

Раздел VIII. РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

ОЦЕНКА РИСКА РАЗВИТИЯ ТКАНЕВЫХ РЕАКЦИЙ У НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ

Аветисов А.Р., Шевчук Л.М., Гриб Т.Г.

Стаховская О.А., Сосновский А.В., Кейс Г.Д.

*Белорусский государственный медицинский университет,
Беларусь, Минск*

В данной статье рассмотрена оценка риска развития тканевых реакций в ответ на облучение при проживании на загрязненных радионуклидами территориях на примере населения Лунинецкого района Брестской области. Обнаружено зависимое от дозы увеличение риска развития таких заболеваний, как ишемическая болезнь сердца, гипертоническая болезнь, инфаркты и инсульты мозга, транзиторные ишемические атаки. При этом риски развития таких тканевых реакций, как катаракта, цирроз печени и некоторых других не были достоверно зависимыми от дозы облучения. Выявленные факты позволяют определить меры профилактики по снижению рисков развития заболеваний, которые имеют достоверную зависимость от дозы облучения.

Ключевые слова: радионуклиды, доза облучения, риск развития тканевых реакций.

ASSESSMENT OF THE RISK OF DEVELOPMENT OF NON-STOCHASTIC EFFECTS WHEN LIVING IN TERRITORIES CONTAMINATED WITH RADIONUCLIDES

Avetisov A.R., Stojarov A.N., Sevchuk L.M., Grib T.G.,

Stahouskaya V.A., Sasnouski A.V., Kandratovich K.A.

*Belarusian state medical university,
Belarus, Minsk*

This article examines the risk assessment of tissue reactions in response to radiation when living in areas contaminated with radionuclides using the example of the population of the Luninets district of the Brest region. A dose-dependent increase in the risk of developing diseases such as coronary heart disease, hypertension, cerebral infarctions and strokes, transient ischemic attacks was found. At the same time, the risks of developing tissue reactions such as cataracts, liver cirrhosis and some others were not reliably dependent on the radiation dose.

The revealed facts allow us to determine preventive measures to reduce the risks of developing diseases that have a reliable dependence on the radiation dose.

Key words: *radionuclides, radiation dose, risk of developing tissue reactions.*

Международные данные о рисках облучения относятся к публикациям МКРЗ 60 и 103 [1, 2]. Первая обзорная публикация о тканевых реакциях появились еще в 2009 году [3], а систематизированные данные появились в публикации 118 МКРЗ в 2012 году [4].

Сердечно-сосудистая система в целом устойчива к облучению [5]. Но статистически значимые риски развития сердечно-сосудистых и цереброваскулярных заболеваний, связанных с малыми дозами облучения показали результаты в широком диапазоне от 0,01 до 1,3 Гр [6], что требует изучение влияния других факторов риска [7].

Хрусталик глаза признан одной из наиболее радиочувствительных тканей в организме человека в целом. Сегодня порог развития катаракты оценен в 0,5 Гр, а катарактогенез описывается линейной беспороговой моделью [8].

Кроветворная система может спонтанно регенерировать при дозах острого однократного облучения до 8 Гр [9]. При хроническом радиационном воздействии кроветворная система характеризуется гибкостью и способностью к адаптации [10]. Новых сведений об отдаленных эффектах пока не обнаружено.

Тяжесть поражения желудочно-кишечного тракта при остром облучении не всегда зависит только от гибели стволовых клеток или клеток-предшественников [4]. Вместе с тем, информация по хроническому низкодозовому облучению кишечника в доступной литературе отсутствует.

Респираторная система в целом относительно радиорезистентна. Пролиферация альвеоцитов второго типа возможна даже при уровне облучения около 0,5 Гр/сутки [11]. Обследование пострадавших от бомбардировки Хиросимы и Нагасаки показало, что однократное облучение в дозах от 0,5 до 2,5 Зв увеличивает пожизненный риск смертности от заболеваний респираторной системы на 18% [12]. При этом отмечены риски облучения для болезней сердца, инсультов и некоторых других заболеваний.

Исследования показали, что дозы острого облучения гонад в диапазоне 0,1-0,3 Гр вызывают олигоспермию, а полное восстановление сперматогенеза занимает до 3 лет [13]. Зрелые яйцеклетки также весьма чувствительны к облучению: ЛД₅₀ составляет не более 2 Гр [14].

Обзорные публикации оценки риска последствий облучения после аварии на Фукусимской АЭС показали, что моделирование методом Монте-Карло способно дать приемлемую точность вычислений [15]. Существенно более низкие в сравнении с аварией на ЧАЭС дозы облучения населения

позволяют спрогнозировать лишь риски онкологических заболеваний без учета соматической патологии. Пока найдены лишь отличия в заболеваемости раком щитовидной железы у детей вследствие аварии на Фукусимской АЭС [16]. На территории Российской Федерации оценка доз облучения вследствие аварии на ЧАЭС обсуждается регулярно, но проблема оценки рисков развития неонкологической заболеваемости в этой связи либо не обсуждается, либо носит описательный характер [17].

Учитывая то, что сегодня не существует международных и национальных рекомендаций по использованию моделей оценки рисков развития тканевых реакций, мы предлагаем использование трех традиционных моделей:

1. Модель Кокса (модель пропорциональных рисков):

$$\Phi(z, \beta) = e^{\beta_1 \cdot z_1 + \dots + \beta_k \cdot z_k}, \quad (1)$$

где $\Phi(z, \beta)$ – функция риска,

$\beta_1 - \beta_k$ – коэффициенты объясняющих переменных (параметры модели)

$z_1 - z_k$ – вектор объясняющих переменных (пол, возраст и др.).

2. Линейная модель оценки избыточного относительного риска (ERR):

$$\Phi(z, \beta) = 1 + \beta \cdot f(dose) \quad (2)$$

где $\Phi(z, \beta)$ – функция риска,

β – линейный коэффициент функции риска.

3. Линейная модель с логлинейным компонентом, используемая в специализированных программах оценки риска облучения:

$$\Phi(z, \beta) = e^{\beta_1 \cdot z_1 + \dots + \beta_k \cdot z_k} \cdot (1 + \beta_0 \cdot f(dose)) \quad (3)$$

где $\Phi(z, \beta)$ – функция риска,

$\beta_1 - \beta_k$ – коэффициенты объясняющих переменных

$z_1 - z_k$ – вектор объясняющих переменных (ковариат)

Линейная модель, а также линейная модель с логлинейной компонентой в модели оценки риска используется в специализированных программах. Наиболее простым способом оценки риска облучения является использование программных пакетов «rERR» и «LinERR» в среде статистического программирования R. В радиационной эпидемиологии модели ERR используются для анализа зависимости «доза-эффект» для данных о частоте событий. Одной из моделей, представляющих особый интерес, особенно в радиационной эпидемиологии, является линейная модель ERR. Нами были проанализированы данные вычислений ERR для некоторых нозологических форм, относящихся к понятию «тканевые реакции». Вычисления проводились в бесплатной среде статистического программирования R с использованием программного пакета rERR.

Таблица 1. Результаты вычислений риска развития некоторых тканевых реакций организма

Показатель, «ковариата», коды МКБ-10	linErr		Lin+LogLinERR			LogLin (Cox)*	
	β	p (β)	β	p (β)	α ; p	β	p (β)
Гипертоническая болезнь, «плотность загрязнения», I10-I13	0.294	3.79e-06	0.229	3.771e-6	10.562; 0.919	-	-
Гипертоническая болезнь, «возраст», I10-I13	0.294	3.79e-06	0.363	3.091e-5	-1.268; 0.0016	-	-
Гипертоническая болезнь, «тип н.пункта» I10-I13	0.294	3.79e-06	0.505	0.00015	0.11; 0.99	-	-
ИБС, «плотность загрязнения», I20-I25	0.336	0.000128	0.99	0.048	0.62; 0.9	-	-
ИБС, «возраст», I20-I25	0.336	0.000128	0.354	0.000165	-8.18; 0.9	-	-
ИБС, «тип н.пункта», I20- I25	0.336	0.000128	0.407	0.001	-0.028; - --	-	-
Болезни сердца, «плотность загрязнения», I10-I13; I20-I25	0.398	5.15e-08	0.586	0.00035	0.321; --	-	-
Болезни сердца, «возраст», I10-I13; I20-I25	0.398	5.15e-08	0.402	1.698e- 07	-1.06; 0.008	-	-
Болезни сердца, «тип н.пункта», I10-I13; I20-I25	0.398	5.15e-08	0.539	4.3e-06	-0.016; 0.99	-	-
Ишемия мозга, «плотность загрязнения», (I63, I64, G45)	0.267	0.0295	0.498	0.202	10.39; 0.96	-	-
Ишемия мозга, «возраст», (I63, I64, G45)	0.279	0.026	0.267	0.026	-1.90; 0.13	-	-
Ишемия мозга, «тип н.пункта», (I63, I64, G45)	0.279	0.026	0.357	0.082	0.25; 0.97	-	-
Циррозы печени, «возраст»,	0.029	>0.05	2.107	>0.05	11.8; 0.96	-0.17	<0.01
Катаракта, «возраст»	-0.01	>0.05	0.112	>0.05	-2.41; 0.0011	-0.08	0.02
Пневмонии, «возраст»	0.12	>0.05	1.17	>0.05	10.12; 0.01	-0.6	<0.01

* - Вычисления не проводились при достоверной модели linERR

Выводы:

1. В представленных результатах обнаружено отсутствие достоверного положительного влияния дозы облучения на риски развития таких тканевых реакций, как катаракта, пневмония, цирроз печени.

2. Наиболее значимые и достоверные результаты влияния дозы облучения на риски развития заболеваний по линейной модели получены для таких событий, как ишемическая болезнь сердца, инфаркт миокарда, гипертоническая болезнь, инсульты, атеросклеротические поражения сосудов мозга, транзиторные ишемические атаки.

3. Полученные результаты указывают на возможность проведения дополнительных профилактических мероприятий по снижению выявленных рисков у населения, проживающего на территориях с более высокими уровнями загрязнения территории основными дозообразующими радионуклидами.

Список литературы

1. The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Ann ICRP. – 1991. – Т. 21, № 1-3. – С. 1–201.
2. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103 // Ann ICRP. – 2007. – Т. 37, № 2–4. – С. 1–332.
3. Аклеев, А.В. Реакции тканей на хроническое воздействие ионизирующего излучения / А.В. Аклеев // Радиационная Биология. Радиоэкология. – 2009. – Т. 49, № 1. – С. 5–20.
4. ICRP, 2012 ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context // Ann ICRP. – 2012. – Vol. 41, № 1-2. – P. 1–322.
5. Concise Review: Stem Cells, Myocardial Regeneration, and Methodological Artifacts / P. Anversa [et al.] // Stem Cells. – 2007. – Vol. 25, № 3. – P. 589–601.
6. Review and meta-analysis of epidemiological associations between low/moderate doses of ionizing radiation and circulatory disease risks, and their possible mechanisms / M.P. Little [et al.] // Radiat Environ Biophys. – 2010. – Vol. 49, № 2. – P. 139–153.
7. Bromet, E.J. Mental health consequences of the Chernobyl disaster / E.J. Bromet // J Radiol Prot. – 2012. – Vol. 32, № 1. – P. 71–75.
8. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies / E.A. Ainsbury [et al.] // Radiat Res. – 2009. – Vol. 172, № 1. – P. 1–9.
9. Baranov A. E. Allogeneic bone marrow transplantation after severe, uniform total-body irradiation: experience from recent (Nyasvizh, Belarus) and previous radiation accidents //Advances in the Biosciences. – 1996. – Т. 94. – С. 281–294.
10. Akleyev, A.V. Chronic Radiation Syndrome / A.V. Akleyev. – Berlin, Heidelberg : Springer, 2014. – 410 p.
11. M. Bentzen, J.Z.S., J. Bernier, S. Quantitative clinical radiobiology of early and late lung reactions / J.Z.S. M. Bentzen J. Bernier, S. // International Journal of Radiation Biology. – 2000. – Vol. 76, № 4. – P. 453–462.
12. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997 / D.L. Preston [et al.] // Radiat Res. – 2003. – Vol. 160, № 4. – P. 381–407.

13. Herrmann, Th. Strahlenreaktionen an den Gonaden / Th. Herrmann // Strahlenther. Onkol. – 1997. – Т. 173, № 10. – С. 493–501.

14. Wallace, W.H.B. The radiosensitivity of the human oocyte / W.H.B. Wallace, A.B. Thomson, T.W. Kelsey // Hum Reprod. – 2003. – Vol. 18, № 1. – P. 117–121.

15. Radiation dose rates now and in the future for residents neighboring restricted areas of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant / K.H. Harada [et al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. – 2014. – Vol. 111, № 10. – P. 914–932.

16. Relationship between environmental radiation and radioactivity and childhood thyroid cancer found in Fukushima health management survey / H. Toki [et al.] // Sci Rep. – 2020. – Vol. 10, № 1. – P. 4074.

17. Trends of development and prediction of the doses from the internal exposure of the public of the Russian Federation and its critical groups in the distant post-Chernobyl NPP accident period / G.Ya. Bruk [и др.] // Radiac. gig. (2008). – 2019. – Т. 12, № 2. – P. 66–74.