

УДК 616.83-006:614.876

<https://doi.org/10.23946/2500-0764-2024-9-3-8-18>

РИСК ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ СРЕДИ ПОТОМКОВ ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОМУ РАДИАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

СОСНИНА С.Ф.*, ОКАТЕНКО П.В., ДЕНИСОВА Е.В., СОКОЛЬНИКОВ М.Э.

ФГБУН «Южно-Уральский институт биофизики» Федерального медико-биологического агентства, г. Озёрск, Россия

Резюме

Цель. Оценка риска злокачественных новообразований центральной нервной системы (ЗНО ЦНС) среди первого поколения потомков работников производственного объединения «Маяк».

Материалы и методы. Ретроспективный эпидемиологический анализ выполнен в когорте потомков работников первого в России предприятия атомной энергетики ($n = 8890$), родившихся в 1949–1973 гг.; группу сравнения составили 4345 потомков того же периода рождения от необлученных родителей. Период наблюдения составил 72 года (1949–2020 гг.), общее число человеко-лет наблюдения достигло 818208. Проведен анализ частоты, динамики, структуры заболеваемости ЗНО ЦНС. Относительный риск ЗНО ЦНС и избыточный относительный риск на единицу дозы производственного облучения родителей рассчитаны с 95% доверительными интервалами.

Результаты. В целом частота ЗНО ЦНС в группах за весь период наблюдения статистически значимо не различалась ($3,4$ на 10^3 в основной группе, $1,8$ на 10^3 в группе сравнения). Анализ динамики заболеваемости ЗНО ЦНС по календарным периодам не показал значимых различий, пик в основной группе относился к периоду 2001–2010 гг. Сравнение возраста манифестации ЗНО ЦНС и среднего возраста родителей на момент рождения потомков не выявило существенных различий. Наблюдался полиморфизм гистологического строения и локализаций ЗНО ЦНС в группах. Оценка относительного риска ЗНО ЦНС показала статистически незначимое увеличение риска ЗНО ЦНС среди потомков основной группы по сумме наблюдений и при рассмотрении

по полу. Среди потомков матерей с установленным фактом преконцептивного и внутриутробного производственного облучения относительный риск ЗНО ЦНС был выше для мужчин и обоих полов ($3,6$ ($1,06$ – $12,28$) и $2,74$ ($1,08$ – $6,93$); $4,34$ ($1,27$ – $14,77$) и $3,3$ ($1,31$ – $8,36$) соответственно), однако анализ ИОР не указал на значимые оценки риска при материнском облучении ни в общем, ни в различных дозовых интервалах.

Заключение. Исследование не подтвердило гипотезу о влиянии производственного облучения родителей на ЗНО ЦНС у потомков. Учитывая относительно молодой возраст исследуемой когорты и малое число исходов в виде ЗНО ЦНС, вопросы материнского облучения требуют дальнейшего наблюдения.

Ключевые слова: злокачественные новообразования центральной нервной системы, производственное объединение «Маяк», радиация, внешнее гамма-облучение, преконцептивное облучение, внутриутробное облучение, потомки облученных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 11.314.22.2 от 15 июля 2022 г. «Анализ последствий воздействия ионизирующего излучения на здоровье населения и потомков, проживающих вблизи атомных объектов Госкорпорации «Росатом»» на основании Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2035 года».

¹Для цитирования:

Соснина С.Ф., Окатенко П.В., Денисова Е.В., Сокольников М.Э. Риск злокачественных новообразований центральной нервной системы среди потомков лиц, подвергшихся производственному радиационному воздействию. Фундаментальная и клиническая медицина. 2024;9(3): 8-18. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2024-9-3-8-18>

*Корреспонденцию адресовать:

Соснина Светлана Фаридовна, 456783, г. Озёрск, Челябинская область, Озёрское шоссе, 19, E-mail: sosnina@subi.su

© Соснина С.Ф. и др.

ORIGINAL RESEARCH

RISK OF CENTRAL NERVOUS SYSTEM TUMORS IN THE OFFSPRING OF INDIVIDUALS EXPOSED TO PRODUCTION RADIATION

SVETLANA F. SOSNINA*, PAVEL V. OKATENKO, ELENA V. DENISOVA, MIKHAIL E. SOKOLNIKOV

Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical and Biological Agency of the Russian Federation, Ozyorsk, Russian Federation

Abstract

Aim. To assess the risk of malignant central nervous system (CNS) tumors among the first-generation offspring of workers from the Mayak Production Association.

Materials and Methods. A retrospective epidemiological analysis was conducted in a cohort of the offspring of workers from Russia's first nuclear power plant ($n = 8890$), born between 1949 and 1973. The comparison group consisted of 4345 offspring born during the same period to non-exposed parents. The observation period covered 72 years (1949–2020), with a total of 818,208 person-years of follow-up. The analysis focused on the frequency, dynamics, and structure of CNS malignancies. The relative risk of CNS tumors and the excess relative risk per unit dose of parental occupational radiation exposure were calculated with 95% confidence intervals.

Results. Overall, the frequency of CNS tumors in both groups over the entire observation period did not differ significantly (3.4 per 1000 in the main group, 1.8 per 1000 in the comparison group). Analysis of CNS tumor incidence dynamics across calendar periods showed no significant differences, with the peak in the main group occurring during 2001–2010. No significant differences were found in the age of CNS tumor onset or the average age of parents at the time of offspring birth. Histological structure and localization of CNS tumors varied across groups. The relative risk assessment for CNS tumors showed a statistically insignificant increase in risk among the offspring in the main group when considering total obser-

ventions and sex-specific analyses. Among the offspring of mothers with confirmed preconceptional and intrauterine occupational radiation exposure, the relative risk of CNS tumors was higher for males and both sexes combined (3.6 [1.06–12.28] and 2.74 [1.08–6.93]; 4.34 [1.27–14.77] and 3.3 [1.31–8.36], respectively). However, the analysis of excess relative risk did not indicate significant risk estimates for maternal radiation exposure, neither in general nor across different dose intervals.

Conclusion. The study did not confirm the hypothesis that parental occupational radiation exposure influences the risk of CNS tumors in offspring. Given the relatively young age of the cohort and the low number of CNS tumor cases, issues related to maternal radiation exposure require further observation.

Keywords: malignant central nervous system tumors, Mayak Production Association, radiation, external gamma radiation, preconceptional exposure, intrauterine exposure, offspring of exposed individuals.

Conflict of Interest

None declared.

Funding

The work was performed in the framework of a State Contract no. 11.314.22.2 as of July 15, 2022 under the title 'Analysis of ionizing radiation effects for the health of population and offspring residing close to atomic production facilities of "Rosatom" Corporation' based on the Federal Target Program 'Providing nuclear and radiation safety in 2016–2020 and for the period up to 2035'.

For citation:

Svetlana F. Sosnina, Pavel V. Okatenko, Elena V. Denisova, Mikhail E. Sokolnikov. Risk of central nervous system tumors in the offspring of individuals exposed to production radiation. *Fundamental and Clinical Medicine*. (In Russ.). 2024;9(3): 8-18. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2024-9-3-8-18>

*Corresponding author:

Dr. Svetlana F. Sosnina, 19, Ozyorskoe Shosse, Ozyorsk, Chelyabinsk region, 456783, Russian Federation, E-mail: sosnina@subi.su
© Svetlana F. Sosnina, et al.

◀ English

Введение

Рост числа объектов атомной отрасли и расширение диагностических и терапевтических возможностей ионизирующего излучения в медицине выдвигают вопросы здоровья будущих поколений облученных родителей на приоритетное место [1, 2]. Многочисленные эпидемиологические работы посвящены последствиям прекоцептивного (до зачатия ребенка) радиационного воздействия на родителей, однако единого мнения об исходах облучения для здоровья потомков до сих пор не существует.

Анализ онкопатологии у потомков облученных родителей занимает особое положение в радиационной эпидемиологии [3, 4]. Согласно экспериментальным исследованиям, воздействие ионизирующей радиации может вызывать различные виды опухолей у последующих поколений [5]. В человеческой популяции вклад радиационного воздействия в развитие злокачественных новообразований (ЗНО) у потомков остается нерешенным вопросом. В отношении риска возникновения отдаленных последствий, в том числе ЗНО, у облученных людей и их потомков первых двух поколений отмечено, что в результате воздействия радиации происходят повреждения, вызывающие генетические и эпигенетические изменения, приводящие к изменению уровня экспрессии белков вследствие изменения метилирования остатков цитозина в ДНК, модификации гистонов и регуляции экспрессии микро-РНК, что способствует онкогенезу [6].

Злокачественные новообразования центральной нервной системы (ЦНС) в настоящее время сохраняют тенденцию к росту заболеваемости и смертности населения, хотя занимают «скромный удельный вес в общей структуре онкологической заболеваемости» [7]. Из-за относительной редкости данной локализации большинство аналитических исследований ЗНО ЦНС являются исследованиями «случай – контроль». Вместе с тем предпочтительным дизайном для изучения рисков ЗНО считаются когортные исследования, основными преимуществами которых являются долговременное наблюдение и «богатая инфраструктура данных», позволяющие достичь различных исследовательских целей [8].

Когорта потомков работников производственного объединения (ПО) «Маяк» – первого в стране предприятия атомной энергетики, функционирующего с 1948 г., может рассматриваться в качестве ценного источника для изучения последствий пролонгированного производствен-

ного радиационного воздействия на родителей для здоровья их потомков. Отличительными характеристиками когорты работников ПО «Маяк» являются: длительный период наблюдения, сопоставимый с данными японского Фонда исследований радиационных эффектов (Radiation Effects Research Foundation, RERF) у жертв атомных бомбардировок и их потомков, но соответствующий пролонгированному радиационному воздействию как внешнего, так и внутреннего облучения; высокая доля женского персонала (25%), подвергшегося облучению в репродуктивном возрасте; измеренные индивидуальные дозы производственного облучения [9].

Цель исследования

Оценка риска ЗНО ЦНС среди первого поколения потомков работников ПО «Маяк».

Материалы и методы

Ретроспективный эпидемиологический анализ проведен с использованием баз данных лаборатории радиационной эпидемиологии ФГБУН «Южно-Уральский институт биофизики» Федерального медико-биологического агентства – Медико-дозиметрического регистра персонала ПО «Маяк» [10], Детского регистра г. Озерск – закрытого административно-территориального образования (ЗАТО), близлежащего к ПО «Маяк» [11], Канцер-регистра г. Озерск [12]. Сведения об индивидуальных прекоцептивных накопленных дозах внешнего гамма-облучения родителей – работников ПО «Маяк» получены из «Дозиметрической Системы Работников Маяка – 2013» [13].

Основная группа сформирована из потомков работников ПО «Маяк», родившихся в ЗАТО г. Озерск в 1949–1973 гг. после трудоустройства их родителей на предприятие, и составляла 8890 человек (4729 – потомков мужского пола, 4161 – женского пола).

Группа сравнения сформирована из Детского регистра и включала потомков необлученных родителей (не подвергшихся радиационному воздействию на производстве, не являвшихся ликвидаторами радиационных аварий и не переселенных с радиоактивно загрязненных территорий), родившихся в ЗАТО г. Озерск в 1949–1973 гг. р. – 4345 человек (2222 – потомков мужского пола, 2123 – женского пола).

Заболеваемость ЗНО ЦНС прослежена за 72-летний период: с 01.01.1949 по 31.12.2020 гг. Общее число человеко-лет наблюдения состави-

ло 818208 (в основной группе – 551106, в группе сравнения – 267102).

ЗНО ЦНС рассмотрены с учетом «Международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем», морфологическая характеристика представлена согласно «Международной классификации болезней – онкология (МКБ-О)».

Проведен сравнительный анализ частоты, структуры, динамики ЗНО ЦНС в группах. Применен пакет статистического программного обеспечения Statistica Version 10 (StatSoft, USA). Сравнение частот выполнено с использованием критерия χ^2 (Pearson's chi-squared test) и точного критерия Фишера (two-tailed Fisher's exact test), различия считались статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$. Расчет относительного риска (ОР) ЗНО ЦНС и избыточного относительного риска (ИОР) на единицу дозы внешнего гамма-облучения с 95% доверительным интервалом (ДИ) проведен с использованием пакета программ EpiSure [14]. Данные в таблице человеко-лет были сгруппированы по стратам с учетом пола, возраста и дозовым интервалам.

Результаты

Всего за период 1949–2020 гг. в основной группе наблюдалось 30 случаев ЗНО ЦНС (3,4 на 10^3), в группе сравнения – 8 случаев (1,8 на 10^3), без статистически значимых различий в группах, $\chi^2 = 2,4$, $df = 1$, $p = 0,12$. Частота ЗНО ЦНС среди потомков мужского пола в основной группе была выше, чем среди потомков женского пола (3,8 и 2,9 на 10^3 , соответственно), но статистически значимых различий при сравнении не получено: $\chi^2 = 0,56$, $df = 1$, $p = 0,45$. В группе сравнения частота ЗНО ЦНС среди потомков мужского и женского полов практически не различалась – 1,8 и 1,9 на 10^3 соответственно.

Динамика заболеваемости ЗНО ЦНС по календарным периодам представлена на рисунке 1.

Среди потомков работников ПО «Маяк» случаи ЗНО ЦНС относились к периоду 1965–2019 гг., в группе сравнения – 1964–2015 гг. Как правило, заболеваемость ЗНО ЦНС в основной группе была выше, чем в группе сравнения, за исключением первого десятилетия наблюдения. Пик заболеваемости в основной группе приходился на период 2001–2010 гг., что, возможно, объясняется расширением диагностических возможностей и внедрением инструментальных методов обследования в ЗАТО. Значимых статистических различий при сравнении частоты ЗНО ЦНС в группах в различные календарные периоды не получено ($F\text{-test} > 0,05$).

Распределение случаев ЗНО ЦНС в зависимости от периода рождения потомков продемонстрировало, что 60% (18 случаев) в основной группе и 75% (6 случаев) в группе сравнения относились к первой декаде – 1949–1958 гг.р., без статистически значимых различий в группах, $F\text{-test} = 0,68$. Данное соотношение объясняется, прежде всего, постарением когорты 1949–1973 гг. р., случаи ЗНО в которой чаще диагностированы у более старших представителей.

Медиана возраста манифестации ЗНО ЦНС составляла в основной группе 37,4 года (интерквартильный размах [25,8–51,9], диапазон 6–61 год), в группе сравнения – 43,4 ([26,4–49,9], диапазон 6–59 лет). Наиболее часто ЗНО ЦНС диагностировались среди потомков основной группы в возрасте 50–59 лет (0,9 на 10^3), в группе сравнения – в возрасте 40–49 лет (0,7 на 10^3). Значимых статистических различий при сопоставлении частоты ЗНО ЦНС в группах с учетом интервалов возраста потомков не обнаружено.

Анализ возраста родителей на момент рождения детей среди случаев ЗНО ЦНС не показал существенных различий и составлял в среднем 26,4 года среди отцов в основной груп-

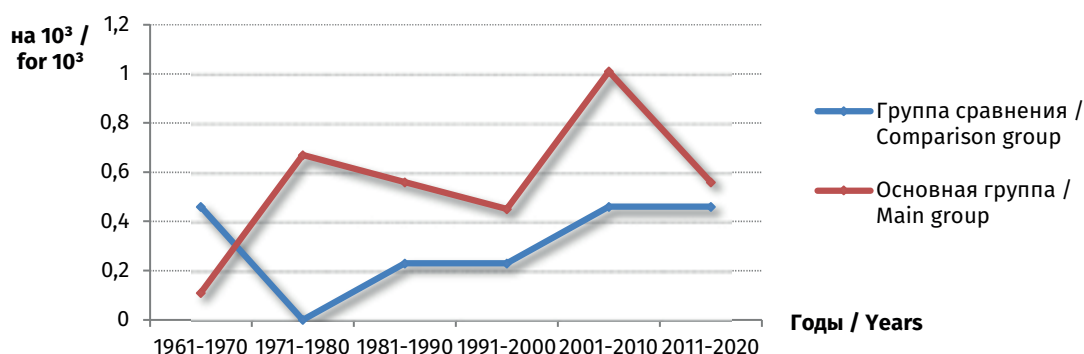


Рисунок 1.
Динамика заболеваемости ЗНО ЦНС по календарным периодам.

Figure 1.
Dynamics of CNS tumors incidence by calendar periods.

пе, 26,1 года среди отцов в группе сравнения и 25 лет среди матерей в обеих группах.

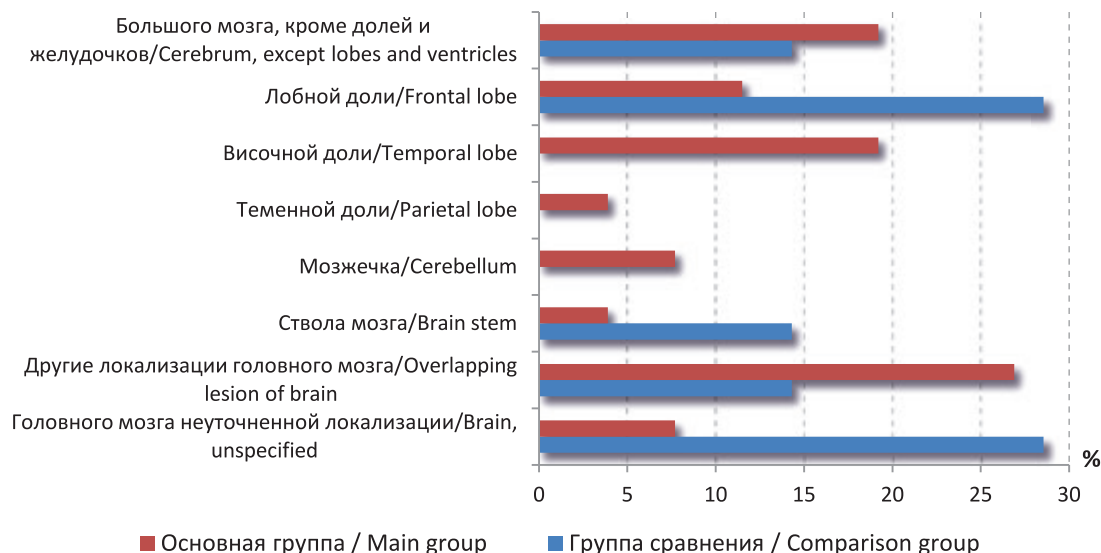
Все случаи ЗНО ЦНС среди потомков были первичными злокачественными новообразованиями. Структура ЗНО ЦНС была представлена в группах в виде ЗНО мозговых оболочек – 10% (3 случая) в основной группе, 12,5% (1 случай) в группе сравнения; ЗНО головного

го мозга – 86,7% (26 случаев) и 87,5% (7 случаев), соответственно; ЗНО спинного мозга – 3,3% (1 случай) в основной группе. Значимых статистических различий при сравнении частоты указанных локализаций в группах не получено.

Детальный анализ структуры ЗНО головного мозга представлен на рисунке 2.

Рисунок 2.
Структура ЗНО
головного мозга
в группах.

Figure 2.
Types of CNS
tumors detected
in the groups.



Отмечен широкий спектр ЗНО головного мозга в группах. Среди потомков работников ПО «Маяк» наиболее частыми локализациями были ЗНО большого мозга, височной доли и другие интракраниальные ЗНО, затрагивающие желудочки мозга и перивентрикулярные области. В группе сравнения ЗНО головного мозга были представлены случаями ЗНО большого мозга, лобной доли, ствола мозга и интракраниальных ЗНО с неуточненным местоположением. Сравнительный анализ соотношения супра- и субтенториальных процессов не показал существенных различий в группах: 4,7:1 в основной группе, 3:1 в группе сравнения, $p > 0,05$.

Оценка морфологического профиля ЗНО ЦНС показала обширную гетерогенность опухолей. Так, в основной группе, наряду с преобладанием астроцитарных опухолей в виде анапластических астроцитом (30%) и глиобластом (26,6%), наблюдались анапластические олигодендроглиомы и эпендимомы (по 6,7%), нейроэпителиальное новообразование в виде ганглионейробластомы (3,3%); ЗНО мозговых оболочек были представлены лептоменингеальными саркомами (10% всех ЗНО ЦНС); оставшиеся 16,7% относились к неклассифицированным злокачественным опухолям. В свою очередь в группе сравнения сре-

ди гистологических типов доминировали астроцитарные неоплазмы, в их числе – глиобластомы (37,5%) и анапластические астроцитомы (25%); случай ЗНО мозговых оболочек был обусловлен анапластической менингиомой (12,5%); остальные 25% относились к морфологически неклассифицированным ЗНО ЦНС.

Расчет относительного риска ЗНО ЦНС (таблица 1) показал статистически незначимое увеличение риска ЗНО ЦНС среди потомков основной группы по сумме наблюдений и при рассмотрении по полу.

Распределение случаев ЗНО ЦНС в основной группе с учетом категорий доз прекоцептивного облучения матерей показало, что накопленные дозы на яичники варьировали от «нулевой дозы» (когда мать являлась работницей ПО «Маяк», но в прекоцептивный период не подвергалась радиационному воздействию на рабочем месте) до 1122,4 мГр (медиана 35,7 мГр, межквартильный размах [10,2–220,5]). Диапазон прекоцептивных накопленных доз на семенники составлял 0–2868,5 мГр (медиана 87,8 [12,6–460,8]). Более трети случаев ЗНО ЦНС (43,3% – 13 случаев) наблюдались среди потомков, чьи матери подвергались профессиональному облучению во время беременности в диапазоне суммарных доз

Пол потомков / Offspring sex	Основная группа / Main group		Группа сравнения / Comparison group		ОР / RR	95% ДИ / 95% CI
	n	на 1000 / per 1000	n	на 1000 / per 1000		
Мужчины / Men	18 / 4729	3,8	4 / 2222	1,8	2,11	(0,72-6,24)
Женщины / Women	12 / 4161	2,9	4 / 2123	1,9	1,53	(0,49-4,74)
Оба пола / Total	30 / 8890	3,4	8 / 4345	1,8	1,83	(0,84-3,99)

Таблица 1.
Относительный риск
ЗНО ЦНС в группах.

Table 1.
Relative risk of CNS
tumors in the groups.

0–140,6 мГр (медиана 8,1 [0,02–40,4]). Среди случаев ЗНО ЦНС собственное производственное облучение зарегистрировано у шести потомков основной группы, ставших работниками ПО «Маяк», в диапазоне доз внешнего гамма-облучения 30,1–87 мГр (медиана 58,5 [37,8–80,8]), в группе сравнения – у двух мужчин с накопленными дозами внешнего гамма-облучения в период до диагностики неоплазм 40,4 и 88,5 мГр.

Важно отметить, что годы найма родителей на ПО «Маяк» среди потомков с ЗНО ЦНС в основной группе в большинстве случаев отно-

сились к первой пятилетке работы предприятия (1948–1953 гг.) – 77% матерей (10/13) и 55,6% отцов (15/27). Распределение по типу производства показало, что ЗНО ЦНС в 38,4% наблюдались среди потомков матерей-работниц реакторного производства, в 30,8% – радиохимического и 30,8% – плутониевого. Среди отцов – 33,3, 55,6 и 11,1% соответственно.

Оценка относительного риска ЗНО ЦНС в зависимости от суммарных доз радиационного воздействия на производстве представлена в **таблице 2**.

Радиационное воздействие / Radiation exposure	Категории доз, мГр / Dose categories, mGy	Пол потомков / Offspring sex	Основная группа / Main group		Группа сравнения / Comparison group		ОР / RR	95% ДИ / 95% CI
			n	на 1000 / per 1000	n	на 1000 / per 1000		
Прекоцептивное внешнее гамма-облучение яичников / Preconception external gamma-exposure of the ovaries	= 0	Мужчины / Men	3 / 349	8,6	4 / 2222	1,8	4,78*	(1,07 – 21,25)
		Женщины / Women	0 / 370	0	4 / 2123	1,9	0,64	(0,03 – 11,79)
		Оба пола / Total	3 / 719	4,2	8 / 4345	1,8	2,27	(0,60 – 8,52)
	> 0	Мужчины / Men	7 / 1079	6,5	4 / 2222	1,8	3,6*	(1,06 – 12,28)
		Женщины / Women	3 / 904	3,3	4 / 2123	1,9	1,76	(0,39 – 7,85)
		Оба пола / Total	10 / 1983	5	8 / 4345	1,8	2,74*	(1,08 – 6,93)
Прекоцептивное внешнее гамма-облучение семенников / Preconception external gamma-exposure of the testicles	= 0	Мужчины / Men	1 / 670	1,5	4 / 2222	1,8	0,83	(0,09–7,41)
		Женщины / Women	2 / 604	3,3	4 / 2123	1,9	1,76	(0,32–9,57)
		Оба пола / Total	3 / 1274	2,4	8 / 4345	1,8	1,28	(0,34–4,81)
	> 0	Мужчины / Men	15 / 3451	4,3	4 / 2222	1,8	2,41	(0,80–7,27)
		Женщины / Women	9 / 3023	3	4 / 2123	1,9	1,58	(0,49–5,12)
		Оба пола / Total	24 / 6474	3,7	8 / 4345	1,8	2,01	(0,91–4,48)
Внутриутробное внешнее гамма-облучение / Preconception external gamma-exposure of the testicles	= 0	Мужчины / Men	3 / 573	5,2	4 / 2222	1,8	2,91	(0,65–12,96)
		Женщины / Women	0 / 562	0	4 / 2123	1,9	0,42	(0,02–7,77)
		Оба пола / Total	3 / 1135	2,6	8 / 4345	1,8	1,44	(0,38–5,40)
	> 0	Мужчины / Men	7 / 897	7,8	4 / 2222	1,8	4,34*	(1,27–14,77)
		Женщины / Women	3 / 747	4	4 / 2123	1,9	2,13	(0,48–9,50)
		Оба пола / Total	10 / 1644	6,1	8 / 4345	1,8	3,3*	(1,31–8,36)

*статистически значимые различия с группой сравнения

*statistically significant differences from the comparison group

Таблица 2.
Относительный риск ЗНО ЦНС среди потомков с учетом накопленных доз внешнего гамма-облучения родителей.

Table 2.
Relative risk of CNS tumors among the offspring, considering accumulated doses of external gamma-exposure of the parents.

Наиболее высокий коэффициент относительного риска наблюдался для «нулевых доз» прекоцептивного облучения яичников – 4,78 (1,07–21,25), подкрепленный, однако, только тремя случаями ЗНО ЦНС в основной группе.

Значимые различия с группой сравнения получены для потомков, чьи матери подвергались радиационному воздействию на производстве. Так, в категории прекоцептивных доз внешнего гамма-облучения яичников более нуля риск ЗНО ЦНС среди потомков был существенно выше, чем в группе сравнения, для мужчин и обоих полов: 3,6 (1,06–12,28) и 2,74 (1,08–6,93)

соответственно. Аналогичное превышение коэффициентов риска отмечено при анализе внутриутробного облучения, когда риск ЗНО ЦНС был значимо выше, чем в группе сравнения, для мужчин и обоих полов: 4,34 (1,27–14,77) и 3,3 (1,31–8,36) соответственно. Значимых оценок риска при рассмотрении прекоцептивного внешнего гамма-облучения семенников в сравнении с потомками необлученных родителей не получено.

Анализ ИОР на единицу дозы производственного облучения родителей показал следующие результаты (таблица 3).

Таблица 3.
Избыточный относительный риск ЗНО ЦНС на единицу дозы производственного внешнего гамма-облучения родителей.

Table 3.
Excess relative risk of CNS tumors for a unit of dose of occupational external gamma-exposure of the parents

Дозовые интервалы, мГр / Dose intervals, mGy	Случаи / Cases	Число человеко-лет / Person-years	ИОР / ERR	95% ДИ / 95% CI
Прекоцептивное внешнее гамма-облучение яичников / Preconception external gamma-exposure of the ovaries				
= 0	3	46660,1	-	-
< 64	4	35022,7	0,70	-0,62 – 7,67
более 64 / More than 64	6	72153,8	0,23	-0,67 – 4,85
Всего / Total*	13	153836,6	0,18	-1,67 – 3,96
Прекоцептивное внешнее гамма-облучение семенников / Preconception external gamma-exposure of the testicles				
= 0	3	68794,2	-	-
< 87	10	113208	1,10	-0,36 – 8,38
< 376	6	113276	0,25	-0,67 – 4,92
более 376 / More than 376	8	118405	0,56	-0,55 – 6,14
Всего / Total*	27	413683,2	0,07	-0,60 – 1,29
Внутриутробное внешнее гамма-облучение / In utero preconception external gamma-exposure				
= 0	3	64563,4	-	-
< 8,7	4	29362,6	1,84	-0,38 – 13,45
< 41	3	29776,4	1,05	-0,62 – 10,06
более 41 / More than 41	3	30134,2	0,92	-0,64 – 9,42
Всего / Total*	13	153836,6	2,73	-6,91 – 29,1

*– ИОР/Гр для изученного дозового диапазона

*– ERR/Gy for the studied dose range

Как для прекоцептивного, так и для внутриутробного внешнего гамма-облучения на производстве получены положительные коэффициенты ИОР во всех дозовых категориях и в целом по сумме наблюдений в каждой градации. Однако статистически значимых оценок риска, согласно 95% ДИ, не выявлено ни в одной из наблюдаемых категорий.

Обсуждение

Согласно современным знаниям, ЗНО ЦНС представляют собой большую гетерогенную группу новообразований с различным биологическим поведением и гистогенезом. Отсут-

ствие определенных этиологических факторов для ЗНО ЦНС привело к множеству исследований различных потенциальных триггеров. Анализ литературных данных показал, что в качестве факторов внешней среды для развития ЗНО ЦНС рассматриваются загрязнение воздуха выхлопными газами, пассивное курение, присутствие нитрозосоединений в водопроводной воде, использование пестицидов в домашних условиях, употребление большого количества мяса, профессиональные вредности родителей [15, 16].

Первичный ретроспективный анализ в когорте потомков работников ПО «Маяк» про-

веден для оценки вклада производственного облучения родителей в ЗНО ЦНС у их потомков. Среди 13235 человек, родившихся в ЗАТО г. Озерск, 8890 из которых были рождены в семьях работников ПО «Маяк», зарегистрировано в общей сложности 38 случаев ЗНО ЦНС, большинство из которых относились к ЗНО головного мозга. Сравнительный анализ частоты ЗНО ЦНС, а также динамики заболеваемости по календарным периодам не выявил значимых различий между группами.

Удельный вес случаев ЗНО ЦНС, диагностированных в основной группе в 2001–2010 гг. р., составил по сумме наблюдений почти треть всех неоплазм. Этот временной тренд, возможно, объясняется улучшением диагностики и новыми методами визуализации (нейросонография, магнитно-резонансная терапия, компьютерная томография, позитронно-эмиссионная томография). В эти годы не исключается также вероятное использование мобильной связи. Радиочастотные электромагнитные волны как потенциальный канцероген рассмотрены в обзоре Vienne-Jumeau et al. [16].

Многочисленные исследования описывают гендерные различия в заболеваемости ЗНО ЦНС с преобладанием патологии среди лиц мужского пола [15, 17]. Согласно нашим результатам, почти две трети случаев ЗНО ЦНС были диагностированы среди мужчин (60% – 18 случаев), но в сравнении с удельным весом лиц мужского пола в исследуемой когорте и с частотой ЗНО ЦНС среди женщин не найдено значимых статистических отличий ($p > 0,05$).

В нейрохирургии выделяют два пика в частоте ЗНО ЦНС: первый пик с небольшим преобладанием мальчиков отмечается в первом десятилетии жизни, второй пик наблюдается с третьего по четвертое десятилетие и достигает максимума к 60 годам [18]. Аналогичная тенденция прослеживается в нашем исследовании: медиана возраста возникновения ЗНО ЦНС среди потомков облученных родителей составила 37,4 года (43,4 в группе сравнения); наиболее часто ЗНО ЦНС дебютировали в основной группе в 50–59 лет (в группе сравнения – 40–49 лет).

Средний возраст родителей на момент рождения ребенка в данном исследовании достигал 25 лет среди матерей и 26 лет среди отцов. На повышенные риски развития у детей глиомы для материнского возраста старше 35

лет, астроцитомы и эпендимомы в зависимости от возраста отца указывают в своей работе Johnson et al. [15]. Спектр ЗНО ЦНС был представлен многообразием опухолей по локализации и гистологическому строению. Согласно государственной статистике, наибольший удельный вес в структуре локализаций ЗНО головного мозга занимают ЗНО лобной доли [7]. По данным регистра опухолей головного мозга Национального института рака в США [19], наиболее часто встречающейся злокачественной гистопатологией мозга и других органов ЦНС была глиобластома (50,9% всех злокачественных опухолей), что, в целом, соответствует нашим результатам.

Оценка относительного риска выявила статистически незначимое увеличение риска ЗНО ЦНС среди потомков основной группы по сумме наблюдений и при рассмотрении по полу. Между тем анализ риска в зависимости от факта облучения родителей на производстве указал на значимое преобладание ЗНО ЦНС среди потомков, чьи матери подвергались профессиональному облучению в преконцептивный и гестационный период. Публикации, описывающие последствия материнского облучения в виде онкопатологии у потомков, дают довольно противоречивые оценки. Так, для потомков первого и второго поколения женщин, подвергшихся воздействию радиации в зоне Семипалатинского полигона, описана высокая частота малигнизации патологии щитовидной железы [20]. Установлено существенное увеличение заболеваемости раком у потомков матерей-работниц предприятий атомной промышленности [21]. Вместе с тем не было обнаружено никакой связи между воздействием радиации на мать вследствие диагностического облучения и риском нейробластомы (отношение шансов 1,0; 95% ДИ 0,7–1,3) в североамериканском исследовании «случай-контроль» [22]. Анализ репродуктивных исходов пролонгированной лучевой терапии среди женщин, перенесших болезнь Ходжкина в детском возрасте, не обозначил увеличения риска детского рака среди потомков [23]. По оценкам многих исследователей, эффектам радиационного воздействия на материнский организм уделяется гораздо меньше внимания, что требует дальнейшего изучения.

Несмотря на вышеуказанные значимые оценки относительного риска для материн-

ского облучения, основанные на факте производственного облучения матерей в прекоцептивный и гестационный период, достоверных значений ИОР на единицу дозы внешнего гамма-облучения не получено. Анализ ИОР не выявил зависимости заболеваемости ЗНО ЦНС от прекоцептивного и внутриутробного внешнего гамма-облучения ни в различных дозовых категориях, ни в целом, что не позволяет напрямую связать действие производственного ионизирующего излучения на родителей с ЗНО ЦНС у потомков.

К преимуществам нашего исследования относятся: использование когортного метода наблюдения; репрезентативность выборки потомков, родившихся и проживавших в ЗАТО; 72-летний период наблюдения за когортой потомков; тщательная проверка каждого случая ЗНО ЦНС.

В качестве ограничений нашего исследования можно отметить: отсутствие регионального и национального стандартов заболеваемости ЗНО ЦНС для ранних лет исследуемого периода; отсутствие полных анамнестических сведений о нерадиационных факторах для всей когорты потомков (в том числе о семейном онкологическом анамнезе, хронической патологии родителей до зачатия ребенка, отягощенном акушерско-гинекологическом анамнезе матерей, неблагоприятном течении беременности и родов, медикаментозной терапии в первом триместре беременности, предшествующих ЗНО ЦНС заболеваниям и т.д.); отсутствие сведений о дозах техногенного облучения населения ЗАТО г. Озерск вследствие проживания вблизи ПО «Маяк»; ограниченную статистическую силу из-за относительно малого числа случаев ЗНО ЦНС. Известно, что при малом числе наблюдений и большом числе малых интервалов трудно выявить специфику закономерностей изучаемого явления: слишком велик фактор случайности [24]. Кроме того, наблюдаемая когорта потомков относительно молода (средний возраст $55,1 \pm 13,6$ лет), поэтому актуальным представляется последующий эпидемиологический анализ.

Перспективными направлениями нашей работы по данной теме можно считать: сбор сведений о возможных нерадиационных факторах для всей когорты потомков и проведение факторного анализа; сравнительный анализ стандартизованного отношения заболева-

емости ЗНО ЦНС у потомков работников ПО «Маяк» в сравнении с региональным и национальным стандартами; дальнейшее расширение периода наблюдения за когортой потомков.

Заключение

1) Не получено различий между группами в частоте ЗНО ЦНС за период наблюдения 1949–2020 гг.

2) Анализ динамики заболеваемости ЗНО ЦНС по календарным периодам не выявил значимых различий в группах, пик заболеваемости в основной группе наблюдался в 2001–2010 гг.

3) Не установлено весомой разницы в среднем возрасте манифестации ЗНО ЦНС в группах и среднем возрасте родителей на момент рождения потомков.

4) Спектр ЗНО ЦНС в группах, в целом, не различался; отмечена морфологическая гетерогенность опухолей.

5) Относительный риск ЗНО ЦНС в основной группе был статистически незначимо выше, чем в группе сравнения, по сумме наблюдений и при рассмотрении по полу.

6) Относительный риск ЗНО ЦНС с учетом факта производственного облучения родителей был статистически значимо выше среди потомков, матери которых подверглись прекоцептивному и гестационному внешнему гамма-облучению на ПО «Маяк», для лиц мужского пола и обоих полов.

7) Анализ избыточного относительного риска ЗНО ЦНС на единицу дозы производственного внешнего гамма-облучения не показал значимых оценок риска ни в целом, ни в различных категориях доз прекоцептивного и внутриутробного облучения.

Таким образом, исследование не выявило статистически значимого вклада производственного облучения родителей в риск ЗНО ЦНС у потомков. В отношении материнского облучения требуется последующее наблюдение исходов у потомков, поскольку статистическая мощность оценок относительного риска мала, что не позволяет рассматривать полученные оценки риска как окончательные. Учитывая относительно молодой средний возраст наблюдаемой когорты потомков работников ПО «Маяк», необходим дальнейший эпидемиологический мониторинг.

Литература:

1. Соснина С.Ф., Окатенко П.В. Неинфекционная патология у детей работников предприятия атомной промышленности. *Медицинский академический журнал*. 2017;17(3):68–76. <https://doi.org/10.17816/MAJ17368-76>
2. Таранушенко Т.Е., Проскурина М.В. Современный взгляд на вопросы эпидемиологии и манифестации сахарного диабета 1-го типа в педиатрии. *Доктор. Ру*. 2024;23(3):55–61. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2024-23-3-55-61>
3. Соснина С.Ф., Кабиров Н.Р., Сокольников М.Э., Окатенко П.В. Гемобластозы у потомков работников радиационно опасных производств. *Анализ риска здоровью*. 2016;4:23–30. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2016.4.03>
4. Vulimiri S.V., Olivero O. Introduction: Special Issue on Transplacental/Transgenerational Mutagenesis and Carcinogenesis. *Environ. Mol. Mutagen*. 2019;60(5):392–394. <https://doi.org/10.1002/em.22292>
5. Dubrova Y.E., Sarapultseva E.I. Radiation-induced transgenerational effects in animals. *Int. J. Radiat. Biol.* 2022;98(6):1047–1053. <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1793027>
6. Изтлеуов Е.М., Изтлеуов М.К., Елубаева А.Е., Туляева А.Б., Абеннова Н.А. Канцерогенность ионизирующего излучения: обзор литературы. *Онкология и радиология Казахстана*. 2023;4(70):39–45. <https://doi.org/10.52532/2521-6414-2023-4-70-39-45>
7. Мерабишвили В.М., Кальяно К., Вальков М.Ю., Дяченко А.А. Эпидемиология и выживаемость больных злокачественными новообразованиями головного мозга (C71). Популяционное исследование. *Вопросы онкологии*. 2020;66(5):489–499. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2020-66-5-489-499>
8. Nickolls B.J., Relton C., Hemkens L., Zwarenstein M., Eldridge S., McCall S.J., Griffin X.L., Sohanpal R., Verkooijen H.M., Maguire J.L., McCord K.A. Randomised trials conducted using cohorts: a scoping review. *BMJ Open*. 2024;14(3):e075601. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-075601>
9. Соснина С.Ф., Сокольников М.Э. Наследуемые эффекты у потомков, связанные с вредным воздействием на родителей. (Обзор литературы). *Радиационная гигиена*. 2019;12(3):84–95. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-3-84-95>
10. Stram D.O., Sokolnikov M., Napier B.A., Vostrotin V.V., Efimov A., Preston D.L. Lung Cancer in the Mayak Workers Cohort: Risk Estimation and Uncertainty Analysis. *Radiat. Res.* 2021;195(4):334–346. <https://doi.org/10.1667/RADE-20-00094.1>
11. Петрушкина Н.П., Кошурникова Н.А., Кабиров Н.Р., Окатенко П.В., Хохряков В.В. Оценка радиационного риска для населения, проживающего вблизи предприятия атомной промышленности. Сообщение 1. Методические подходы к оценкам радиационного риска. Состав Детского Регистра. *Вопросы радиационной безопасности*. 1996;2:46–50.
12. Окатенко П.В., Фомин Е.П., Денисова Е.В., Кузнецова И.С., Сокольников М.Э., Кошурникова Н.А. Канцер-регистр населения г. Озерска: структура первичных злокачественных новообразований за период с 1948 по 2016 годы. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2021;66(5):85–90. <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2021-66-5-85-90>
13. Napier B.A. The Mayak worker dosimetry system (MWDS-2013): An introduction to the documentation. *Radiat. Prot. Dosimetry*. 2017;176(1-2):6–9. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncx020>
14. Preston D.L., Lubin J.H., Pierce D.A. *EPICURE User's Guide*. Seattle: Hirosoft International Corp; 1993.
15. Johnson K.J., Cullen J., Barnholtz-Sloan J.S., Ostrom Q.T., Langer C.E., Turner M.C., McKean-Cowdin R., Fisher J.L., Lupo P.J., Partap S., Schwartzbaum J.A., Scheurer M.E. Childhood brain tumor epidemiology: a brain tumor epidemiology consortium review. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 2014;23(12):2716–2736. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-14-0207>
16. Vienne-Jumeau A., Tafani C., Ricard D. Environmental risk factors of primary brain tumors: A review. *Rev. Neurol. (Paris)*. 2019;175(10):664–678. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2019.08.004>
17. Соснина С.Ф., Волосников Д.К. Гендерные аспекты качества жизни подростков. *Проблемы женского здоровья*. 2010;5(2):42–45.
18. Желудкова О.Г. Опухоли головного и спинного мозга. В кн.: *Детская онкология. Клинические рекомендации по лечению пациентов с солидными опухолями*. Под ред. Рыкова М.Ю., Полякова В.Г. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2017:20–50.
19. Ostrom Q.T., Price M., Neff C., Cioffi G., Waite K.A., Kruchko C., Barnholtz-Sloan J.S. CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2016–2020. *Neuro Oncol.* 2023;25(12 Suppl 2):iv1–iv99. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noad149.20>
20. Дударева Ю.А., Гурьева В.А. Оценка состояния щитовидной железы у женщин, находившихся в зоне радиационного воздействия, и их потомков в двух поколениях. *Экология человека*. 2015;10:9–13.
21. Draper G.J., Little M.P., Sorahan T., Kinlen L.J., Bunch K.J., Conquest A.J., Kendall G.M., Kneale G.W., Lancashire R.J., Muirhead C.R., O'Connor C.M., Vincent T.J. Cancer in the offspring of radiation workers: a record linkage study. *BMJ*. 1997;315(7117):1181–8.
22. Patton T., Olshan A.F., Neglia J.P., Castleberry R.P., Smith J. Parental exposure to medical radiation and neuroblastoma in offspring. *Paediatr. Perinat. Epidemiol.* 2004;18(3):178–185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3016.2004.00554.x>
23. Blatt J. Pregnancy outcome in long-term survivors of childhood cancer. *Med. Pediatr. Oncol.* 1999;33(1):29–33. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-911x\(199907\)33:1<29::aid-mpo6>3.0.co;2-2](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-911x(199907)33:1<29::aid-mpo6>3.0.co;2-2)
24. Мерабишвили В.М. *Онкологическая статистика (традиционные методы, новые информационные технологии): Руководство для врачей. Часть I*. ООО «ИПК «КОСТА»; 2015.

References:

1. Sosnina SF, Okatenko PV. Non-infectious pathology in children of female workers of nuclear industry enterprise. *Medical academic journal*. 2017;17(3):68–76. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/MAJ17368-76>
2. Taranushenko TE, Proskurina MV. A modern view on the issues of epidemiology and manifestation of type 1 diabetes mellitus in pediatrics. *Doctor. Ru*. 2024;23(3):55–61. (In Russian). <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2024-23-3-55-61>
3. Sosnina SF, Kabirova NR, Sokolnikov ME, Okatenko PV. Hemoblastoses in offspring of radiation-hazardous industries workers. *Health Risk Analysis*. 2016;4:20–26. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2016.4.03>
4. Vulimiri SV, Olivero O. Introduction: Special Issue on Transplacental/Transgenerational Mutagenesis and Carcinogenesis. *Environ Mol Mutagen*. 2019;60(5):392–394. <https://doi.org/10.1002/em.22292>
5. Dubrova YE, Sarapultseva EI. Radiation-induced transgenerational effects in animals. *Int J Radiat Biol*. 2022;98(6):1047–1053. <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1793027>
6. Iztleuov YM, Iztleuov MK, Elubaeva AE, Tulyaeva AB, Abenova NA. Carcinogenicity of ionizing radiation: a literature review. *Oncology and Radiology of Kazakhstan*. 2023;4(70):39–45. (In Russian). <https://doi.org/10.52532/2521-6414-2023-4-70-39-45>
7. Merabishvili V, Kennet K, Valkov M, Dyachenko A. Epidemiology and survival of patients with malignant tumors of the brain (C71). Population-based study. *Problems in oncology*. 2020;66(5):489–499. (In Russian). <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2020-66-5-489-499>
8. Nickolls BJ, Relton C, Hemkens L, Zwarenstein M, Eldridge S, McCall SJ, Griffin XL, Sohanpal R, Verkooijen HM, Maguire JL, McCord KA. Randomised trials conducted using cohorts: a scoping review. *BMJ Open*. 2024;14(3):e075601. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-075601>
9. Sosnina SF, Sokolnikov ME. Heritable effects in offspring associated with harmful exposure to parents (Literature review). *Radiation Hygiene*. 2019;12(3):84–95. (In Russian). <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-3-84-95>
10. Stram DO, Sokolnikov M, Napier BA, Vostrotin VV, Efimov A, Preston DL. Lung Cancer in the Mayak Workers Cohort: Risk Estimation and Uncertainty Analysis. *Radiat Res*. 2021;195(4):334–346. <https://doi.org/10.1667/RADE-20-00094.1>

11. Petrushkina NP, Koshchurikova NA, Kabirova NR, Okatenko PV, Khokhryakov VV. Radiation risk assessment for the population living near the nuclear industry. Report 1. Methodical approaches to radiation risk assessments. Composition of the Children's Register. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti - Questions of radiation safety*. 1996;2:46–50. (In Russian).
12. Okatenko PV, Fomin EP, Denisova EV, Kuznetsova IS, Sokolnikov ME, Koshurnikova NA. Cancer registry of the population of Ozersk: structure of primary malignant neoplasms for the period from 1948 to 2016. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2021;66(5):85–90. (In Russian). <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2021-66-5-85-90>
13. Napier BA. The Mayak worker dosimetry system (MWDS-2013): An introduction to the documentation. *Radiat Prot Dosimetry*. 2017;176(1-2):6–9. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncx020>
14. Preston DL, Lubin JH, Pierce DA. EPICURE User's Guide. Seattle: Hirosoft International Corp; 1993.
15. JohnJohnson KJ, Cullen J, Barnholtz-Sloan JS, Ostrom QT, Langer CE, Turner MC, McKean-Cowdin R, Fisher JL, Lupo PJ, Partap S, Schwartzbaum JA, Scheurer ME. Childhood brain tumor epidemiology: a brain tumor epidemiology consortium review. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2014;23(12):2716–2736. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-14-0207>
16. Vienne-Jumeau A, Tafani C, Ricard D. Environmental risk factors of primary brain tumors: A review. *Rev Neurol (Paris)*. 2019;175(10):664–678. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2019.08.004>
17. Sosnina SF, Volosnikov DK. Genders aspects of adolescents' quality of life. *Problemy zhenskogo zdorov'ya*. 2010;5(2):42–45. (In Russian).
18. Zheludkova OG. Tumors of the brain and spinal cord. In: Rykov MJ, Poljakov VG, eds. *Pediatric oncology. Clinical guidelines for the treatment of patients with solid tumors*. M.: GJeOTAR-Media; 2017:20–50. (In Russian).
19. Ostrom QT, Price M, Neff C, Cioffi G, Waite KA, Kruchko C, Barnholtz-Sloan JS. CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2016–2020. *Neuro Oncol*. 2023;25(12 Suppl 2):iv1–iv99. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noad149>
20. Dudareva YuA, Gurieva VA. Evaluation of thyroid in women are at risk radiation exposure and their descendants in two generations. *Ekologiya cheloveka*. 2015;10:9–13. (In Russian).
21. Draper GJ, Little MP, Sorahan T, Kinlen LJ, Bunch KJ, Conquest AJ, Kendall GM, Kneale GW, Lancashire RJ, Muirhead CR, O'Connor CM, Vincent TJ. Cancer in the offspring of radiation workers: a record linkage study. *BMJ*. 1997;315(7117):1181–8.
22. Patton T, Olshan AF, Neglia JP, Castleberry RP, Smith J. Parental exposure to medical radiation and neuroblastoma in offspring. *Paediatr. Perinat. Epidemiol*. 2004;18(3):178–185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3016.2004.00554.x>
23. Blatt J. Pregnancy outcome in long-term survivors of childhood cancer. *Med Pediatr Oncol*. 1999;33(1):29–33. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-911x\(199907\)33:1<29::aid-mpo6>3.0.co;2-2](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-911x(199907)33:1<29::aid-mpo6>3.0.co;2-2)
24. Merabishvili VM. *Oncological statistics (traditional methods, new information technologies): Guide for doctors*. Part I. IPK KOSTA; 2015. (In Russian).

Сведения об авторах

Соснина Светлана Фаридовна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории радиационной эпидемиологии, ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России (456783, Россия, г. Озёрск, Челябинская область, Озёрское шоссе, д. 19).

Вклад в статью: концепция исследования, анализ данных, написание текста статьи.

ORCID: 0000-0003-1553-0963

Окатынко Павел Викторович, руководитель группы компьютерного и программного обеспечения, лаборатория радиационной эпидемиологии, ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России (456783, Россия, г. Озёрск, Челябинская область, Озёрское шоссе, д. 19).

Вклад в статью: формирование исследуемых групп, статистический анализ данных.

ORCID: 0000-0002-8260-1808

Денисова Елена Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории радиационной эпидемиологии, ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России (456783, Россия, г. Озёрск, Челябинская область, Озёрское шоссе, д. 19).

Вклад в статью: сбор и верификация данных.

ORCID: 0000-0002-6262-0067

Сокольников Михаил Эдуардович, доктор медицинских наук, заведующий отделом эпидемиологии, ФГБУН Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России (456783, Россия, г. Озёрск, Челябинская область, Озёрское шоссе, д. 19).

Вклад в статью: общее руководство проектом, утверждение окончательного варианта статьи.

ORCID: 0000-0001-9492-4316

Статья поступила: 28.06.2024 г.

Принята в печать: 30.08.2024 г.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

Authors

Dr. Svetlana F. Sosnina, MD, PhD, Senior Researcher, Radiation Epidemiology Laboratory, Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical and Biological Agency of the Russian Federation (19, Ozyorskoe Shosse, Ozyorsk, Chelyabinsk region, 456783, Russian Federation).

Contribution: conceived and designed the study; performed the data analysis; wrote the manuscript.

ORCID: 0000-0003-1553-0963

Mr. Pavel V. Okatenko, Head of the Group on Computational Hardware and Software, Radiation Epidemiology Laboratory, Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical and Biological Agency of the Russian Federation (19, Ozyorskoe shosse, Ozyorsk, Chelyabinsk region, 456783, Russian Federation).

Contribution: performed the data analysis.

ORCID: 0000-0002-8260-1808

Dr. Elena V. Denisova, MD, Junior Researcher of Radiation Epidemiology Laboratory, Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical and Biological Agency of the Russian Federation (19, Ozyorskoe shosse, Ozyorsk, Chelyabinsk region, 456783, Russian Federation).

Contribution: collected and processed the data.

ORCID: 0000-0002-6262-0067

Prof. Mikhail E. Sokolnikov, MD, DSc, Head of the Department of Epidemiology, Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical and Biological Agency of the Russian Federation (19, Ozyorskoe shosse, Ozyorsk, Chelyabinsk region, 456783, Russian Federation).

Contribution: conceived and designed the study; wrote the manuscript.

ORCID: 0000-0001-9492-4316

Received: 28.06.2024

Accepted: 30.08.2024

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.