

THYROID CANCER AMONG THE BELARUSSIAN AND RUSSIAN POPULATION EXPOSED BY THE CHERNOBYL ACCIDENT

РАК ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ И РОССИИ, ПОСТРАДАВШЕГО ВСЛЕДСТВИЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ

P. Jacob

GSF-National Research Center for Environment and Health, Institute of Radiation Protection
D-85764, Neuherberg, Germany

П. Якоб

Национальный исследовательский центр GSF охраны окружающей среды и здравоохранения
Институт радиационной защиты, D-85764, Нюгерберг, Германия

The Chernobyl accident happened on 26 April 1986 and large releases of radionuclides occurred until 5 May 1986 (Chernobyl — Ten Years on, 1996). In total about 1,760 PBq ($50 \cdot 10^6$ Ci) of ^{131}I were emitted in the atmosphere. Thyroid doses among the population in contaminated areas were mainly due to incorporation of ^{131}I with milk.

A large increase of the thyroid cancer incidence among those who were children at the time of the accident was observed in Belarus and in Ukraine (Kazakov V.S. et al., 1992; Likhtarev I.A. et al., 1995). The increase in Belarus among those who were younger than 18 years at the time of the accident started in 1989 with a linear rise to about 140 cases per year in 1994 and then staying up to 1996 (the last date of published data) on a constant level (Buglova E. et al., 1997). A case-control study indicated a strong relationship between thyroid cancer and estimated radiation dose from the Chernobyl accident (Astakova L.N. et al., 1998). An aggregate study of the thyroid cancer after Chernobyl has shown the large potential of such studies for deriving quantitative information on the cancer risk due to ^{131}I incorporation (Jacob P. et al., 1998).

The atmospheric transport and deposition of the radionuclides released during the accident resulted in two contamination spots, one of them around the nuclear power plant (NPP) and extending 100 km to the north and west. The second spot is due to the more intensive deposition during rain. It is located 200 km north-north-east from the NPP and has an extension of 100 km (Atlas, 1998). In the present report results of a study of the thyroid cancer risk in the Belarussian and Russian area of these two spots (Jacob P. et al., 1998) are summarised.

In the study area 751,000 children (born in the period from 01.01.1971 to 31.05.1986) lived at the time of exposure. In the period 1991–1995 surgery of 243 thyroid cancer cases was performed.

Значительный выброс радионуклидов вследствие Чернобыльской катастрофы 26 апреля 1986 г. продолжался до 5 мая 1986 г. (Chernobyl — Ten Years on, 1996). В целом около 1760 ПБк ($50 \cdot 10^6$ Ки) ^{131}I было выброшено в атмосферу. Облучение щитовидной железы у населения происходило в основном за счет инкорпорирования ^{131}I с молоком.

В Беларуси и Украине отмечено значительное увеличение заболеваемости раком щитовидной железы среди лиц, которые на момент аварии были детьми (Kazakov V.S. et al., 1992; Likhtarev I.A. et al., 1995). Это увеличение в Беларуси началось в 1989 г. среди лиц моложе 18 лет на момент аварии. Частота случаев рака линейно достигла около 140 случаев в год в 1994 г. и не изменялась до 1996 г. (года последней публикации данных) (Buglova E. et al., 1997). При исследовании случай-контроль выявлено тесную взаимосвязь заболеваемости раком щитовидной железы и дозы облучения (Astakova L.N. et al., 1998). Результаты комплексного исследования свидетельствует о целесообразности проведения таких исследований для получения количественной информации о риске развития рака вследствие инкорпорирования ^{131}I (Jacob P. et al., 1998).

В результате перемещения в атмосфере и выпадения радионуклидов, выброшенных при аварии, образовалось два радиоактивных пятна. Одно — вокруг АЭС, протянувшееся на 100 км на север и запад; другое пятно, образовавшееся вследствие более интенсивных выпадений с дождем, — в 200 км на северо-северо-запад от АЭС протяженностью 100 км (Atlas, 1998). В настоящей работе обобщены результаты изучения риска развития рака щитовидной железы у жителей областей Беларуси и России, расположенных в зоне этих пятен (Jacob P. et al., 1998).

В исследуемой области на момент аварии проживало 751 000 детей (родившихся с 01.01.1971 по 31.05.1986). В 1991–1995 гг. оперированы 243 ребенка по поводу рака щитовидной железы.

Age-specific thyroid doses due to ^{131}I from Chernobyl were reconstructed for the cities Bryansk, Gomel and Minsk and for 2,729 villages and towns in the oblasts (regions) Bryansk, Gomel and Mogilev. The dose reconstruction in Belarus based on a radioecological model with parameters derived from measurements of ^{131}I and ^{137}Cs contents in soil, grass and milk, which were performed in May/June 1986 (Drozdovitch V.V. et al., 1997). In the study area the model was validated by measurements of ^{131}I activities in human thyroids. In the Russian part of the study area the dose reconstruction based on an interpolation of measurement results of ^{131}I activities in human thyroids (Zvonova I.A., Balonov M.I., 1993). Average age-specific thyroid doses in the villages and towns in the study area ranged from 0.03 to 4 Gy.

The risk R is defined as the number of thyroid cancer cases per person-years in the observation period and cohort. Excess risk is the risk minus the background risk R_b . Increased thyroid surveillance in the study area will have influenced the background incidence. Two observations on thyroid cancer incidence which were expected to be not directly influenced by the exposure due to the Chernobyl accident were used to assess R_b . In the period 1987–1997 nine thyroid cancer cases were observed in Belarus among those who were born after 1 January 1987. This incidence rate is by a factor of four higher than the thyroid cancer incidence in Belarus in the period 1983–1987 ($R_{83/87}$). In the period 1986–1988 twenty three cancer cases were observed among the birth cohort 1968–1986. This is by a factor of 1.5 more than $R_{83/87}$. R_b in the highly contaminated study area was assumed to be three times as much as $R_{83/87}$. The background risk for males of the study group in the period 1991–1995 is about a factor of three lower than for females.

A linear model was used to define the excess absolute risk per unit thyroid dose EARPD by

$$R = R_b + \text{EARPD} \cdot D,$$

where D is the average age-specific thyroid dose. The excess relative risk per unit thyroid dose ERRPD is defined by

$$R = R_b + R_b \cdot \text{ERRPD} \cdot D.$$

A test for linearity (Poisson regression over the three cities and 2,729 villages and towns) showed no significant non-linear term. Poisson regression does not take into account uncertainties of dose estimates. A Monte Carlo calculation showed that an assumed 95% confidence range of the dose estimates by a factor of four dominates the uncertainty of the results for the excess risks. Therefore, the risk analysis was performed with Monte Carlo calculations.

For the birth cohort 1971–1985 (0.4–15.4 years at time of exposure) the EARPD was 2.1 (95% confi-

Возраст-специфические дозы облучения щитовидной железы ^{131}I были реконструированы для жителей Брянска, Гомеля и Минска, а также для жителей 2729 деревень и городов Брянской, Гомельской и Могилевской областей. Реконструкция доз в Беларуси основывалась на радиоэкологической модели с использованием результатов измерений содержания ^{131}I и ^{137}Cs в почве, траве и молоке, проведенных в мае-июне 1986 г. (Drozdovitch V.V. et al., 1997). В исследуемой области модель валидизировали измерением активности ^{131}I в щитовидной железе человека. В России дозиметрическая реконструкция основывалась на интерполяции результатов измерения активности ^{131}I в щитовидной железе у человека (Zvonova I.A., Balonov M.I., 1993). Средние возраст-специфические дозы облучения щитовидной железы у жителей деревень и городов исследуемой области составляли от 0,03 до 4 Гр.

Риск (R) определяется как число случаев рака щитовидной железы на человеко-лет в период наблюдения в когорте. Дополнительный риск рассчитывали как риск минус фоновый риск (R_b). Повышение качества обследования щитовидной железы в этих областях влияет на фоновую заболеваемость раком щитовидной железы. Для оценки R_b использовали данные двух исследований заболеваемости раком щитовидной железы. Ранее считали, что на этот показатель Чернобыльская авария не оказала непосредственно влияния. В 1987–1997 гг. в Беларуси было зарегистрировано 9 случаев рака щитовидной железы среди лиц, родившихся после 1 января 1987 г., что в 4 раза выше, чем в 1983–1987 гг. ($R_{83/87}$). В 1986–1988 гг. в когорте лиц, родившихся в 1968–1986 гг., зарегистрировано 23 случая рака щитовидной железы, что в 1,5 раза выше $R_{83/87}$. R_b в наиболее загрязненной области исследования был принят в три раза более высоким, чем $R_{83/87}$. Фоновый риск рака щитовидной железы для мужчин исследуемой группы в 1991–1995 гг. был в 3 раза ниже, чем для женщин.

Дополнительный абсолютный риск на единицу тиреоидной дозы (EARPD) определяли по линейной модели:

$$R = R_b + \text{EARPD} \cdot D,$$

где D — средняя возраст-специфическая тиреоидная доза. Дополнительный относительный риск на единицу тиреоидной дозы (ERRPD) определяли как:

$$R = R_b + R_b \cdot \text{ERRPD} \cdot D.$$

По результатам теста на линейность (регрессия Пуассона для жителей 3 городов и 2729 населенных пунктов) не выявлено значимых нелинейных элементов. В регрессии Пуассона не учитывали неопределенности оценок доз. По методу Монте-Карло установлено, что 95% доверительная область оценок доз с коэффициентом 4 преобладает над неопределенностью результатов для оценки дополнительного риска. Таким образом, анализ риска был выполнен по методу Монте-Карло.

Для когорты родившихся в 1971–1985 гг. (0,4–15,4 лет на момент аварии) EARPD составил 2,1 (95% доверитель-

dence interval (CI): 1.0; 4.5) cases per 10^4 PY•Gy. No significant differences were found between different countries nor between cities and rural areas. The result is in a good agreement with the EARPD of 4.4 (95% CI: 1.9; 10) cases per 10^4 PY•Gy, which was observed in a period of 5 to 50 years after external exposures (Ron E. et al., 1995). It can be expected that for a longer observation period the result for the Chernobyl exposure will increase, because the period 1991–1995 was a period of a strong increase of the thyroid cancer incidence.

The cohort was subdivided in five dose groups. A very strong correlation between average dose and excess risk was found. The lowest dose group had an average thyroid dose of 0.05 Gy and with 2.5 (95% CI: 0.5; 6.6) cases per 10^4 PY•Gy an EARPD which was significantly different from zero.

For the birth cohort 1971–1985 the ERRPD was 24 (95% CI: 9; 89) Gy⁻¹. There is no significant difference from the ERRPD of 7.7 (95% CI: 2.1; 28) Gy⁻¹, which was observed in a period of 5 to 50 years after external exposures (Ron E. et al., 1995). A longer observation period will show whether the result for the Chernobyl exposure will decrease when the observed birth cohort becomes older.

Dependencies of the excess risk on gender and on age at exposure were very similar to those observed after external exposures. The EARPD of males was by a factor of two smaller than for females, the ERRPD for males by a factor of 1.7 larger than for females. The EARPD for age of exposure 0.4–9.4 years was a factor of 2 higher than the EARPD for 9.4–18.4 years at time of exposure. For the ERRPD the ratio was a factor of 7.

The presented study gave a lot of results on the thyroid cancer risk after Chernobyl. However, systematic studies are needed to explore whether the results hold to be true even if there is a strong correlation between thyroid surveillance and thyroid dose. The assumed uncertainty of reconstructed thyroid dose was shown to dominate the uncertainty of the results on the excess risk per unit dose. Further research is needed to improve the estimates of thyroid doses and their uncertainties.

REFERENCES

Astakova LN, Anspaugh LR, Beebe GW, Bouville A, Drozdovitch V.V., Garber V., Gavrilin YI, Khrouch V.T., Kuvsbinnikov A.V., Kuzmenkov Y.N., Minenko V.P., Moschik KF, Naliuko AS, Rabbins J., Shemiakina E.V., Shinkarev S., Tochitskaya SI, Waclawiw MA. Chernobyl-related thyroid cancer in children of Belarus: A case-control study. *Rad. Res.*, 1998, 150: 349–356.
Atlas of Caesium Deposition on Europe after the Chernobyl Accident. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1998.

ный интервал (ДИ): 1,0; 4,5) случай на 10^4 чел.–лет•Гр. Не обнаружено существенных различий показателей ни между странами, ни между городскими и сельскими областями. Эти результаты согласуются с данными о EARPD, равном 4,4 (95% ДИ: 1,9; 10) случая на 10^4 чел.–лет•Гр, который наблюдали спустя 5–50 лет после внешнего облучения (Ron E. et al., 1995). Можно ожидать, что в дальнейшем риски для пострадавших вследствие Чернобыльской аварии возрастут, учитывая значительное увеличение заболеваемости раком щитовидной железы в 1991–1995 гг.

Когорта подразделена на 5 групп в зависимости от дозы облучения. Установлена очень сильная корреляция между средней дозой и дополнительным риском. В группе с наименьшими дозами средняя тиреоидная доза была 0,05 Гр, а EARPD — 2,5 (95% ДИ: 0,5; 6,6) случай на 10^4 чел.–лет•Гр.

Для когорты лиц, родившихся в 1971–1985 гг., ERRPD составил 24 (95% ДИ: 9; 89) Гр⁻¹, что существенно не отличается от ERRPD, равного 7,7 (95% ДИ: 2,1; 28) Гр⁻¹, который наблюдали спустя 5–50 лет после внешнего облучения (Ron E. et al., 1995). При более длительном наблюдении будет установлено, уменьшатся ли риски для пострадавших, когда пациенты из когорты наблюдения станут старше.

Зависимость дополнительного риска от пола и возраста на момент облучения была подобна таковой при внешнем облучении. EARPD для мужчин был в 2 раза меньше, чем для женщин, ERRPD для мужчин — в 1,7 раза больше, чем для женщин. EARPD для лиц в возрасте 0,4–9,4 года на момент аварии был в 2 раза выше, чем в возрасте 9,4–18,4 года на момент аварии. Для ERRPD это соотношение имело коэффициент 7.

Получены данные о рисках возникновения тиреоидного рака после аварии. Однако необходимы систематические исследования для выяснения, остаются ли достоверными результаты при корреляции тиреоидного мониторинга и тиреоидной дозы. Допустимая неопределенность восстановленной тиреоидной дозы преобладает над неопределенностью дополнительного риска на единицу дозы. Необходимы дальнейшие исследования для совершенствования методов оценок тиреоидных доз и их неопределенности.

Buglova E., Demidchik E., Kenigsberg J., Golovneva A. Thyroid cancer in Belarus after the Chernobyl accident: incidence, prognosis of progress, risk assessment. In: *Low Doses of Ionizing Radiation: Biological Effects and Regulatory Control*, IAEA-TECDOC-976, Contributed papers of Int. Conf., Seville, Spain, 17–21 November 1997, IAEA, WHO, UNSCEAR, pp. 280–284.

Chernobyl — Ten Years on NEA Committee on Radiation Protection and Public Health. Nuclear Energy Agency, OECD, Paris. 1996.

Drozdovitch V.V., Goulko G.M., Minenko V.F., Paretzke H.G., Voigt G., Kenigsberg YI. Thyroid dose reconstruction for the

population of Belarus after the Chernobyl accident. *Radiat. Environ. Biophys.*, 1997, 36: 17-23.

Kazakov V.S., Demidchik E.P., Astakova L.N. Thyroid cancer after Chernobyl. *Nature*, 1992, 359: 21.

Likhtarev I.A., Sobolev B.G., Kairo I.A., Tronko N.D., Bogdanova T.I., Oleinic V.A., Epshtein E.V., Serai V. Thyroid cancer in the Ukraine. *Nature*, 1995, 375: 365.

Ron E., Lubin J.H., Shore R.E., Mabuchi K., Modan B., Pattern L.M., Schneider A.B., Tucker M.A., Boice J.D. Thyroid cancer after exposures to external radiation: A pooled analysis of seven studies. *Radiat. Res.*, 1995 141: 259-277.

Jacob P., Goulko G., Heidenreich W.F., Likhtarev I., Kairo I., Tronko N.D., Bogdanova T.I., Kenigsberg J., Buglova E., Drozdovitch V., Golovneva A., Demid-

chik E.P., Balonov M., Zvonova I., Beral V. Thyroid cancer risk to children calculated. *Nature*, 1998, 392: 31-32.

Jacob P., Kenigsberg J., Zvonova I., Bratilova A.A., Buglova E.E., Drozdovitch V.V., Golovneva A., Goulko G., Heidenreich W.F., Kruk J., Pochtennaja G.T., Balonov M., Demidchik E.P., Paretzke H.G. Chernobyl exposure during childhood and thyroid cancer in contaminated areas of Belarus and Russia, 1998, in preparation.

Zvonova I.A., Balonov M.I. Radioiodine dosimetry and prediction of consequences of thyroid exposure of the Russian population following the Chernobyl accident. In: S.E. Mervin, M.I. Balonov (Eds.) *The Chernobyl Papers. Vol. I. Doses to the Soviet Population and the Early Health Effects Studies.* WA Research Enterprises, Richland, 1993, pp. 71-125.