of brain tumours during childhood and adolescence: results from a case-control study in Japan // Journal of Radiological Protection. 2020. doi: 10.1088/1361-6498/abacff. Epub ahead of print. PMID: 32759481.

21. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR 2012 report to the General Assembly. Scientific Annexes. New York. United Nations. 2015. 309 p.
22. Гаврилов Л.А., Гаврилова Н.С. Биология продолжительности жизни. М.: Наука, 1991. 280 с.
23. Osipov M.V., Lebedev N.I., Fomin E.P. Radiation Safety of Patients: Reducing the Radiation Dose in Abdominal Multislice Computed Tomography // Russian Electronic Journal of Radiology. 2015. Vol. 5, No.2, P. 47-51.
24. Осипов М.В., Сокольников М.Э. Проблемы оценки канцерогенного риска медицинского облучения в когорте персонала предприятия ядерно-промышленного комплекса // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2015. Т. 60, № 6. С. 60-66.

Поступила: 23.07.2021 г.

Осипов Михаил Викторович – врач, соискатель учёной степени кандидата медицинских наук, научный сотрудник лаборатории радиационной эпидемиологии Южно-Уральского института биофизики. **Адрес для переписки:** 456780 Озёрск, Челябинская область, Озёрское шоссе 19-108; Email: Osipov@subi.su

Шкаредных Виктор Юрьевич – врач, кандидат медицинских наук, главный специалист по лучевой диагностике Челябинской области, заведующий отделением лучевой диагностики Областной клинической больницы № 3 города Челябинска, Челябинск, Россия

Логинов Владислав Сергеевич – врач, заместитель главного врача по лечебной работе Районной больницы города Касли, Челябинская область, Касли, Россия

Мельников Владимир Викторович – кандидат медицинских наук, доцент, главный врач Районной больницы города Касли, Челябинская область, Касли, Россия

Дружинина Полина Сергеевна – соискатель учёной степени кандидата медицинских наук, младший научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Сокольников Михаил Эдуардович – научный руководитель, доктор медицинских наук, заведующий отделом радиационной эпидемиологии Южно-Уральского института биофизики, Озёрск, Россия

Для цитирования: Осипов М.В., Шкаредных В.Ю., Логинов В.С., Мельников В.В., Дружинина П.С., Сокольников М.Э. Ретроспективный анализ онкологической заболеваемости пациентов после проведения компьютерной томографии // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 80-90. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-80-90

Retrospective analysis of cancer morbidity among patients after computed tomography

Mikhail V. Osipov[1], Viktor Yu. Shkarednykh[2], Vladislav S. Loginov[3], Vladimir V. Melnikov[3], Polina S. Druzhinina[4], Mikhail E. Sokolnikov[1]

[1] South Ural Institute of Biophysics, Ozersk, Russia
[2] Regional Clinical Hospital No. 3, Chelyabinsk, Russia
[3] Kasli District Hospital, Kasli, Russia
[4] Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Cancer morbidity among patients examined using computed tomography within 10 years follow-up period depending on various factors has been retrospectively analyzed. Information on Ozyorsk residents examined at the Kasli District Hospital was retrospectively collected. The data collection period started in 2009 when the first computed tomography examination has been performed in the X-ray department of Kasli District Hospital, and ended by December 31, 2018. The data obtained in the study were linked to the local Cancer registry, the Death registry, and the "CT Registry" database to receive information about the vital status, can-

Mikhail V. Osipov
South Ural Institute of Biophysics
Address for correspondence: Ozyorskoe shosse 19-108, Ozyorsk, 456780, Chelyabinsk region, Russia; E-mail: Osipov@subi.su

cer morbidity and CT examinations performed outside the Kasli District Hospital. Cumulative incidence has been accounted in terms of predisposed conditions associated with cancer, cancer diagnoses stated before the date of the first CT examination and CT-confirmed malignancy cases. As a result of the study, information on 275 examinations of 246 residents of the Ozyorsk urban district has been derived. By the end of the observation period, 46 cases of malignant tumors were accumulated in the study group. The average time from 1st CT to the end of follow-up was 6.5 years. The distribution of carcinogenic effects among patients examined using CT has been shown retrospectively from the date of birth to the date of the end of follow-up. The cumulative cancer incidence adjusted for predisposing conditions has been compared with the LSS data. No epidemiological data were found on the relationship between the detected cases of malignant tumors and the diagnostic radiation from CT scans. The data obtained in the study provide information on the long-term oncological effects among Ozyorsk residents examined using CT as a source of additional information for a comprehensive assessment of the low dose effects associated with diagnostic exposure in the Ozyorsk Computed Tomography Cohort study.

Key words: *radiation risk, low doses, X-ray, computed tomography, morbidity, cancer.*

References

1. National Research Council (US) Board on Radiation Effects Research. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII, Phase I, Letter Report (1998). Washington (DC): National Academies Press (US); 1998. PMID: 25077203.
2. Medical Radiation Exposures. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly. 2008; 293 p.
3. Rühm W, Harrison RM. High CT doses return to the agenda. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2020;59: 3-7. DOI: 10.1007/s00411-019-00827-9
4. Shultz CH, Fairley R, Murphy L, Doss M. The risk of cancer from CT scans and other sources of low-dose radiation: a critical appraisal of methodologic quality. *Prehospital and disaster medicine*. 2020;35(1): 3-16. doi: 10.1017/S1049023X1900520X.
5. Preston DL, Ron E, Tokuoka S, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiation Research*. 2007;168: 1-64.
6. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography-an increasing source of radiation exposure. *The New England Journal of Medicine*. 2007;357: 2277-2284.
7. Rehani MM, Melick ER, Alvi RM, et al. Patients undergoing recurrent CT exams: assessment of patients with non-malignant diseases, reasons for imaging and imaging appropriateness. *European Journal of Radiology*. 2020; 4: 1839-1846. doi: 10.1007/s00330-019-06551-8.
8. Suárez Fernández JP. The downfall of the linear non-threshold model. *Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular*. 2020;39(5): 303-315. DOI:10.1016/j.remn.2020.05.006.
9. ICRP (International Commission on Radiological Protection). 1999. Risk estimation for multifactorial diseases. A report of the International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP 29: 1-144.
10. Osipov MV, Sokolnikov ME, Fomin EP Database of computed tomography in Ozyorsk population ("CT Registry"). Registration Certificate No. 2020622807 from 24.12.2020. (In Russian).
11. Osipov MV, Fomin EP, Sokolnikov ME. Assessment of diagnostic exposure effect using the radiation-epidemiological registry of Ozyorsk population examined by computed tomography. *Medical radiology and radiation safety*. 2020;65(4): 65-73. DOI: 10.12737/1024-6177-2020-65-4-65-73. (In Russian).
12. Osipov M, Sokolnikov M. Previous Malignancy as a Risk Factor for the Second Solid Cancer in a Cohort of Nuclear Workers. *SciMedicine Journal*. 2021;3(1): 8-15. doi: https://doi.org/10.28991/SciMedJ-2021-0301-2.
13. Stata. Stata statistical software: Release 7.0. Stata Corporation, College Station, 2001.
14. Gómez AML, Santana PC, Mourão AP. Dosimetry Study in Head and Neck of Anthropomorphic Phantoms in Computed Tomography Scans. *SciMedicine Journal*. 2020;2(1): 38-43.
15. Berrington de González A, Mahesh M, Kim K-P, et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007. *Archives of Internal Medicine.* 2009;169(22): 2071–2077.
16. Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, et al. Cancer risk in 680,000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *British Medical Journal*. 2013;346: f2360. doi: 10.1136/bmj.f2360.
17. Li IG, Yang YH, Li YT, et al. Paediatric computed tomography and subsequent risk of leukaemia, intracranial malignancy and lymphoma: a nationwide population-based cohort study. *Scientific Reports*. 2020;10(1): 7759. doi: 10.1038/s41598-020-64805-8.
18. Shao Yu-H, Tsai K, Kim S, et al. Exposure to Tomographic Scans and Cancer Risks. *JNCI Cancer Spectrum*. 2020;4(1): pkz072.
19. Gorsky AI, Kascheev VV, Tumanov KA. Latent period of induction of radiogenic solid cancers in a cohort of liquidators. *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*. 2008;17(2): 30-38. (In Russian).
20. Kojimahara N, Yoshitake T, Ono K, et al. Computed tomography of the head and the risk of brain tumours during childhood and adolescence: results from a case-control study in Japan. *Journal of Radiological Protection*. 2020; Epub ahead of print. doi: 10.1088/1361-6498/abacff. PMID: 32759481.
21. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR 2012 report to the General Assembly. Scientific Annexes. New York. United Nations; 2015. 309 p.
22. Gavrilov LA. Biology of life expectancy. Moscow: Nauka; 1991. 280 p. (In Russian).
23. Osipov MV, Lebedev NI, Fomin EP. Radiation Safety of Patients: Reducing the Radiation Dose in Abdominal Multislice Computed Tomography. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2015;5(2): 47-51.
24. Osipov MV, Sokolnikov ME. Problems of assessment of carcinogenic risk of medical exposure in a cohort of nuclear personnel. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2015;60(6): 60-66. (In Russian).

Received: July 23, 2021

For correspondence: Mikhail V. Osipov – MD, researcher of the laboratory of radiation epidemiology of the South Ural Institute of Biophysics (Ozyorskoe shosse 19-108, Ozyorsk, 456780, Chelyabinsk region, Russia; E-mail: Osipov@subi.su)

Viktor Yu. Shkarednykh – PhD, chief of X-ray diagnostics of the Chelyabinsk region, head of the department of X-ray diagnostics of the Regional Clinical Hospital No. 3, Chelyabinsk, Russia

Vladislav S. Loginov – deputy chief physician of the Kasli District Hospital, Kasli, Chelyabinsk Region, Russia

Vladimir V. Melnikov – PhD in Medical Sciences, Associate Professor, Chief Physician of the Kasli District Hospital, Kasli, Chelyabinsk Region, Russia

Polina S. Druzhinina – junior researcher, Medical protection laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Mikhail E. Sokolnikov – scientific supervisor, doctor of medical sciences, head of the department of radiation epidemiology of the South Ural Institute of Biophysics. Ozyorsk, Russia

For citation: Osipov M.V., Shkarednykh V.Yu., Loginov V.S., Melnikov V.V., Druzhinina P.S., Sokolnikov M.E. Retrospective analysis of cancer morbidity among patients after computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena* = *Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 3. P. 80-90. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-80-90