

Радиационные риски заболеваемости раком щитовидной железы среди ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС

Горский А.И., Максютлов М.А., Туманов К.А., Кашцев В.В., Чекин С.Ю., Иванов В.К.

ФГБУ МРНЦ Минздрава России, Обнинск, Россия

Проведён анализ заболеваемости раком щитовидной железы среди ликвидаторов (мужчин), жителей России, за период наблюдения 1992-2010 гг. Используются данные наблюдений, накопленных в Национальном радиационно-эпидемиологическом регистре (НРЭР). Численность когорты наблюдения составляет 27749 человек – это ликвидаторы из 6 регионов европейской части России (Центрально-Чернозёмного, Волго-Вятского, Поволжского, Северо-Западного, Северо-Кавказского и Уральского), работавшие в 30-километровой зоне облучения в 1986 г. и имеющие документированные дозы внешнего облучения. Общее число случаев зарегистрированных заболеваний раком щитовидной железы (РЩЖ) за период наблюдения равно 49. Когорта была разделена на две подкогорты: 1 – «exposed», ликвидаторы, работавшие в зоне облучения с 26 апреля по 31 мая 1986 г. (численность 5650, число случаев 11), получившие сочетанное воздействие внешнего облучения (документированная доза) и радиоизотопа ^{131}I ; 2 – «unexposed», ликвидаторы, работавшие в июне-декабре 1986 г. (численность 22099, число случаев 38), подвергшиеся только внешнему облучению (документированная доза). При расчёте риска РЩЖ вследствие облучения ^{131}I использованы данные таблиц сопряжённости «exposed» vs. (versus) «unexposed» с оценкой точных доверительных пределов. Для оценки риска РЩЖ вследствие внешнего облучения использован максимум правдоподобия в рамках линейной модели относительного риска. Отношение шансов для «exposed» vs. «unexposed» равно 1,40 (0,71, 2,70 90% ДИ). Для подкогорты «unexposed» избыточный относительный риск (ERR) на 1 Гр равен 1,87 (-2,16, 26,38 90% ДИ). В соответствии с приведёнными оценками риска экспертное значение средней дозы облучения щитовидной железы изотопом ^{131}I равно 0,22 (0,05, 0,70 90% ДИ) Гр. Вклад облучения ^{131}I в радиогенный рак щитовидной железы среди ликвидаторов, работавших в мае 1986 г., составляет 53%.

Ключевые слова: рак щитовидной железы, радиационный риск, ликвидаторы, авария на ЧАЭС, документированная доза, сочетанное облучение, ^{131}I , отношение шансов, избыточный относительный риск, линейная модель риска.

Введение

Тема радиационных рисков рака щитовидной железы (РЩЖ) среди взрослых по-прежнему остаётся актуальной в контексте оценки последствий облучения населения после радиационных аварий. Интерес к этой теме в настоящее время возрос после аварии на АЭС «Фукусима» (Япония). Актуальность этой темы обусловлена, прежде всего, большими значениями радиационного риска РЩЖ, наравне с лейкозами, и большой долей радиоактивного йода среди продуктов деления ядер урана, который может избирательно накапливаться в щитовидной железе.

Результаты наблюдений за когортой ликвидаторов, имеющиеся в Национальном радиационно-эпидемиологическом регистре (НРЭР, Россия, Обнинск), представляют информацию, достаточную для анализа радиационных рисков РЩЖ, в том числе и анализа составляющей риска, обусловленную облучением радиоактивным йодом.

Эта группа населения в процессе работы в 30-километровой зоне облучения подверглась, в зависимости от времени приезда в зону, как сочетанному облучению радиоизотопами

Горский А.И.* – вед. научн. сотр., к.т.н.; Максютлов М.А. – зав. лаб., к.т.н.; Туманов К.А. – ст. научн. сотр., к.б.н.; Кашцев В.В. – ст. научн. сотр., к.б.н.; Чекин С.Ю. – ст. научн. сотр.; Иванов В.К. – Председатель РНКРЗ, зам. директора по научн. работе, чл.-кор. РАН. ФГБУ МРНЦ Минздрава России.

*Контакты: 249036, Калужская обл., Обнинск, ул. Королева, 4. Тел.: (484) 399-32-45; e-mail: nrer@obninsk.com.

йода и облучению документированной дозой (ликвидаторы, бывшие в зоне облучения до июня 1986 г.), так и облучению только документированной дозой, после мая 1986 г. Время облучения радиоизотопами йода определено в соответствии с кривой радиоактивного распада ^{131}I .

Сложность анализа заболеваемости РЩЖ в когорте ликвидаторов заключается, прежде всего, в практическом отсутствии информации о дозах в щитовидной железе от радиоизотопа ^{131}I , который может вносить существенный вклад в радиационные риски.

Существование зависимости частоты заболевания РЩЖ среди взрослого населения от дозы ионизирующего излучения показано во многих исследованиях. Результаты этих исследований представлены в работах [1-3], где были установлены значимые радиационные риски.

Для взрослого населения, проживающего на загрязнённых после чернобыльской аварии территориях, значимые радиационные риски до настоящего времени не выявлены [4].

Проведённые ранее исследования по оценке радиационных рисков заболеваемости РЩЖ среди ликвидаторов – жителей России не установили статистически значимой зависимости заболеваемости от документированной дозы облучения [5, 6]. Особый интерес по данной теме исследований представляет работа Kesminiene A. et al. [7]. В этой работе для анализа заболеваемости РЩЖ среди ликвидаторов России, Беларуси и стран Балтии использован подход «случай-контроль» с реконструкцией индивидуальных доз в щитовидной железе (147 случаев и 423 контроля). Значимый радиационный риск РЩЖ получен для сочетанного облучения радиоизотопами йода и документированной дозой, ERR на 1 Гр равен 3,8 (1,0; 10,9 95% ДИ).

В данной работе для оценки радиационного риска РЩЖ среди ликвидаторов-мужчин (жителей России) использована информация, накопленная в НРЭР. Анализ риска РЩЖ проведён с использованием подхода, основанного на сравнении заболеваемости в облучённых (радиоизотопами ^{131}I) и необлучённых йодом группах наблюдения. Контрольная группа – условно «необлучённые», формировалась из ликвидаторов, которые въехали в зону облучения с 1 июня 1986 г., в предположении, что радиоизотоп ^{131}I к этому моменту распался, а «облучённые» соответствовали ликвидаторам, въехавшим в зону наблюдения с 26.04.1986 по 31.05.1986 гг.

Корректный статистический анализ редких заболеваний, к которым относится РЩЖ, как правило, затруднён малым числом событий (заболеваний) и многие статистические подходы, основанные на предположениях нормальности распределений, на определённой форме моделей риска, могут приводить к смещённым оценкам математических ожиданий значений риска и их доверительных пределов.

В данной работе для оценки риска от радиоизотопов йода использован точный статистический подход, не требующий гипотез о законе распределения и форме дозовой зависимости риска от дозы облучения.

Подход «exposed» vs. «unexposed» ещё интересен и тем, что в анализе можно использовать информацию обо всех ликвидаторах и случаях заболеваний, независимо от информации о документированной дозе, что повышает статистическую мощность исследования. Документированные дозы внешнего облучения имеют около 70% ликвидаторов, зарегистрированных в НРЭР.

Материалы и методы

Информация о когорте ликвидаторов, использованная в анализе радиационных рисков

При анализе радиогенного риска РЦЖ использована информация, накопленная в НРЭР с 1992 по 2010 гг., о ликвидаторах мужского пола, жителях 6 регионов европейской части России (Центрально-Чернозёмного, Волго-Вятского, Поволжского, Северо-Западного, Северо-Кавказского и Уральского). Выбор этой когорты сделан для сравнимости результатов исследований радиационного риска РЦЖ среди ликвидаторов, опубликованных ранее в работах [5, 6].

Для формирования когорты наблюдения использована следующая информация: даты въезда и выезда из зоны облучения, год рождения, дата последнего медицинского наблюдения, жизненный статус (жив, здоров, заболел, умер), дата регистрации заболевания РЦЖ, информация о документированной дозе внешнего облучения.

Когорта наблюдения сформирована из полной когорты по следующим критериям:

- 1) Интервал достигнутого возраста и возраста при облучении: 18-70 лет.
- 2) Пол: мужчины.
- 3) Год прибытия в зону облучения: с 26.04.1986 по 31.12.1986. Выбор года прибытия обусловлен тем, что средние документированные дозы, в зависимости от месяца работ в 1986 г., близки, что позволяет выделить эффект от облучения ^{131}I . Кроме того, данный критерий уменьшает возможную гетерогенность наблюдений, связанных с годом въезда в зону облучения, например, с разными административными ограничениями предельных доз облучения и характером проводимых работ.

- 4) Период наблюдения: 1992-2010 гг. Начало и конец периода наблюдения выбраны на основании опыта функционирования НРЭР. Начало выбрано по критерию устойчивости во времени значения стандартизованного отношения заболеваемости для солидных раков. Конец наблюдения обусловлен временным лагом 3 года в полноте получения информации о жизненном статусе ликвидаторов и случаях заболеваний.

- 5) В когорту наблюдения включены ликвидаторы, имеющие документированную дозу внешнего облучения от 5 до 500 мГр. Нижний предел дозы был выбран для исключения из группы наблюдения людей с коротким периодом пребывания в зоне облучения, к которым может быть отнесён административный контингент, с другим социальным статусом и уровнем медицинского обслуживания.

Очевидно, что ограничение по дозам и времени въезда в зону облучения уменьшают статистическую мощность исследования, но с другой стороны уменьшают также и гетерогенность данных.

В соответствии с вышеперечисленными критериями численность когорты составила 27749 человек, число случаев заболеваний РЦЖ – 49 (код МКБ-10: С73).

Из когорты численностью 27749 человек формировались две когорты сравнения, «облучённая» и условно «необлучённая». В «облучённую» когорту включены ликвидаторы, работавшие в 30-километровой зоне с 26 апреля по 31 мая 1986 г. Эта группа ликвидаторов получила сочетанное облучение как изотопами ^{131}I , так и от внешнего источника. Согласно кривой радиоактивного распада ^{131}I к началу июня 1986 г. остаток радиоизотопа ^{131}I как продукта деления ядер урана, составлял около 5% от начального количества. Основные характеристики сформированных групп сравнения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики групп сравнения

Дата работ	Апрель-май	Июнь-декабрь
Численность	5650	22099
Число случаев	11	38
Средняя доза (мГр)	169,6	164,3
Средний возраст в 1986 г. (годы)	34,9	40,4

Как следует из табл. 1, средние документированные дозы в сравниваемых когортах практически одинаковы.

На рис. 1 приведены плотности распределений документированных доз в сформированных когортах. Пик в распределении обусловлен ограничением по предельной дозе 250 мЗв. Плотность возрастного распределения для когорт сравнения на момент облучения приведена на рис. 2. Как следует из распределения (рис. 2), возрастное распределение для «облучённой» когорты смещено влево, то есть эта группа моложе.

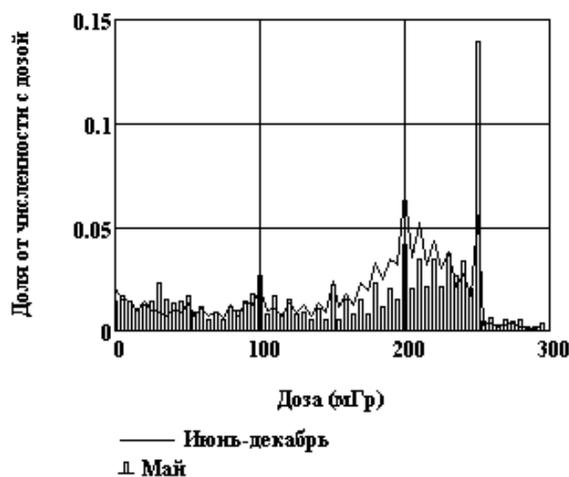


Рис. 1. Плотность распределения документированных доз среди ликвидаторов 1986 г. въезда в зону облучения.



Рис. 2. Плотность возрастного распределения сравниваемых когорт.

Метод статистического анализа

Для оценки отношения шансов (ОШ) в «облучённой» и «необлучённой» группах ликвидаторов использован анализ серии таблиц 2×2 [8].

Пусть имеем k независимых 2×2 таблиц наблюдений, сгруппированных по возрасту при облучении.

Таблица (i) будет иметь вид (табл. 2): $i=1,2,\dots,k$.

Таблица 2

Общий вид таблицы 2×2

	Облучённые	Необлучённые	Всего
Число случаев	a_i	b_i	$n1_i$
Число человеко-лет наблюдения	c_i	d_i	$n0_i$
Всего	$m1_i$	$m0_i$	N_i

$$m1_i=a_i+c_i; m0_i=b_i+d_i; n1_i=a_i+b_i; n0_i=c_i+d_i.$$

Условная вероятность pu появления u событий при фиксированных $n0_i, n1_i, m0_i, m1_i$ имеет нецентральное гипергеометрическое распределение [8]:

$$pu(i, u, \psi) = pr(u_i | n1_i, n0_i, m1_i, m0_i; \psi) = \frac{\binom{m1_i}{u_i} \cdot \binom{n0_i}{m1_i - u_i} \cdot \psi^u}{\sum_{\omega=l_i}^{up_i} \binom{m1_i}{\omega} \cdot \binom{n0_i}{m1_i - \omega} \cdot \psi^\omega}, \quad (1)$$

где ψ – отношение шансов (или относительный риск, когда наблюдаемые события редки), которое считаем одинаковым для всех таблиц, а величина $\binom{n}{u}$ представляет биномиальный коэффициент, число комбинаций из n по u .

Пределы суммирования в знаменателе (1), возможные значения u в каждой таблице зависят от значений $n0_i, n1_i, m1_i$ и определяются неравенством:

$$l_i = \max(0, m1_i - n0_i) \leq u_i \leq up_i = \min(m1_i, n1_i). \quad (2)$$

Для серии k таблиц вероятность появления величины $u = \sum_{i=1}^k u_i$:

$$p(u, \psi) = \prod_{i=1}^k pu(i, u, \psi). \quad (3)$$

Обозначим $l = \sum_{i=1}^k l_i, up = \sum_{i=1}^k up_i, s = \sum_{i=1}^k a_i$.

Величину ψ можно определить из максимизации логарифма функции правдоподобия (3):

$$\psi = \text{Max}(\sum_i^k pu(i, s, \psi)). \quad (4)$$

Либо из равенства ожидаемого и наблюдаемого числа случаев:

$$\sum_{u=1}^{up} p(u, \psi) \cdot u - s = 0. \tag{5}$$

Точные доверительные пределы (ДП) определяются из решения уравнений [8].

Верхний доверительный предел:

$$\sum_{u=1}^s p(u, \psi) - \alpha/2 = 0. \tag{6}$$

Нижний доверительный предел:

$$\sum_{u=s}^{up} p(u, \psi) - \alpha/2 = 0. \tag{7}$$

Для доверительного интервала (ДИ) $100 \times (1 - \alpha)\%$ $\alpha=0,1$ (90% ДИ).

Результаты оценки радиационного риска

Данные в сравниваемых группах «exposed» vs. «unexposed» были сгруппированы по возрасту при облучении в диапазоне от 18 до 70 лет.

Для оценки полноты данных по регистрации заболеваний солидными раками (коды МКБ-10: C00-C80) в сравниваемых когортах проведены расчеты ОШ для всех солидных раков ОШ=0,98 (0,76, 1,30 90% ДИ), число случаев: 219 – «облучённые» и 1652 – «необлучённые».

Значения ОШ для РЩЖ с 90% ДИ приведены в табл. 3 в зависимости от даты начала работ в зоне облучения.

Таблица 3

Значения отношения шансов заболеваний РЩЖ в зависимости от даты работ в зоне облучения

Месяц	Апрель-май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь-декабрь
Число случаев	11	3	9	7	6	7	6
Численность	5650	2858	3251	3686	3744	3936	4624
Средняя документированная доза (мГр)	169,6	148,5	167,4	174,0	172,5	176,6	164,6
ОШ (90% ДИ)	1	2,79 0,83; 12,62	0,94 0,37; 2,39	1,62 0,55; 4,51	1,63 0,56; 4,85	1,24 0,46; 3,44	1,98 0,72; 5,66
ОШ (90% ДИ)		1,46 0,64; 3,46		1,51 0,63; 3,60		1,39 0,60; 3,25	
ОШ (90% ДИ)*	1			1,40 0,71; 2,70			

* среди ликвидаторов с документированной дозой (численность когорт и число случаев приведены в табл. 1).

Значения ОШ статистически не значимы в рамках выбранных доверительных пределов, что можно объяснить сравнительно малой численностью исследуемых когорт и редкостью данного заболевания (особенно среди мужчин). Тем не менее, можно ожидать, что при увеличении численности величины ОШ могут быть статистически значимыми. Иллюстрацией к этому является значение ОШ для всех ликвидаторов, работавших в 1986 г., зарегистрированных в НРЭР (ОШ=1,48 (1,04; 2,14 90% ДИ)), при числе случаев – 143 и численности когорты – 79435 человек.

Имея величину риска 1,40 (табл. 3) для рассматриваемых групп ликвидаторов можно приближённо вычислить среднюю дозу в ЩЖ, обусловленную изотопами йода. Для этого определим риск заболеваемости РЩЖ среди ликвидаторов в зависимости от документированной дозы (компонента риска без учёта влияния облучения йодом). Рассмотрим когорту «unexposed» (дата въезда с июня по декабрь 1986 г. включительно, табл. 1) и рассчитаем зависимость риска от документированной дозы. Для оценки относительного риска используем регрессионный анализ, описанный, например, в работе [9], в предположении линейной зависимости относительного риска (RR) от дозы (d): $RR=1-\beta \times d$, где β – избыточный относительный риск на единицу дозы (ERR на 1 Гр).

Согласно расчетам, ERR на 1 Гр равен 1,87 (-2,16; 26,38 90% ДИ). Формально, риск от облучения документированной дозой статистически не значим.

Следует отметить, что если оценить ERR на 1 Гр для этой когорты с включением ликвидаторов, работавших в мае, то риск заметно уменьшится – ERR=0,46 (-2,31; 11,60 90% ДИ). Такой эффект ожидаем, так как при наличии дозовой зависимости заболевания от обоих источников облучения (йод+внешняя доза) ликвидаторам и случаям заболеваний будут присваиваться только (внешние) дозы (интенсивности заболеваний сместятся влево по шкале доз).

Полученные значения риска для внешнего облучения и облучения ^{131}I позволяют приближённо оценить среднюю дозу в щитовидной железе от облучения изотопом ^{131}I . Примем, что риски облучения на единицу дозы для обоих источников одинаковы [10]. Тогда избыточный относительный риск на единицу дозы, при облучении документированной дозой и йодном облучении, будем считать одинаковым и равным 1,87 на 1 Гр. В рамках данных предположений, средняя доза от радиоизотопов йода составит $0,40/1,87=0,22$ Гр, что близко к величине, указанной в работе [10]. С учётом того, что средняя доза от внешнего источника равна 0,17 Гр, получим, что вклад в риск облучения ЩЖ радиоизотопами йода составляет $(0,40/(0,40+0,17 \times 1,86) \times 100)=56\%$, то есть вклад в заболеваемость РЩЖ от обоих источников облучения примерно одинаков.

Наличие данных о дате въезда и выезда из зоны облучения даёт возможность приближённо оценить индивидуальные дозы от йода. Вполне правдоподобно предположить, что доза облучения от йода, полученная в основном за счёт ингаляции, пропорциональна времени пребывания в период времени, когда ^{131}I не распался, а содержание радиоактивного йода в воздухе соответствует кривой радиоактивного распада йода. Определим суррогатную дозу sd от облучения йодом, для ликвидатора I , с использованием закона радиоактивного распада:

$$sd_i = \frac{nm}{\lambda} \cdot (\exp(-\lambda \cdot t_{0_i}) - \exp(-\lambda \cdot t_{1_i})), \text{ где } nm - \text{ множитель, нормирующий среднюю суррогатную дозу на значение } 0,22 \text{ Гр, } nm=0,071, \lambda=0,0862 - \text{ постоянная распада } ^{131}\text{I},$$

t_{0_i}, t_{1_i} – время начала и конца облучения ^{131}I . Плотность распределения суррогатных доз для ликвидаторов приведена на рис. 3.

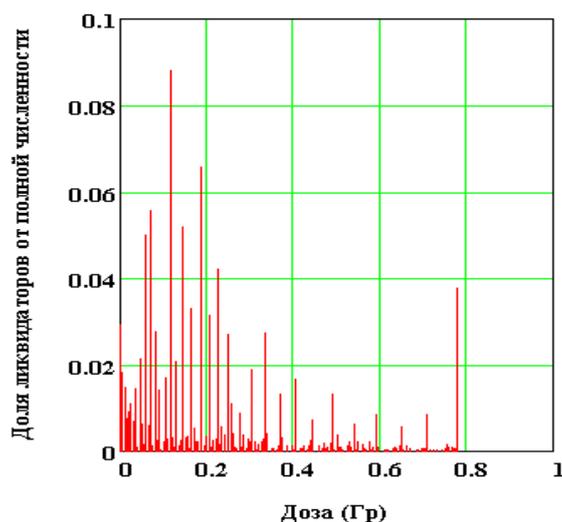


Рис. 3. Плотность распределения суррогатных доз облучения от ^{131}I .

Неравномерность распределения по шкале доз обусловлена неравномерностью численности ликвидаторов, прибывших в зону облучения. Используя плотность распределения, получим доверительные пределы для средней дозы 0,22 (0,02; 0,70 90% ДИ) Гр.

Имея реконструированные йодные дозы, рассчитаем риск от полной дозы в ЩЖ, включив ликвидаторов, работавших в мае (для них доза в ЩЖ равна сумме суррогатных и документальных доз). Значение риска равно 1,77 (-0,60; 13,40 90% ДИ), близкое к значению 1,87, что может служить определённым подтверждением объективности способа реконструкции йодных доз.

Обсуждение результатов

Проведена оценка радиационных рисков заболеваемости РЩЖ среди ликвидаторов-мужчин (жителей России) с использованием данных, накопленных в НРЭР. При формировании групп наблюдения авторы старались минимизировать факторы, влияющие на гетерогенность данных и оценку риска. Для этого группа наблюдения была ограничена только ликвидаторами, работавшими в зоне облучения в 1986 г. (в последующие годы менялись административные ограничения на предельные дозы, возможно, изменился и характер работ в зоне облучения, и способы регистрации доз облучения). Кроме того, были введены ограничения на диапазон документированных доз внешнего облучения от 5 до 500 мЗв. Нижний диапазон введён для фильтрации работников административного ресурса, бывших в зоне облучения короткое время. Социальный статус работников может быть причиной смещения оценок, например, из-за разного уровня медицинского обслуживания.

Очевидно, что такие ограничения привели к снижению статистической мощности анализа, и оценки рисков оказались статистически не значимыми при значениях избыточного относительного риска больше единицы.

Для анализа риска облучения радиоизотопом ^{131}I (дозы облучения ликвидаторов практически неизвестны) были выделены ликвидаторы «exposed», работавшие в зоне облучения в мае 1986 г., заболеваемость среди которых сравнивалась с заболеваемостью группы «unexposed», работавшей с июня по декабрь 1986 г. Сравнение сделано с использованием подхода «exposed» vs. «unexposed», с группировкой данных по возрасту при облучении. Такой подход в

данном случае оправдан, так как документированные дозы внешнего облучения в сравниваемых группах практически одинаковы (дозы равны соответственно 169,6 и 164,3 мГр). Значение избыточного относительного риска равно 1,40 (0,71; 2,70 90% ДИ).

Риск от облучения ЩЖ документированной дозой внешнего облучения (группа «unexposed») получен из регрессионного анализа, значение избыточного относительного риска на 1 Гр равно 1,87 (-2,16; 26,38 90% ДИ). Полученное значение находится в доверительных интервалах риска, опубликованных в материалах [1-3, 7]. Следует отметить, что доверительные интервалы широки вследствие малой интенсивности данного заболевания.

Проведённый анализ показал, что при отсутствии данных о дозах облучения ^{131}I , при оценке зависимости риска от дозы внешнего облучения из группы наблюдения следует исключать членов группы, которые могли получить йодные дозы. Оценка риска в ином случае будет иметь смещение (уменьшена) в рассматриваемой когорте («exposed» + «unexposed») от значения 1,87 до значения 0,46.

Раздельная оценка рисков от документированной дозы и от дозы облучения йодом даёт возможность приближённо оценить среднюю дозу от ^{131}I , в предположении, что риски на единицу дозы одинаковы для обоих источников. Значение средней дозы от йода равно 0,22 Гр.

В рамках гипотезы, что доза от йода пропорциональна интервалу времени пребывания в зоне облучения, когда йод не распался, с учётом динамики распада йода, получено распределение индивидуальных суррогатных доз от йода. Данная гипотеза вполне правдоподобна, так как йодная доза получена в основном ингаляционным путём. Индивидуальные дозы нормированы так, чтобы средняя доза равнялась 0,22 Гр. Правдоподобность такой гипотезы подтверждается близостью оценок риска на единицу дозы в ЩЖ для когорты «exposed»+ «unexposed» с учётом суррогатных доз и в когорте «unexposed», которые соответственно равны 1,77 и 1,87 на 1 Гр.

С учётом распределения суррогатных доз, средняя доза в щитовидной железе от ^{131}I равна 0,22 (0,05; 0,70 90% ДИ) Гр.

Авторы сознают, что оценка средней йодной дозы приближённа, так как она зависит при данном подходе от точности определения риска на единицу документированной дозы. Кроме того, оценки индивидуальных доз также приближённы, так как не учитывают динамику выхода продуктов деления из разрушенной активной зоны. Тем не менее, приведённые оценки доз от йода представляются полезными при анализе медицинских последствий облучения ЩЖ при радиационных авариях.

Основные выводы

1) Избыточный относительный риск индукции РЩЖ на 1 Гр среди ликвидаторов-мужчин (жителей России), работавших в 30-километровой зоне облучения в июне-декабре 1986 г., при облучении от внешнего источника равен 1,87 (-2,16; 26,38 90% ДИ).

2) Избыточный относительный риск индукции радиогенного РЩЖ, среди ликвидаторов, работавших в мае 1986 г., от облучения щитовидной железы ^{131}I по сравнению с ликвидаторами, работавшими в июне-декабре 1986 г., равен 1,40 (0,71; 2,70 90% ДИ).

3) Вклад облучения ^{131}I в индукцию радиогенных РЩЖ среди ликвидаторов, работавших в мае 1986 г., составляет 53%.

4) Приближённая средняя доза в щитовидной железе от облучения ^{131}I равна 0,22 (0,02; 0,70 90% ДИ) Гр.

Литература

1. **Preston D.L., Ron E., Tokuoka S., Funamoto S., Nishi N., Soda M., Mabuchi K., Kodama K.** Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998 //Radiat. Res. 2007. V. 168, N 1. P. 1-64.
2. **Hancock S.L., Cox R.S., McDougall I.R.** Thyroid diseases after treatment of Hodgkin's disease //N. Engl. J. Med. 1991. V. 325, N 9. P. 599-605.
3. **Sont W.N., Zielinski J.M., Ashmore J.P., Jiang H., Krewski D., Fair M.E., Band P.R., Létourneau E.G.** First analysis of cancer incidence and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada //Am. J. Epidemiol. 2001. V. 153, N 4. P. 309-318.
4. **Ivanov V.K., Gorski A.I., Maksioutov M.A., Vlasov O.K., Godko A.M., Tsyb A.F., Tirmarche M., Valenty M., Verger P.** Thyroid cancer incidence among adolescents and adults in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl accident //Health Phys. 2003. V. 84, N 1. P. 46-60.
5. **Ivanov V.K., Tsyb A.F., Petrov A.V., Maksioutov M.A., Shilyaeva T.P., Kochergina E.V.** Thyroid cancer incidence among liquidators of the Chernobyl accident: absence of dependence of radiation risks on external radiation dose //Radiat. Environ. Biophys. 2002. V. 41, N 3. P. 195-198.
6. **Ivanov V.K., Chekin S.Yu., Kashcheev V.V., Maksioutov M.A., Tumanov K.A.** Risk of thyroid cancer among Chernobyl emergency workers of Russia //Radiat. Environ. Biophys. 2008. V. 47, N 4. P. 463-467.
7. **Kesminiene A., Evrard A.S., Ivanov V.K., Malakhova I.V., Kurtinaitise J., Stengrevics A., Tekkel M., Chekin S.Yu., Drozdovitch V., Gavrilin Y., Golovanov I., Kryuchkov V.P., Maceika E., Mirkhaidarov A.K., Polyakov S., Tenet V., Tukov A.R., Byrnes G., Cardis E.** Risk of thyroid cancer among Chernobyl liquidators //Radiat. Res. 2012. V. 178. P. 425-436; DOI: 10.1667/RR2975.1.
8. **Breslow N.E., Day N.E.** Statistical methods in cancer research. IARC Scientific Publication No 82. Lyon: IARC, 1987.
9. **Ivanov V.K., Gorsky A.I., Kashcheev V.V., Maksioutov M.A., Tumanov K.A.** Latent period in induction of radiogenic solid tumors in the cohort of emergency workers //Radiat. Environ. Biophys. 2009. V. 48, N 3. P. 247-252.
10. UNSCEAR 2006 report. Effect of ionizing radiation. United Nation scientific committee on the effects of atomic radiation. New York: United Nation, 2008. 105 p.

Radiation risks of thyroid cancer among the Chernobyl emergency workers

Gorsky A.I., Maksoutov M.A., Tumanov K.A., Kashcheev V.V., Chekin S.Yu., Ivanov V.K.

Medical Radiological Research Center, Ministry of Health of the Russian Federation,
Obninsk, Russia

The paper presents results of analysis of thyroid cancer incidence among males participated in clean-up work within the 30-km Chernobyl exclusion zone from the 26th April through the 31st December 1986. The considered follow up period of the cohort made up of 27749 emergency workers (EWs), residents of six regions of the European part of Russia, is 1992-2010. The analysis was based on data of the National Radiation Epidemiology Registry (NRER). All cohort members have documented radiation dose from external exposure. The cohort consisted of two groups of the accident workers, the group 1 consists of 5650 so called "exposed" EWs worked from April 26 to May 31 and exposed both to external radiation and ¹³¹I; the group 2 of so called "unexposed" EWs consists of 22099 males worked within the zone from June through December 1986, and exposed to external radiation only. For the whole period of follow-up 49 thyroid cancer cases were registered. For estimating risk of thyroid cancer associated with exposure to ¹³¹I and exact confidential limits the data of "exposed" vs. "unexposed" contingency tables were used. For calculating risk of thyroid cancer associated with external exposure only (the group 2) the maximum likelihood estimation for relative risk linear model was used. The odds ratio is 1.4 (0.71, 2.70 90% CI). Excess relative risk per 1 Gy in the group 2 ("unexposed") is 1.87 (-2.16, 26.38 90% CI). The calculated mean radiation dose to the thyroid from ¹³¹I is 0.22 (0.05, 0.70 90% CI) Gy. According to obtained estimates, contribution of ¹³¹I to radiation associated thyroid cancer among EWs worked in the 30-km Chernobyl exclusion zone in May 1986 is 53%.

Key words: thyroid cancer, radiation risk, emergency workers, Chernobyl accident, documented dose, external radiation exposure, ¹³¹I, odds ratio, excess relative risk, linear model of risk.

References

1. **Preston D.L., Ron E., Tokuoka S., Funamoto S., Nishi N., Soda M., Mabuchi K., Kodama K.** Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat. Res.*, 2007, vol. 168, no. 1, pp. 1-64.
2. **Hancock S.L., Cox R.S., McDougall I.R.** Thyroid diseases after treatment of Hodgkin's disease. *N. Engl. J. Med.*, 1991, vol. 325, no. 9, pp. 599-605.
3. **Sont W.N., Zielinski J.M., Ashmore J.P., Jiang H., Krewski D., Fair M.E., Band P.R., Létourneau E.G.** First analysis of cancer incidence and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada. *Am. J. Epidemiol.*, 2001, vol. 153, no. 4, pp. 309-318.
4. **Ivanov V.K., Gorski A.I., Maksoutov M.A., Vlasov O.K., Godko A.M., Tsyb A.F., Tirmarche M., Valenty M., Verger P.** Thyroid cancer incidence among adolescents and adults in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl accident. *Health Phys.*, 2003, vol. 84, no. 1, pp. 46-60.
5. **Ivanov V.K., Tsyb A.F., Petrov A.V., Maksoutov M.A., Shilyaeva T.P., Kochergina E.V.** Thyroid cancer incidence among liquidators of the Chernobyl accident: absence of dependence of radiation risks on external radiation dose. *Radiat. Environ. Biophys.*, 2002, vol. 41, no. 3, pp. 195-198.
6. **Ivanov V.K., Chekin S.Yu., Kashcheev V.V., Maksoutov M.A., Tumanov K.A.** Risk of thyroid cancer among Chernobyl emergency workers of Russia. *Radiat. Environ. Biophys.*, 2008, vol. 47, no. 4, pp. 463-467.
7. **Kesminiene A., Evrard A.S., Ivanov V.K., Malakhova I.V., Kurtinaitise J., Stengrevics A., Tekkel M., Chekin S.Yu., Drozdovitch V., Gavrillin Y., Golovanov I., Kryuchkov V.P., Maceika E., Mirkhaidarov**

Gorsky A.I.* – Lead. Researcher, C. Sc., Tech.; **Maksoutov M.A.** – Head of Lab., C. Sc., Tech.; **Tumanov K.A.** – Senior Researcher, C. Sc., Biol.; **Kashcheev V.V.** – Senior Researcher, C. Sc., Biol.; **Chekin S.Yu.** – Senior Researcher; **Ivanov V.K.** – Chairman of RSCRP, Deputy Director, Corresponding Member of RAS. MRRC.

*Contacts: 4 Korolyov str., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249036. Tel.: (484) 399-32-45; e-mail: nrer@obninsk.com.

- A.K., Polyakov S., Tenet V., Tukov A.R., Byrnes G., Cardis E.** Risk of thyroid cancer among Chernobyl liquidators. *Radiat. Res.*, 2012, vol. 178, pp. 425-436; DOI: 10.1667/RR2975.1.
8. **Breslow N.E., Day N.E.** Statistical methods in cancer research. IARC Scientific Publication No 82. Lyon, IARC, 1987.
 9. **Ivanov V.K., Gorsky A.I., Kashcheev V.V., Maksioutov M.A., Tumanov K.A.** Latent period in induction of radiogenic solid tumors in the cohort of emergency workers. *Radiat. Environ. Biophys.*, 2009, vol. 48, no. 3, pp. 247-252.
 10. UNSCEAR 2006 report. Effect of ionizing radiation. United Nation scientific committee on the effects of atomic radiation. New York, United Nation, 2008. 105 p.