

THYROID CANCER INCIDENCE AFTER CHERNOBYL ACCIDENT IN EASTERN ROMANIA

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ РАКОМ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ В ВОСТОЧНОЙ РУМЫНИИ

Doina Davidescu, Olga Iacob

Institute of Public Health, Iasi, Radiation Protection Department
14, V. Babes Str., Iasi 6600, Romania,
E-mail: doina_davidescu@yahoo.com

Дойна Давидеску, Ольга Якоб

Институт общественного здоровья города Яссы, отдел радиационной защиты

Abstract

Due to its geographical position Romania is among the most contaminated countries (except the former Soviet Union) with its eastern territory being the most exposed by the Chernobyl accident. The investigated zone is naturally goitrous area. The objective of our study is to investigate whether the nuclear accident determined an increased number of thyroid cancers among children and adolescents born before April 1986 (who were under 18 years old at that time) the cohort of children being exposed in utero. The incidence rates of the exposed groups (1,822,945 persons aged 0-18 and 103,458 children being exposed in utero by the Chernobyl accident) were compared with the incidence rates of two unexposed groups consisted of residents born before and after the nuclear accident. For 1980-1998, 49 cases were diagnosed. The mean annual incidence rates and the cumulative incidence rates were compared with those recorded before 1986. The mean annual incidence rate (cases/ 10^6 inhabitants) in the whole territory were higher after the Chernobyl accident (1986-1998) than those in 1980-1985 (1.4 vs. 0.8; $p=0.2$). A cumulative incidence rates were significantly statistically increasing within 1993 and 1998 than those being recorded before the nuclear accident (12.6 vs. 6.0; $p=0.04$). The incidence rate was significantly statistically higher in female (23.0 vs. 8.7; $p=0.02$) and in more increasing exposure group (18.0 vs. 4.9; $p=0.03$). In the cohort of children born after the nuclear accident (including the children exposed in utero) there were no cases recorded. The average values for thyroid dose under the most disadvantageous conditions were about 66 mSv for small children and 14 mSv for adolescents.

Key words: thyroid cancer, the Chernobyl accident, incidence rate, epidemiological study, children

INTRODUCTION

The studies of late health consequences of the Chernobyl accident are been focused on thyroid cancer in pediatric population (UNSCEAR Report 2000).

An increasing number of thyroid cancer cases among children and adolescents living in the most contaminated with radionuclides areas is registered in the Republic of Belarus, Ukraine and the Russian Federation (UNSCEAR Report 2000; Mould R.F, 2000; Sobolev B. et al, 1997; Williams D, et al, 1993; WHO, 1996).

Romania because of its geographical position has turn out among the most contaminated countries (except the former Soviet Union) and its eastern part is the most exposed by the Chernobyl NPP accident. Besides, the investigated zone is natural area of goitrous endemic.

The previous study of thyroid cancer incidence revealed a statistically significant increase in 1989-1994 against that of 1980-1985 in the age group of 0-4 (Davidescu D. and all, 2000).

ВВЕДЕНИЕ

Исследования отдаленных медицинских последствий Чернобыльской аварии сфокусировано на изучении проблемы рака щитовидной железы у детского населения (Отчет НКДАР ООН, 2000).

Возрастающее число случаев рака щитовидной железы у детей и подростков, проживающих в районах, в наибольшей степени загрязненных радионуклидами, было зарегистрировано в Республике Беларусь, Украине и Российской Федерации (Отчет НКДАР ООН, 2000; Mould R.F, 2000; Sobolev B. et al, 1997; Williams D. et al, 1993; WHO, 1996).

Из-за своего географического положения, Румыния оказалась среди наиболее пострадавших государств (помимо бывшего СССР), а ее восточные районы являются наиболее загрязненными вследствие Чернобыльской аварии. Последние, кроме того, представляют собой естественные районы зубной эндемии.

Предшествующее исследование заболеваемости раком щитовидной железы выявило статистически существенное увеличение показателей в 1989-1994 гг. по сравнению с 1980-1985 гг. в возрастной группе 0-4 лет (Davidescu D. et al, 2000).

The objective of the study is to investigate whether the nuclear accident has determined an increased number of thyroid cancers among children and adolescents born before April 1986, (i.e. who were under 18 years old at the accident moment) as well as the cohort of children exposed *in utero*.

SUBJECTS AND METHODS

The incidence rates of the exposed groups (1,822,945 persons aged 0-18 and 103,458 children being exposed to ionizing radiation in utero) were compared with the incidence rates of two unexposed groups of persons born before and after the accident. Within the period of 1980-1998, 49 cases of thyroid cancer were diagnosed. The cases were identified from patient's files from logs of endocrinological, surgical or radiological departments and the records of each Regional Oncological Department. Data on population distribution by age, sex and place of residence were provided by each Regional Office for Statistics. An annual thyroid cancer rate in Romania was calculated on the basis of unpublished data of the National Statistical of Ministry of Health of Romania and used for comparison with disease incidence rate of the investigated area. All cases of thyroid cancer were confirmed with histological examination results. Cumulative incidence rates by sex, place of residence, age groups, and levels of exposure to ionizing radiation were calculated for three equal periods: 0 (1980-1985), I (1987-1992) and II (1993-1998). The chi-squared and Fischer tests were used to calculate the level of statistical significance. Epi Info Programme, version 6 was used for data processing.

Thyroid radiation doses intaken by children via inhalation and ingestion of ^{131}I were derived on the basis of measured activity concentrations of this radionuclide in air and foodstuff. The volumetric activity concentrations of airborne ^{131}I were determined by drawing a known volume of air through an activated carbon cartridge filter with use of a subsequent gamma-spectrometry analysis of the retained radioactive material. The radioactive content of foodstuff was measured also through of the high-resolution gamma spectrometry method application. Individual thyroid exposure doses were calculated based on the activity concentrations and age-dependent breathing rates of the International Commission on Radiation Protection (ICRP), the food consumption rates of Ministry of Health and Family of Romania and the appropriate age-dependent dose conversion coefficients adopted by the ICRP (ICRP Report 1995, Phipps A.W. et al., 1991).

RESULTS AND DISCUSSION

As it can be seen from table 1 and figure 1, average values of thyroid equivalent dose obtained by children at the "Level B" exposure were about

Целью настоящего исследования было установить связь между ядерной аварией и увеличением количества случаев рака щитовидной железы среди детей и подростков, родившихся до апреля 1986 г. (которым было до 18 лет в то время), а также в группе детей, облученных в пренатальном периоде развития.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Показатели заболеваемости в облученных группах (1 822 945 лиц в возрасте 0-18 лет и 103 458 детей, подвергшихся лучевому воздействию в пренатальном периоде на момент Чернобыльской аварии) сравнивали с соответствующими величинами в двух необлученных группах лиц, родившихся до и после ядерной аварии. На протяжении 1980-1998 гг. было диагностировано 49 случаев. Регистрацию проводили по данным медицинской документации хирургических, радиологических или эндокринологических, а также районных онкологических отделений. Данные распределения населения в зависимости от пола и места жительства были получены из районных управлений статистики. Ежегодные показатели заболеваемости рассчитывали по неопубликованным данным Национального статистического управления Министерства здравоохранения Румынии и использовали при сравнении с показателями в исследуемых районах. Все выявленные случаи были подтверждены гистологически. Кумулятивные показатели заболеваемости в зависимости от пола, района проживания, возрастной группы и доз облучения рассчитывали для трех равных периодов: 0 (1980-1985), I (1987-1992) и II (1993-1998). Уровни статистической достоверности рассчитывали по критериям χ^2 и тест Фишера. Для обработки данных использовали программное обеспечение Epi Info, версия 6.

Дозы облучения щитовидной железы детей вследствие ингаляционного и алиментарного поступления ^{131}I определяли на основании измерений концентрации активности данного радионуклида в воздухе и продуктах питания. Объемную концентрацию активности ^{131}I в воздухе определяли путем пропускания заданного объема воздуха через фильтр из активированного угля с последующим гамма-спектрометрическим анализом задержанной фильтром радиоактивности. Содержание радиоактивности в продуктах питания также оценивали методом гамма-спектроскопии высокого разрешения. Индивидуальные дозы облучения щитовидной железы оценивали на основании полученных величин активности и возраст-зависимых параметров дыхания по данным МКРЗ, норм потребления пищевых продуктов согласно материалам Министерства здравоохранения и семьи Румынии, а также соответствующих возраст-зависимых коэффициентов пересчета доз МКРЗ (ICRP Report 1995 and Phipps A.W. et al, 1991).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из таблицы 1 и рисунка 1, средние величины эквивалентных доз на щитовидную железу, полученных детьми при уровне лучевого воздей-

twice higher those obtained at "Level A" exposure.

The average values for thyroid dose were under the most disadvantageous conditions, about 66.5 mSv for small children and 14 mSv for adolescents.

ствия В, были примерно вдвое выше по сравнению с таковыми при уровне А.

Средние величины доз облучения щитовидной железы, при самых неблагоприятных обстоятельствах, составляли 66,5 мЗв у детей младшего возраста и 14 мЗв у подростков.

AVERAGE THYROID DOSES FROM INTAKE OF ¹³¹I RADIONUCLIDE DUE TO THE CHERNOBYL ACCIDENT

TABLE 1

СРЕДНИЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ РАДИОНУКЛИДОМ ¹³¹I ВСЛЕДСТВИЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

ТАБЛИЦА 1

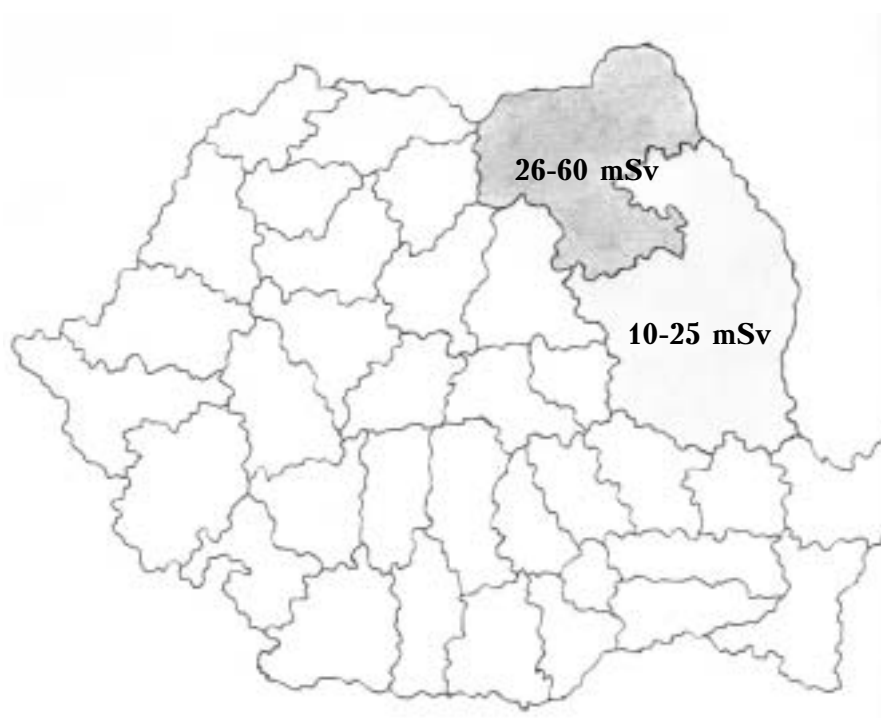
Age groups (years)	Average thyroid dose (mSv)					
	Mean level		Level A		Level B	
	I	II	I	II	I	II
0-4	66.5	21.3	42.8	13.8	110	35.2
5-9	40.2	19.1	25.0	12.3	66.3	31.5
10-14	28.3	16.4	18.3	10.6	46.6	27.1
15-18	14.0	8.4	9.1	5.5	23.0	13.9
Total	36.6	16.3	25.0	10.5	60.4	26.0

Note. I - with milk consumption; II - without milk consumption.

Примечание. I - при потреблении молока; II - без потребления молока.

FIGURE 1. AVERAGE THYROID DOSES

РИСУНОК 1. СРЕДНИЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ



As we can see from figure 2 the tendency to thyroid cancer incidence increase was clear among the whole country (a=+0.02) and that was rather more evident in the eastern regions of Romania (a=+0.16).

The incidence rate (number of cases per 10⁶ residents) in the age group 0-29 at the moment of diagnose in Eastern Romania ranged between 0 (1992) and 3.2 (1997) (see figure 3).

Как видно из рисунка 2, тенденция к росту заболеваемости раком щитовидной железы бала характерна для всей территории страны (a=+0,02) при большей выраженности в восточных районах Румынии (a=+0,16).

Показатель заболеваемости (число случаев/10⁶ жителей) в возрастной группе 0-29 лет на момент диагностирования заболевания в Восточной Румынии колебался в пределах от 0,0 (1992) до 3,2 (1997) (см. рисунок 3).

The thyroid cancer cases were registered only after 1994 in groups aged 0-4 at the time of exposure as well as in groups aged 5-9 (see figure 4).

A half of thyroid neoplasm cases of 1986-1998 were revealed in a cohort of 15-18 years old at the moment of exposure (see figure 5). According to patients' age at the moment of diagnosing higher frequency is manifested in the age group 19-24 years old.

Случаи заболевания раком щитовидной железы в возрастных группах 0-4 и 5-9 лет на момент лучевого воздействия регистрировались исключительно после 1994 года (см. рисунок 4).

Половина случаев новообразований щитовидной железы в течение 1986-1998 была выявлена в группе 15-18 лет на момент лучевого воздействия (см. рисунок 5). С учетом возраста пациентов на момент диагноза заболевания очевидна максимальная частота патологии у лиц 19-24 лет.

FIGURE 2. TRENDS OF THYROID CANCER INCIDENCE IN CHILDREN OF 0-14 YEARS OLD IN ROMANIA AND ITS EASTERN REGIONS

РИСУНОК 2. ТРЕНДЫ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАКОМ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У ДЕТЕЙ 0-14 ЛЕТ В РУМЫНИИ И ВОСТОЧНЫХ РАЙОНАХ СТРАНЫ

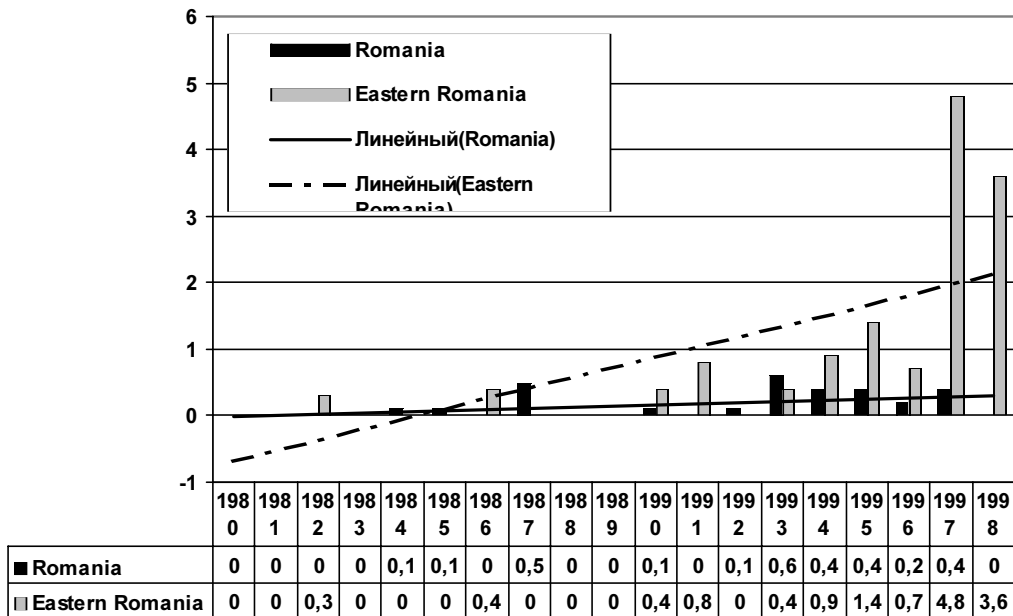


FIGURE 3. INCIDENCE RATE OF THYROID CANCER IN AGE GROUP OF 0-29 AT THE MOMENT OF DIAGNOSING

РИСУНОК 3. ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ РАКОМ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В ГРУППЕ ЛИЦ 0-29 ЛЕТ НА МОМЕНТ ДИАГНОЗА ЗАБОЛЕВАНИЯ

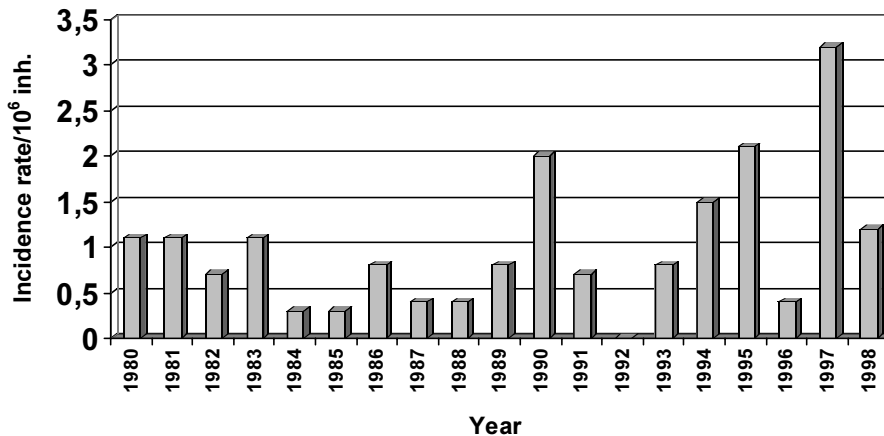


FIGURE 4. NUMBER OF CASES DISTRIBUTION BY YEAR OF EXPOSURE AND AGE AT THE MOMENT OF EXPOSURE

РИСУНОК 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА СЛУЧАЕВ ПО ГОДАМ ОБЛУЧЕНИЯ И ВОЗРАСТУ НА МОМЕНТ ОБЛУЧЕНИЯ

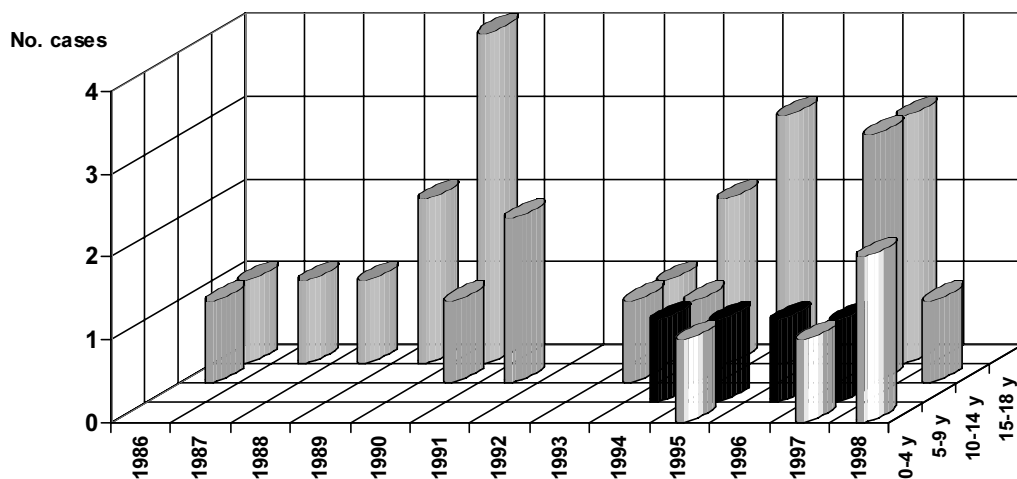
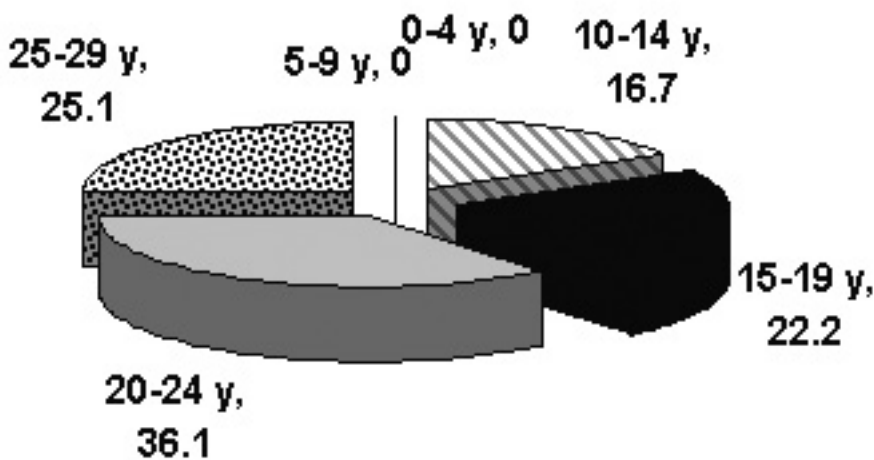


FIGURE 5. DISTRIBUTION OF CASES IN 1986-1998 BY AGE AT DIAGNOSING

РИСУНОК 5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЛУЧАЕВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА ПРИ ДИАГНОСТИКЕ В 1986-1998 гг.



As it is showed in table 2 in four regions (Bacau, Botosani, Braila, Neamt.), first cases of thyroid cancer were registered only after 1986. Mean annual incidence rate (number of cases per 10⁶ inhabitants) was higher before the Chernobyl NPP accident than that after 1986 in Iasi district (2.3 vs. 0.9) Vaslui district (0.7 vs. 0.3) and Vrancea. District (2.7 vs. 1.3). The mean annual incidence rate in Eastern Romania were higher after the Chernobyl accident (in 1986-1998) than that of 1980-1985 (1.4 vs. 0.8; p=0.02).

Cumulative incidence rates were statistically significantly rising between 1993 and 1998 periods as compared to those being registered before the

Как показано в таблице 2, в четырех районах (Бакау, Ботошань, Брайла и Нямц) первые случаи заболевания были диагностированы лишь после 1986 г. Средние годовые показатели заболеваемости (число случаев/10⁶ жителей) в период предшествующий ядерной аварии превышали таковые после 1986г. В районах Яссы (2,3 и 0,9), Васлуй (0,7 и 0,3) и Вранчя (2,7 и 1,3 соответственно). Средние годовые показатели заболеваемости в восточных районах Румынии были выше после Чернобыльской аварии (в 1986-1998 гг.), чем в 1980-1985 гг. (1,4 и 0,8 соответственно, p=0,02).

Кумулятивные показатели заболеваемости статистически достоверно возрастали на протяжении 1993-1998 гг. по сравнению с таковыми в период предше-

Chernobyl accident (12.6 vs. 6.0; $p=0.04$). The incidence rate was statistically significantly higher in females (23.0 vs. 8.7; $p=0.02$) and the group with higher radiation doses (18.0 vs. 4.9; $p=0.03$) (table 3).

ствующий Чернобыльской аварии (12,6 и 6,0; $p=0,04$). Показатель заболеваемости был статистически достоверно выше у лиц женского пола (23,0 и 8,7; $p=0,02$) и в группе получивших более высокие дозы облучения (18,0 и 4,9; $p=0,03$) (табл. 3).

THE INCIDENCE RATES (CASES PER 10⁶ INH.) BY DISTRICTS

TABLE 2

ПОКАЗАТЕЛИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ (ЧИСЛО СЛУЧАЕВ/10⁶ ЖИТЕЛЕЙ) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЙОНА

ТАБЛИЦА 2

District	Mean annual incidence		Cumulative incidence		
	1980–1985	1986–1999	1980–1985	1987–1992	1993–1998
BACAU	0	1.5	0	0	19.5
BOTOSANI	0	0.6	0	0	8.9
BRAILA	0	1.3	0	11.6	5.8
GALATI	1.0	0.4	6.1	3.2	3.2
IASI	2.3	0.9	14.1	4.8	7.1
NEAMT	0	1.0	0	3.5	10.6
SUCEAVA	0.4	2.0	2.8	8.8	17.4
VASLUI	0.7	0.3	4.1	4.4	0
VRANCEA	2.7	1.3	16.1	11.2	0
ALL	0.8	1.4	7.1	4.8	9.1

CUMULATIVE INCIDENCE RATES (CASES/10⁶ INH.) BY SEX, PLACE OF RESIDENCE, AGE GROUPS AND EXPOSURE LEVELS IN PEOPLE OF 0-29 YEARS OLD

TABLE 3

КУМУЛЯТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ (ЧИСЛО СЛУЧАЕВ/10⁶ ЖИТЕЛЕЙ) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛА, РАЙОНА ПРОЖИВАНИЯ, ВОЗРАСТНОЙ ГРУППЫ И УРОВНЯ ОБЛУЧЕНИЯ У ЛИЦ 0-29 ЛЕТ

ТАБЛИЦА 3

Parameter type	Parameter value	Period		
		80–85 (0)	87–92 (I)	93–98 (II)
Sex	Male	3.0	2.2	1.5
	Female	6.8	6.0	16.8 ^{a,b}
Residence place	Urban	7.0	5.0	9.1
	Rural	3.6	3.6	9.1
Age groups at diagnosing	0-4 years	0	0	0
	5-9 years	2.0	0	0
	10-14 years	0	2.1	8.4
	15-19 years	2.1	6.3	10.6
	20-24 years	6.6	15.2	11.0
	25-29 years	26.4	0	29.7
Exposure level	A	1.1	3.3	12.9 ^{c,d}
	B	6.9 ^e	4.6	7.2
Total		4.9	4.1	9.1

Note. a - II vs. 0 ($p=0.02$); b - II vs. I ($p=0.01$); c - II vs. 0 ($p=0.007$); d - II vs. I ($p=0.03$); e - B vs. A ($p=0.03$); A - 26-60 mSv; B - 10-25 mSv.
 Примечание. a - II по сравнению с 0 ($p=0,02$); b - II по сравнению с I ($p=0,01$); c - II по сравнению с 0 ($p=0,007$); d - II по сравнению с I ($p=0,03$); e - B по сравнению с A ($p=0,03$); A - 26-60 мЗв; B - 10-25 мЗв.

The cumulative incidence rate in the whole territory was statistically significantly higher in 1993-1998 than that in 1987-1992 (9.1 vs. 4.1; $p=0.03$) (table 4).

Кумулятивный показатель заболеваемости по всей территории статистически достоверно превышал в 1993-1998 гг. таковой в период 1987-1992 гг. (9,1 против 4,1; $p=0,03$) (Табл. 4).

CUMULATIVE INCIDENCE RATES (CASES/10⁶ INH.) BY SEX, PLACE OF RESIDENCE, AGE GROUPS AND EXPOSURE LEVELS IN COHORT BEING 0-18 YEARS OLD IN 1986

ТАБЛИЦА 4

КУМУЛЯТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ (ЧИСЛО СЛУЧАЕВ/10⁶ ЖИТЕЛЕЙ) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛА, РАЙОНА ПРОЖИВАНИЯ, ВОЗРАСТНОЙ ГРУППЫ И УРОВНЕЙ ОБЛУЧЕНИЯ СРЕДИ ЛИЦ 0-18 ЛЕТ В 1986 г.

Parameter type	Parameter value	Period	
		87-92 (I)	93-98 (II)
Sex	Male	3.3	2.2
	Female	8.7	23.0 ^a
Residence area	Urban	5.4	9.8
	Rural	6.5	15.3
Age groups at diagnosis	0-4 years	0	9.2
	5-9 years	0	7.9
	10-14 years	6.2	12.4
	15-19 years	19.8	22.3
Level of exposure	A	4.9	18.0 ^b
	B	6.6	9.9
Total		6.0	12.6 ^c

Note. a - p=0.02; b - p=0.03; c - p=0.04; A - 26-60 mSv; B - 10-25 mSv.

Примечание. a - p=0,02; b - p=0,03; c - p=0,04; A - 26-60 мЗв; B - 10-25 мЗв.

The statistically significant increase was registered in the group with high exposure level (12.9 vs. 3.3; p=0.03). There were registered no cases in the cohort of children born after the nuclear accident (including the children exposed *in utero*)

Статистически достоверное увеличение было отмечено в группе лиц высокого уровня облучения (12,9 и 3,3; p=0,03). В группе детей, родившихся после ядерной аварии (включая облученных в пренатальном периоде), случаев заболевания выявлено не было.

CONCLUSION

ВЫВОДЫ

1. The thyroid cancer incidence was characterized with a tendency to increasing all over the country and especially, in the eastern regions of the country within 1980-1998 period.
2. The disease cases revealed in the cohort of 0-18 years old was statistically significantly rising in 1993-1998 as compared to pre- and post-accidental periods among female patients and in the group with higher doses of radiation exposure.
3. There were recorded no cases of thyroid cancer in the cohort of children exposed in utero to ionizing radiation.

1. Заболеваемость раком щитовидной железы в Румынии характеризовалась возрастающим трендом, в особенности в восточных районах на протяжении 1980-1998 гг.
2. Число выявляемых случаев заболевания в возрастной группе 0-18 лет статистически достоверно возрастало в 1993-1998 гг. по сравнению с доаварийным и послеаварийным периодами у лиц женского пола и при более высоких уровнях облучения.
3. Среди детей, облученных в пренатальном периоде развития, случаев заболевания зарегистрировано не было.

ACKNOWLEDGEMENTS

БЛАГОДАРНОСТЬ

We sincerely thank Dr. Cornelia Gheorghiu from General Hospital Roman and Drs. Constanta Apostu, Angela Aflorei, Garofita Elisei, Mihaela Ghinet from Districtual Public Health Offices (Galati, Bacau, Suceava, Iasi) for the information kindly provided. We also thank Dr. Nicolina Florea, Prof. Gioconda Dobrescu and Prof. Sultana Mihailovici from Cytopathological Departments Iasi for their competent help in our work.

Авторы выражают признательность д-ру Корнелии Георгиу из Главного госпиталя Румынии, д-рам Констанце Апосту, Анжеле Афлорей, Гарофице Елисей, Михаеле Гинет из районных управлений здравоохранения (Галац, Бакэу, Сучеава, Яссы) за предоставленную информацию. Авторы благодарны также д-ру Никулине Флоареа, профессору Жиоконде Добреску и профессору Султане Михайлович из отделений цитопатологии за их компетентную помощь.

REFERENCES

Davidescu D., Diaconescu C. The incidence of thyroid cancer in eastern Romania, J.M.P., 2000, 8(2); 30-38.

Directia Centrala de Statistica: Anuarul statistic al R:S:R:, 1981/ p. 43-55.

Health consequences of the Chernobyl accident. Scientific Report. WHO, Geneva 1996, p. 243-30.

Heidenreich W.F., Kenigsberg J., Jacob P. et al: Time trends of thyroid cancer incidence in Belarus after the Chernobyl accident. Radiat. Res., 1999, 151 (5), p. 617-25.

ICRP. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: part 4. Inhalation dose coefficients. ICRP Publication 71. Annals of the ICRP (3-4) Pergamon Press, Oxford, 1995.

Mould R.F. Chernobyl record. The definitive history of the Chernobyl catastrophe, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2000. ISBN O 7303 O 670 X RbK p. 262-278.

Phipps, AW, Kendall, GM, Stather, JW, Fell, TP, and Silk, TJ: Committed Equivalent Organ Doses and Committed Effective Doses from Intakes of Radionuclides. NRPB-M288, National Radiological Protection Board, Chilton, 1991.

Sobolev B., Heidenreich W.F., Kairo et al.: Thyroid cancer incidence in the Ukraine after the Chernobyl accident: comparison with spontaneous incidences. Radiat. Environ, Biophys., 1997, 36 (3), p. 195-9.

UNSCEAR Report, 1988 Annex D: Exposures from the Chernobyl accident/ p. 333-365.

UNSCEAR Report. 2000. Annex J Exposures and effects of the Chernobyl accident, p. 497-517.

Williams D. et al: Thyroid cancer in children living near Chernobyl. 1993, CEC Rep. EUR 15248, p. 108.