https://doi.org/10.25512/DIR.2020.14.2.02

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ КАК ФАКТОР РАДИАЦИОННОГО РИСКА У НАСЕЛЕНИЯ г. ОЗЕРСКА В ПЕРИОД 1993-2004 гг.

*М.В. Осипов – н.с. лаборатории радиационной эпидемиологии
И.С. Кузнецова – к.б.н., с.н.с. лаборатории радиационной эпидемиологии
А.М. Юркин – инженер лаборатории радиационной эпидемиологии
М.Э. Сокольников – д.м.н., зав. лаборатории радиационной эпидемиологии

ФГУП «Южно-Уральский институт биофизики ФМБА РФ»
456780 Российская Федерация, Челябинская обл., г. Озерск, Озерское шоссе, 19

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- медицинское облучение
- диагностическое облучение
- радиационный риск
- рентгенодиагностика
- компьютерная томография (КТ)

АННОТАЦИЯ:

Цель: провести анализ риска заболеваемости злокачественными новообразованиями (ЗНО) в результате воздействия малых доз диагностического облучения при обследовании пациентов на компьютерной томографии (КТ).

Материал и методы: проведено ретроспективное исследование на основании анализа информации из архивных протоколов обследований пациентов, проживающих в г. Озерск и обследованных в отделении компьютерной томографии Челябинской областной клинической больницы за период 1993-2004 гг. Исследование включает обобщенный материал, содержащий данные из нескольких популяционных регистров лаборатории радиационной эпидемиологии Южно-Уральского института биофизики.

Результаты: проведённое исследование выявило наличие статистически незначимого превышения риска заболеваемости солидными ЗНО среди пациентов, которым было выполнено КТ-исследование в период с начала появления данного вида исследования в ЛПУ Челябинской области до даты окончания первого этапа эпидемиологического наблюдения – 31.12.2004 г.

Заключение: полученные результаты представляют интерес для различных категорий специалистов: врачей-рентгенологов, радиационных эпидемиологов, радиобиологов и специалистов по радиационной гигиене. Необходимо продолжение исследования с расширением периода ретроспективного наблюдения.

Для цитирования: *Осипов М.В., Кузнецова И.С., Юркин А.М., Сокольников М.Э. «КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ КАК ФАКТОР РАДИАЦИОННОГО РИСКА У НАСЕЛЕНИЯ г. ОЗЕРСКА В ПЕРИОД 1993-2004 гг.» Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ, 2020; 14(2):20–27.*

COMPUTED TOMOGRAPHY AS A RADIATION RISK FACTOR AMONG POPULATION OF OZYORSK CITY FOR THE PERIOD 1993-2004

*Osipov M.V. – MD, researcher
Kuznetsova I.S. – PhD, senior reseacher
Yurkin A.M. – engeneer
Sokolnikov M.E. – MD, PhD, professor

South-Ural Institute of Biophysics
19, Ozerskoe roadway, Ozersk, Chelyabinsk Region, Russian Federation, 456780

KEY-WORDS:

- medical exposure
- diagnostic exposure
- radiation risk
- diagnostic radiology
- computed tomography (CT)

ABSTRACT:

Aim: was to analyze the risk of malignancy incidence as a result of exposure of small doses of diagnostic radiation when examining patients on computed tomography (CT).

Material and methods: a retrospective study was conducted on the base of analysis of information from archival protocols for examinations of patients living in Ozersk city and examined in computed tomography department of the Chelyabinsk Regional Clinical Hospital for the period 1993-2004. Study includes generalized material containing data from several population registers of the Laboratory of Radiation Epidemiology of the South Ural Institute of Biophysics.

Results: study revealed the presence of a statistically insignificant excess of the risk of incidence of malignancy among patients who underwent a CT study from the beginning of the appearance of this type of study in hospitals in the Chelyabinsk region until the end of the first stage of epidemiological surveillance - December 31, 2004.

Conclusion: obtained results are interesting for various categories of specialists: radiologists, radiation epidemiologists, radiobiologists and radiation hygiene specialists. Further research is needed with an extension of the retrospective observation period.

****Адрес для корреспонденции (Correspondence to)*** *Осипов Михаил Викторович (Osipov Mikhail V.) e-mail: osipov@subi.su*

Введение

Оказание специализированной высокотехнологичной медицинской помощи является одним из приоритетных направлений работы учреждений здравоохранения [1].

Современные высокотехнологичные методы лучевой диагностики, такие как компьютерная томография (КТ) и интервенционная радиология, существенно повышают информативность исследования, однако сопряжены с большей, по сравнению с традиционной рентгенографией, лучевой нагрузкой на пациента [2].

Наряду с безусловной пользой, выраженной в виде полученной диагностической информации, воздействие ионизирующего излучения при проведении рентгенорадиологических процедур является одновременно и фактором радиогенного риска [3]. Согласно закону № 323-ФЗ от 21 ноября 2011 г. «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», часть 4, ст.34 [4, 5], необходимо осуществлять сбор и обработку информации о данном радиационном факторе в целях оценки риска развития возможных отдаленных последствий для здоровья пациентов, обследованных при помощи современных методов лучевой диагностики.

Целью исследования являлась оценка риска заболеваемости злокачественными новообразованиями (ЗНО) у жителей г. Озерск, проходивших обследование с использованием компьютерной томографии в период с момента появления данного метода диагностической визуализации в Челябинской областной клинической больнице.

Для этого в настоящем исследовании были решены следующие задачи:

1. Сбор архивных данных о всех жителях г. Озерск, обследованных в Челябинской областной клинической больнице в период 1993-2004 гг.;
2. Создание электронной базы данных обследованных пациентов;
3. Верификация информации, исключение дублирования и пропущенных записей;
4. Идентификация пациентов в популяционных регистрах лаборатории эпидемиологии;
5. Расчет показателей отношения шансов и относительного риска.

Материал и методы

Материалом для исследования являлись архивные протоколы отделения компьютерной томографии (КТ) диагностического центра Челябинской областной клинической больницы (ЧОКБ), собранные за период 1993-2004 гг.

В отделении КТ ЧОКБ осуществлялось обследование пациентов, поступавших из населенных пунктов Челябинской области, включая закрытое административно-территориальное объединение (ЗАТО) г. Озерск. Начало периода наблюдения соответствовало вводу в эксплуатацию в диагностическом центре ЧОКБ первых компьютерных томографов.

Из журналов, в которых регистрировались пациенты, обследованные на КТ, собиралась следующая информация: пол пациента, возраст на момент исследования, область сканирования, использование контрастного усиления, количество выполненных сканов, доза облучения за процедуру (при наличии), диагноз при направлении на КТ и заключение врача-рентгенолога.

Для оценки отдаленных последствий воздействия ионизирующего излучения на организм пациентов при проведении КТ информация о жизненном статусе жителей г. Озерск, а также дате и причине смерти для умерших была получена из популяционного регистра жителей г. Озерск [6]. Регистр был создан в лаборатории эпидемиологии Южно-Уральского института биофизики (ЮУрИБФ) и содержит сведения более чем на 90 тысяч жителей города 1934–2010 гг. рождения и включает всех жителей г. Озерск, родившихся в городе или въехавших в него в возрасте до 15 лет. Для всех лиц, входящих в регистр, собрана информация о жизненном статусе, диагнозах онкологических заболеваний, имеются дозиметрические данные о родительском и их собственном профессиональном облучении в случае работы на основных производствах ФГУП «ПО «Маяк». Данные о профессиональном маршруте, дозах облучения персонала и периоде найма на основные производства были получены из регистра персонала ПО «Маяк» [7]. Информация об установленных диагнозах злокачественных новообразований (ЗНО), включая данные о гистологическом типе опухоли, получена из канцер-регистра, зарегистрированного в Федеральной базе данных популяционных регистров РФ (свидетельство о регистрации № 2019621208).

Оценка риска заболевания злокачественным новообразованием в результате проведения КТ была проведена на основании предположения о том, что воздействие ионизирующего излучения при диагностическом обследовании пациентов на КТ повышает вероятность развития ЗНО в течение последующих лет жизни пациента. Для этой цели было проведено ретроспективное наблюдение с использованием когортной методологии, а также методом случай-контроль, вложенным в когорту, которое охватывает период от момента начала использования метода компьютерной томографии в Челябинской области до момента наличия подтвержденной информации о жизненном статусе и заболеваемости населения г. Озерск.

Статья поступила в редакцию в январе 2020 года.

1. Метод случай-контроль (case-control study)

К случаям («cases») были отнесены все заболевания ЗНО, диагностированные в период с начала 1998 года, т.е. в то время, когда могли возникнуть стохастические эффекты, индуцированные воздействием КТ, с учетом выбранного лаг-периода в 5 лет. Использование лаг-периода в расчетах обусловлено наличием латентного периода в развитии ЗНО от начала канцерогенеза до регистрации его клинических проявлений. Величина этого периода в зависимости от типа опухоли варьирует, составляя в среднем 5 лет [8].

Таким образом, в настоящем исследовании предполагалось, что доза облучения, полученная пациентом менее чем за 5 лет до установления диагноза онкологического заболевания, не вносит вклада в канцерогенный риск, и такие пациенты не входили в анализ, как случаи.

К каждому случаю подбиралось до 5 контролей («controls»). Условия подбора включали:

- совпадение по полу;
- совпадение по году рождения;
- контроль не должен был выезжать из города до конца наблюдения;
- год окончания наблюдения за контролем должен быть больше года заболевания случая.

Случаи и подобранные к ним контроли были разделены по факту наличия или отсутствия признака (КТ-исследования), проведенного не ранее чем за 5 лет до окончания наблюдения. На основе организованных описанным выше способом данных была заполнена таблица сопряженности 2×2. Обработка данных произведена с использованием модуля «Compare2» (сравнение двух независимых групп или наборов) в статистическом пакете WinPepi [9].

Для каждой таблицы 2×2 на основании оценки теста Хи-квадрат было рассчитано отношение шансов с использованием 95% доверительных интервалов для оценки шансов.

2. Когортный метод

В качестве когорты для проведения исследования были выбраны все лица, включенные в «Детский регистр», не относящиеся к персоналу основных производств ПО «Маяк» и не имеющие информации о наличии профессиональных доз внешнего гамма-излучения в результате работы на вспомогательных производствах. Также из анализа были исключены лица, у которых причиной обследования являлось наличие доброкачественного или злокачественного новообразования различных локализаций, либо процедура проводилась по подозрению на наличие ЗНО.

Оценка относительного риска была проведена по показателям заболеваемости для периода наблюдения 1998-2017 гг. для возраста 45-75 лет.

Для оценки относительного риска заболевания ЗНО использовался статистический пакет Epicure, модуль «Amfit» [10]. Данные были организованы в многомерную матрицу и распределены по полу, возрасту на момент заболевания, периоду наблюдения, наличию и количеству КТ-обследований. Каждая ячейка таблицы содержала количество случаев, количество человеко-лет наблюдения и средние значения факторов, по которым проведена табуляция.

Различия в риске заболевания ЗНО в зависимости от пола, достигнутого возраста и календарного периода диагностики нивелировались с помощью стратификации данных. Результаты представлены как точечная оценка риска с 90% и 95% доверительным интервалом. Сравнение моделей проведено с использованием теста отношения правдоподобия.

Результаты

Всего за период 1993-2004 гг. в отделении компьютерной томографии Челябинской областной клинической больницы обследовано 785 жителей ЗАТО г. Озерск, которым было выполнено суммарно 925 исследований. Среди них 88,3% пациентов являлись жителями г. Озерск, и 11,7% проживали в близлежащих населенных пунктах. Среди обследованных 52,7% женщин и 47,3% мужчин, возраст которых варьировал от 0 до 78 лет. Распределение пациентов, обследованных в ЧОКБ за указанный период при помощи компьютерной томографии по возрасту и полу представлено в **таблице 1**.

Около четверти всех обследованных на момент

Таблица 1. **Распределение обследованных пациентов по возрасту и полу**

Возрастной интервал*	Мужчины	%	Женщины	%	Оба пола	%
0-9	44	11,9%	25	6,0%	69	8,8%
10-19	83	22,4%	42	10,1%	125	15,9%
20-29	42	11,3%	39	9,4%	81	10,3%
30-39	30	8,1%	51	12,3%	81	10,3%
40-49	63	17,0%	112	27,1%	175	22,3%
50-59	63	17,0%	76	18,4%	139	17,7%
60-69	39	10,5%	56	13,5%	95	12,1%
70-79	7	1,9%	13	3,1%	20	2,5%
Всего	371	100,0%	414	100,0%	785	100,0%

Примечание: **возраст на момент первого обследования*

Таблица 2. **Распределение пациентов по количеству обследований на КТ**

Количество обследований	Количество обследованных	Доля обследованных
1	681	86,8%
2	70	8,9%
3	22	2,8%
4	8	1,0%
5	4	0,5%
Всего	785	100%

Таблица 3. **Распределение количества обследований на КТ в зависимости от исследованной области**

Область исследования	Количество обследований	Доля обследований
Голова и шея	716	77,4%
Грудная клетка	59	6,4%
Брюшная полость и малый таз	117	12,6%
Прочее*	33	3,6%
Всего	925	100,0%

Примечание: **конечности, периферические суставы и различные отделы позвоночника*

диагностики составляли пациенты детского возраста и подросткового возраста (25,7%). Наибольшее количество обследованных мужчин и женщин находилось в трудоспособном возрасте от 40 до 59 лет (40% от всех пациентов). Однако распределение обследованных по возрастным интервалам в зависимости от пола было неравномерным: более 30% всех лиц мужского пола было обследовано в детском возрасте (0-19 лет), а более 27% лиц женского пола – в возрасте от 40 до 49 лет.

Распределение пациентов по количеству обследований в течение периода наблюдения и доля обследованных представлены в **таблице 2**.

Наибольшая часть пациентов (86,8%) была обследована однократно. Максимальное количество обследований в течение наблюдаемого периода составило 5. Доля обследованных от 3 до 5 раз составила суммарно менее 5%. Показаниями к проведению компьютерной томографии было наличие или подозрение на наличие различной патологии, в том числе доброкачественные и злокачественные новообразования различных локализаций, травмы с нарушениями целостности костного скелета и внутренних органов и воспалительные процессы различных локализаций. Распределение количества проведенных обследований в зависимости от области исследования представлено в **таблице 3**.

Наибольшее количество обследований приходится на область головы и шеи (77,4%), при этом в 71,8% случаев исследовался головной мозг, а в остальных случаях – костные структуры. Прочие области исследования составили в сумме менее 23%.

Расчет отношения шансов

Подбор контролей к случаям осуществлялся с использованием регистра [6], в результате была найдена информация о 641 человеке с диагнозом ЗНО, поставленным в период 1998-2013 гг. Из исследования были исключены 5 случаев, для которых не удалось подобрать контроли, соответствующие всем указанным критериям отбора ***(см. раздел Материал и методы)***, либо количество контролей для данных случаев было недостаточным.

Из оставшихся 636 случаев информация о КТ-исследованиях, проведенных не позднее, чем за 5 лет до диагностирования ЗНО, найдена для 5 человек (категория «КТ+»). Среди найденных случаев было 3 мужчин и 2 женщины в возрасте от 40 до 64 лет, заболевших солидными ЗНО (код по МКБ-9: 174,153,140,173) в период 2002-2011 гг. Остальные случаи отнесены в категорию «КТ –».

Из 3167 подобранных к случаям контролей не ранее, чем за 5 лет до конца наблюдения исследования на КТ проведены у 19 человек (категория «КТ +»). Остальные контроли отнесены к категории «КТ –». Распределение случаев и контролей представлено в **таблице 4**.

Доля лиц с проведенным КТ-исследованием в группе случаев составила 0,79%, в группе контролей – 0,60%. Полученное значение ОШ равнялось 1,31 (95% ДИ 0,5-3,3), Chi-square тест с поправкой на непрерывность 0,071 при p=0,05, значение показателя в пределах 95% ДИ для теста Фишера составило – 0,38-3,65, при использовании Mid-P exact test – 0,44-3,38.

Количество степеней свободы при анализе ОШ сравнивалось с табличным значением (3,841) для заданного уровня доверительной вероятности p=0,05. На основании сравнения полученных значений статистической взаимосвязи между изучаемым фактором риска и исходом при соответствующем уровне значимости не выявлено. Границы доверительного интервала (ДИ), оцененные на основе различных статистических тестов (Fisher's exact test, Mid-P exact test),

Таблица 4. **Распределение случаев и контролей в зависимости от наличия изучаемого радиационного фактора (таблица 2×2)**

	КТ+	КТ-	Доля
Случаи	5	631	0,0079
Контроли	19	3148	0,0060
Всего	24	3779	-

Таблица 5. **Количество человеко-лет наблюдения и значение ОР в зависимости от возраста**

	<40	40-49	50-64	65+	40-64	**Все возрасты**
Кол-во ЗНО	82	190	316	48(7%)	506	636(100%)
в т.ч. КТ+	0	2	3	0	5	5
Кол-во человеко-лет наблюдения	306961	88269	67996	6242	156264	469468
ОР (90% ДИ)	-	1,54(0,36 – 4,13)	1,09(0,35 – 2,50)	-	1,24(0,63 –2,40)	1,07(0,46 – 2,07)

несущественно различались, что свидетельствует об отсутствии статистически значимого влияния воздействия ионизирующего излучения при проведении КТ на частоту заболеваний ЗНО в исследуемой группе.

Оценка относительного риска

С учетом латентного периода развития ЗНО, минимальное значение которого установлено в пределах 5 лет, оценка заболеваемости в исследуемой когорте производилась за период 1998-2013 гг. За данный период в когорте было накоплено около полумиллиона человеко-лет наблюдения и 636 случаев заболеваний ЗНО. Из них 5 случаев заболевания зафиксировано после КТ-исследования в возрасте от 40 до 64 лет, остальные случаи ЗНО произошли у лиц, никогда прежде не проходивших обследование при помощи компьютерной томографии, абсолютное количество которых в указанной возрастной группе (от 40 до 64 лет) составило 506.

Модель относительного риска заболеваемости ЗНО включала влияние пола и возраста на момент исследования, а также наличие обследования на КТ в качестве изучаемого фактора. Распределение количества человеко-лет наблюдения и ОР среди пациентов, обследованных на КТ в ЧОКБ, по отношению к лицам, никогда не проходившим данный вид исследования, в зависимости от возраста на момент установления диагноза заболевания представлено в **таблице 5**.

Относительный риск заболевания ЗНО при наличии КТ-исследования составил 1,07 для всего диапазона возрастов, и 1,24 для выделенного диапазона 40-64 года. Включение в модель параметра наличия КТ-исследования не улучшало качества подгонки данных ($p>0,5$). На фоне отсутствия статистической значимости наблюдалось снижение показателя относительного риска с увеличением возраста пациента на момент первого обследования. Укрупнение возрастных интервалов также сопровождалось снижением коэффициента относительного риска, что свидетельствует о неравнозначном вкладе различных возрастных групп в радиационно-обусловленный риск.

Обсуждение

При помощи двух различных методов анализа мы получили согласующиеся между собой результаты, свидетельствующие о наличии статистически незначимого превышения риска заболеваемости солидными ЗНО среди пациентов, прошедших обследование на КТ в период с начала появления данного вида исследования в ЛПУ Челябинской области. Полученные результаты (ОШ 1,31 (95% ДИ 0,5-3,3), ОР 1,07 (95% ДИ 0,46-2,07) свидетельствуют о наличии статистически незначимо повышенного риска в результате воздействия облучения при проведении диагностических процедур с использованием КТ-сканеров первого поколения, и возникновения онкологической патологии у населения г. Озерск. Достоинствами исследования являются применение 2-х методов оценки, а также достаточно полно собранные данные по жизненному статусу и онкологической заболеваемости в изучаемой группе. По сравнению с данными литературы, полученные результаты согласуются с исследованиями в когорте 64 172 канадских пациентов, проходивших многократные рентгеноскопические обследования грудной клетки по поводу туберкулеза легких [11], в котором не выявлено связи между дозой облучения и избыточным относительным риском возникновения рака легкого. В то же время, полученные нами результаты вступают в некоторое противоречие с результатами исследования [12], выполненного на основании использования значений номинальных коэффициентов риска, предложенных МКРЗ, усредненных по полу и возрасту, основанных на результатах многолетних эпидемиологических наблюдений в Хиросиме и Нагасаки, а также медицинских последствий на Чернобыльской АЭС. Также, в других исследованиях [13] сообщается о повышенном риске у пациентов детского возраста, однако сравнение полученных результатов ограничено, поскольку в настоящем исследовании преобладали пациенты старшего и пожилого возраста (74,3%).

Одним из недостатков примененного метода отбора когорты является отсутствие полных данных о профессиональном маршруте и радиационном воздействии на лиц, не являющихся персоналом основных производств ПО «Маяк», нанятых на вспомогательные производства, где работники могли также подвергаться неконтролированному воздействию ионизирующего излучения. Однако наиболее высокие дозы облучения имели работники основных производств, тогда как персонал вспомогательных служб подвергался на порядок меньшим уровням воздействия [14]. Также, в данном исследовании отсутствует информация о возможных обследованиях пациентов за пределами Челябинской области, хотя очевидно, что такие случаи не могли быть многочисленными вследствие значительной удаленности от места проживания пациента и отсутствия на тот момент широкой распространенности компьютерной томографии в регионе.

Исследование проведено на основании данных «Детского регистра», тогда как население г. Озерск включает жителей, приехавших в город в различном возрасте. Таким образом, лица, приехавшие в г. Озерск в возрасте старше 15 лет, и обследованные на КТ за указанный период, не были включены в исследование, что уменьшило объем информационной базы исследования. Достижение более высокой статистической значимости было бы возможно при наличии полных данных о рентгенодиагностических процедурах, причинах заболеваний и смерти для всех резидентов Российской Федерации. Для этого целесообразно создание единой системы электронной регистрации процедур, сопровождающихся воздействием диагностического излучения, и обеспечения доступа научным учреждениям к обработке таких данных. Однако Федеральный закон от 27 июля 2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных» существенно ограничивает возможность реализации подобной инициативы.

С учетом вышеуказанных факторов, не исключается вероятность, что проведение компьютерной томографии является значимым фактором радиогенного риска. Для улучшения результатов исследования, исключения возможной систематической ошибки, связанной с наличием указанных недостатков, требуется проведение дальнейшего исследования на базе существующих регистров [15-17].

Заключение

Полученные значения коэффициентов относительного риска показывают, что влияние облучения при проведении компьютерной томографии статистически незначимо повышает показатель онкологической заболеваемости в исследованной группе. Необходимо продолжение исследования с расширением периода ретроспективного наблюдения и оценкой жизненного статуса лиц, для которых дата и причина смерти на момент окончания настоящего наблюдения не были установлены. ■

Благодарность

Авторы выражают благодарность главному врачу ЧОКБ, д.м.н., проф. Альтман Дмитрию Александровичу, главному внештатному специалисту по лучевой диагностике Челябинской области, д.м.н. Братниковой Галине Ивановне, заведующему отделением компьютерной томографии ЧОКБ, к.м.н. Трушину Илье Владимировичу, и директору Южно-Уральского института биофизики, к.б.н. Романову Сергею Анатольевичу за содействие в проведении исследования.

Список литературы

1. Собрание законодательства Российской Федерации. Федеральный закон от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации». Часть 4, статья 34. https://www.rosminzdrav.ru/documents/7025 (доступно на 21.12.2019).

2. Narkevich B.Ya., Dolgushin B.I. Radiation safety assurance in computed tomography and interventional radiology. *REJR.* 2013; 2(3): 7–19.

3. Brenner D.J., Hall E.J. Computed tomography – an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*. 2007; 357: 2277–2284.

4. Приказ Министерства здравоохранения РФ № 298 от 31.07.2000 от 9.01.96 №3-ФЗ «Об утверждении положения о Единой государственной системе контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан». http://legalacts.ru/doc/prikaz-minzdrava-rf-ot-31072000-n-298/ (доступно на 21.12.2019).

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.06.97 №718 «О порядке создания единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан». http://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-16061997-n-718/ (доступно на 21.12.2019).

6. Кошурникова Н.А., Кабирова Н.Р., Болотникова М.Г. и др. Характеристика регистра лиц, проживавших в детском возрасте вблизи ПО «Маяк». *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2003; 2: 27-34.

7. Кошурникова Н.А., Шильникова Н.С., Окатенко П.В. и др. Характеристика когорты рабочих атомного предприятия ПО «Маяк». *Медицинская радиология и*

радиационная безопасность. 1998; 43(6): 43–57.

8. 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.

9. Abramson, J.H. WINPEPI updated: computer programs for epidemiologists, and their teaching potential. *Epidemiologic Perspectives & Innovations*. 2011; 8:1

10. Preston D.L. Epicure User's Guide. USA: 330.

11. Howe G.R. Lung Cancer Mortality between 1950 and 1987 after Exposure to Fractionated Moderate-Dose-Rate Ionizing Radiation in the Canadian Fluoroscopy Cohort Study and the Comparison with Lung Cancer Mortality in the Atomic Bomb Survivors Study. *Radiation Research*. 1995; 142: 295–304.

12. Иванов В.К., Цыб А.Ф., Метлер Ф.А. и др. Радиационные риски медицинского облучения. *Радиация и риск*. 2011; 20(2):17-28.

13. Pearce M.S., Salotti J.A., Little M.P., et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *The Lancet*. 2012; 380.

14. Shilnikova N.S., Preston D.L., Ron E., et al. Cancer Mortality Risk among Workers at the Mayak Nuclear Complex. *Radiation Research*. 2003; 159: 787–798.

15. Лебедев Н.И., Осипов М.В., Бабинцева Н.А. и др. Регистр пациентов, проходящих КТ – обследования в отделении лучевой диагностики ЦМСЧ-71 г. Озёрск. *REJR*. 2017; 7(2): 110-116.
https://doi.org/10.21569/2222-7415-2017-7-2-110-116

16. Финашов Л.В., Кузнецова И.С., Сокольников М.Э. Заболеваемость раком предстательной железы при пролонгированном профессиональном облучении работников производственного объединения «Маяк». *Радиация и риск*, 2019; 28(4):54–64.
https://doi.org/10.21870/0131-3878-2019-28-4-54-64

17. Fomin E.P., Osipov M.V. Pooled database of Ozyorsk population exposed to computed tomography. *REJR*. 2019; 9 (2):234-239.
https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-2-234-239

References

1. Collection of legislation of the Russian Federation. Federal Law 21.11.2011 No. 323-FZ «On Principles of the Protection of Citizens' Health in the Russian Federation». Part 4, article 34 [In Russ].
https://www.rosminzdrav.ru/documents/7025 (accessed 12/21/2019).

2. Narkevich BYa, Dolgushin BI. Radiation safety assurance in computed tomography and interventional radiology. *REJR*. 2013; 2 (3): 7–19.

3. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography - an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007; 357: 2277-2284.

4. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 298 of July 31, 2000, dated January 9, 1996, No. 3-FZ (Federal Law) «On Approval of the Regulation on the Unified State System of Control and Accounting for iIndividual Exposures of Citizens» [In Russ]. http://legalacts.ru/doc/prikaz-minzdrava-rf-ot-31072000-n-298/ (accessed 12/21/2019)

5. Decree of the Government of the Russian Federation dated 16.06.97 No. 718 «On the procedure for creating a unified state system for monitoring and recording individual doses to citizens» [In Russ].
http://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-16061997-n-718/ (acc.12/21/2019).

6. Koshurnikova NA, Kabirova NR, Bolotnikova MG, et al. Description of the register of persons, had lived in childhood near the Mayak Production Association. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2003; 2: 27-34 [In Russ].

7. Koshurnikova NA, Shilnikova NS, Okatenko PV, et al. Characteristics of cohort of workers of «Mayak» PO. *Medical radiology and radiation safety*. 1998; 43 (6): 43–57 [In Russ].

8. 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.

9. Abramson, JH. WINPEPI updated: computer programs for epidemiologists, and their teaching potential. *Epidemiologic Perspectives & Innovations*. 2011; 8:1

10. Preston DL. Epicure User's Guide. USA: 330.

11. Howe GR. Lung Cancer Mortality between 1950 and 1987 after Exposure to Fractionated Moderate-Dose-Rate Ionizing Radiation in the Canadian Fluoroscopy Cohort Study and the Comparison with Lung Cancer Mortality in the Atomic Bomb Survivors Study. *Radiation Research*. 1995; 142: 295-304.

12. Ivanov VK, Kashcheev VV, Menyaylo SYu, et al. Radiation risk of medical exposure. *Radiation and risk*. 2012; 21 (4): 7-23 [In Russ].

13. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumors: a retrospective cohort study. *The Lancet*. 2012; 380.

14. Shilnikova NS, Preston DL, Ron E, et al. Cancer Mortality Risk among Workers at the Mayak Nuclear

Complex. *Radiation Research*. 2003; 159: 787–798.

15. Lebedev NI, Osipov MV, Babintseva NA, et al. Register of patients undergoing CT scan - examinations in the department of radiation diagnostics of the Central Medical Center-71, Ozersk. *REJR.* 2017; 7 (2): 110-116 [In Russ]. https://doi.org/10.21569/2222-7415-2017-7-2-110-116

16. Finashov LV, Kuznetsova IS, Sokolnikov ME. Prostate cancer incidence among workers with work-related exposure of radiation at the Mayak Production Association. *Radiation and Risk,* 2019; 28 (4): 54–64 [In Russ]. https://doi.org/10.21870/0131-3878-2019-28-4-54-64

17. Fomin EP, Osipov MV. Pooled database of Ozyorsk population exposed to computed tomography. *REJR* 2019; 9 (2):234-239. https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-2-234-239