

## CONTRIBUTION OF THE CHERNOBYL ACCIDENT TO HUMAN INCORPORATION OF STRONTIUM-90

## ВКЛАД АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В ДЕПОНИРОВАНИЕ СТРОНЦИЯ-90 В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

**E. Botezatu, O. Iacob**

Institute of Public Health, Radiation Protection Department  
14, Victor Babes Street, 6600, Iasi, Romania  
tel.: 40-32-141-520; fax.: 40-32-140-987

**Е. Ботезату, О. Якоб**

Институт общественного здоровья, отдел радиационной защиты  
ул. Виктора Бабес, 14, Яссы, Румыния, 6600  
тел.: 40-32-141-520; факс: 40-32-140-987

### Abstract

Earlier studies conducted in Romania after the Chernobyl accident revealed environmental and dietary contamination by  $^{90}\text{Sr}$  with values of one-two orders of magnitude higher than those prior to the accident. Taking into account the bone tropism of  $^{90}\text{Sr}$ , its accumulation rates in human teeth and bone were studied. 120 tooth samples were collected among dental clinics during 1991–1993 and 217 ribs and femur samples were removed at autopsy from the body of deceased individuals from some Romanian districts during 1993–1996. A lower content of radionuclide was registered in femurs. The results of  $^{90}\text{Sr}$  measurements in human ribs and femur from some Romanian districts did not allow univocal conclusions for different age groups. The continued measurements of  $^{90}\text{Sr}$  in diet and human organism will lead to further improvements in the Chernobyl consequences' evaluation.

**Keywords:** Chernobyl accident, bones and teeth contamination,  $^{90}\text{Sr}$  radionuclides, autopsy, infants, children.

### INTRODUCTION

At the time of the Chernobyl accident there was a release of fission products including  $^{90}\text{Sr}$  — a long-living radionuclide with bone tropism and high radiotoxicity. The studies carried out in Romania after the Chernobyl accident pointed out environmental and dietary contamination presence with  $^{90}\text{Sr}$  with one-two orders of magnitude higher values than ones prior to the accident. Taking into account the osteotropism of  $^{90}\text{Sr}$  the authors were interested in its accumulation rates in human teeth and bone.

### MATERIALS AND METHODS

To study the  $^{90}\text{Sr}$  accumulation in human teeth, 120 tooth samples were collected from dental clinics between 1991–1993 including deciduous teeth from infants and children, and permanent teeth from adolescents and adults. With the purpose of  $^{90}\text{Sr}$  content evaluation in human bone 217 ribs and femur samples were removed at autopsy from the body of deceased individuals from several Romanian districts between 1993–1996. The human bones were supplied by the Department of Forensic Medicine from district hospitals of Iasi, Suceava, Piatra Neamt, Galati, Bacau. The  $^{90}\text{Sr}$  content was analyzed after samples dry and wet ashing using

### ВВЕДЕНИЕ

При аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) произошел выброс продуктов деления, включая  $^{90}\text{Sr}$  — радионуклида с длительным периодом полураспада, тропностью к костной ткани и высокой радиотоксичностью. Исследования, проведенные в Румынии после аварии на ЧАЭС, выявили загрязнение окружающей среды и продуктов питания  $^{90}\text{Sr}$ , уровни которого на один-два порядка превышали таковые до аварии. Учитывая тропность  $^{90}\text{Sr}$  к костной ткани, авторов интересовала степень накопления радионуклида в тканях зубов и костях человека.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения накопления  $^{90}\text{Sr}$  в тканях зубов человека из стоматологических клиник на протяжении 1991–1993 гг. было отобрано 120 образцов молочных зубов, в том числе детей грудного возраста, и постоянных зубов подростков и взрослых. Для определения содержания  $^{90}\text{Sr}$  в костях человека, на протяжении 1993–1996 гг. при аутопсии были взяты 217 образцов реберных и бедренных костей. Костная ткань была предоставлена отделом судебной медицины после получения из районных больниц (Яссы, Сучава, Пьятра-Нямц, Галац, Бакэу). Содержание  $^{90}\text{Sr}$  определяли после сухого и влажного озоления препаратов с использованием дымящей азотной кисло-

fuming nitric acid for separation. The  $^{90}\text{Sr}$  content was measured by means of its fission product  $^{90}\text{Y}$ ,  $\beta$ -counted in the oxalate form.

**RESULTS AND DISCUSSION**

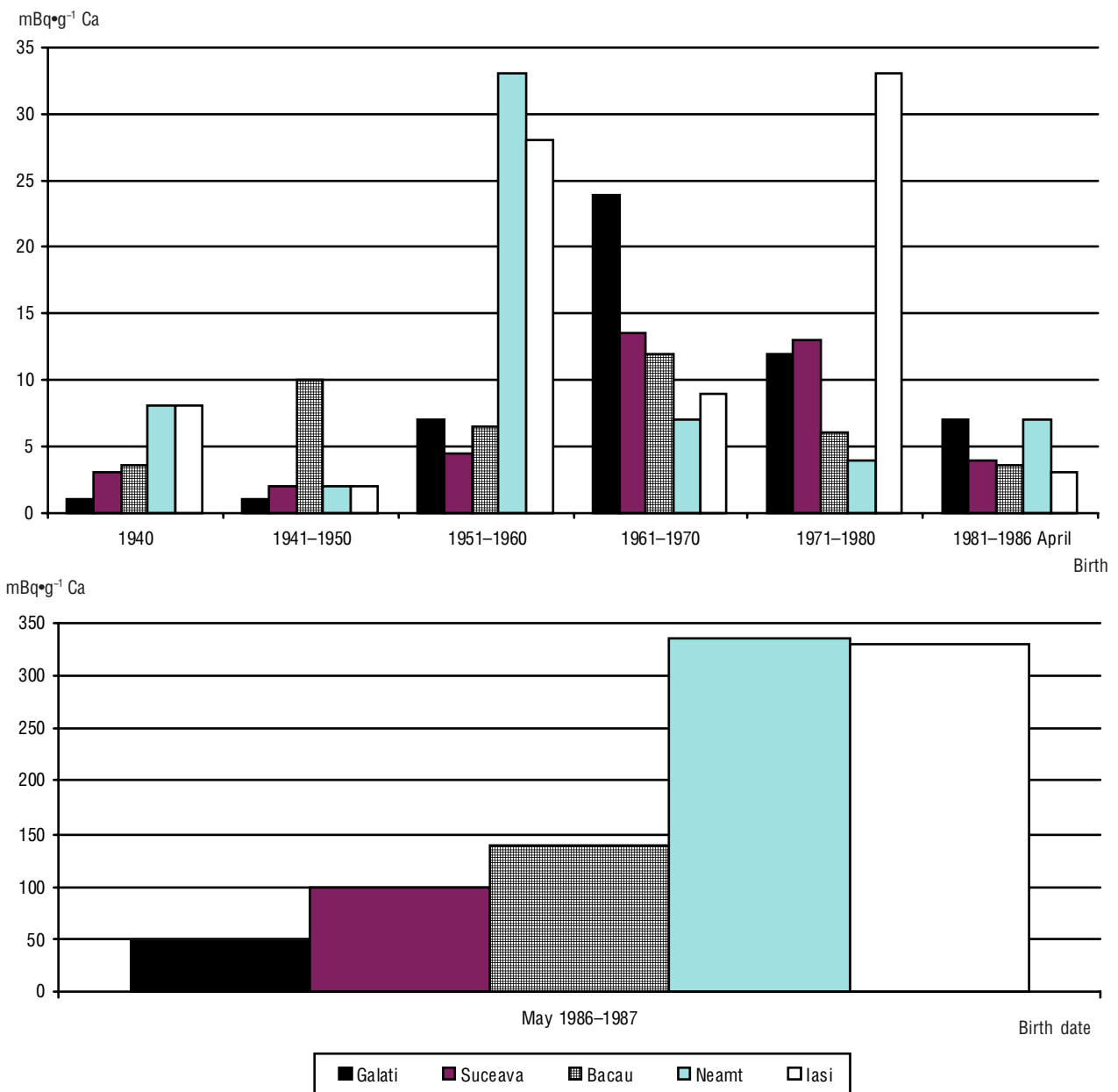
The study of  $^{90}\text{Sr}$  accumulation in human teeth revealed concentration values of 10.8–330.0  $\text{mBq}\cdot\text{g}^{-1}$  of Ca in the deciduous teeth of young children born during the 1986–1987 period following to the Chernobyl accident. These values were 10–600 times higher than those obtained for permanent or deciduous teeth from all the other age groups or from the same age group born before Chernobyl disaster. These results show that  $^{90}\text{Sr}$  human incorporation took place as a consequence of the Chernobyl accident (figure 1).

ты для сепарации. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  измеряли по  $\beta$ -излучению продукта его распада —  $^{90}\text{Y}$  в оксалатной форме.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Содержание  $^{90}\text{Sr}$  составило 10,8–330  $\text{мБк}\cdot\text{г}^{-1}$  Ca в тканях молочных зубов детей, родившихся в 1986–1987 гг., т.е. непосредственно после аварии на ЧАЭС. Эти величины в 10–600 раз превышают таковые, полученные при исследовании постоянных или молочных зубов пациентов всех остальных возрастных категорий, а также у детей того же возраста, рожденных до аварии. Результаты свидетельствуют о том, что накопление  $^{90}\text{Sr}$  в организме человека является следствием аварии на ЧАЭС (рисунок 1).

**FIGURE 1.**  $^{90}\text{Sr}$  LEVELS IN HUMAN TEETH ( $\text{mBq}\cdot\text{g}^{-1}$  OF Ca)  
**РИСУНОК 1.** УРОВНИ НАКОПЛЕНИЯ  $^{90}\text{Sr}$  В ТКАНЯХ ЗУБОВ У НАСЕЛЕНИЯ ( $\text{мБк}\cdot\text{г}^{-1}$  Ca)



The aim of the study was to measure incorporation by analysis of the human bones. Table 1 shows  $^{90}\text{Sr}$  content mean values of 6–57  $\text{mBq}\cdot\text{g}^{-1}$  of Ca, measured in ribs compared to levels of 3–43  $\text{mBq}\cdot\text{g}^{-1}$  of Ca registered in femurs. The reason for lower radionuclide content in femur (especially in adults) is the difference in cortical and trabecular portions of bone tissue among those parts of skeleton.

Для количественной оценки выявленного инкорпорирования анализировали состав костной ткани. В таблице 1 приведены средние значения содержания  $^{90}\text{Sr}$  в реберных (6–57  $\text{мБк}\cdot\text{г}^{-1}$  Ca) и бедренных (3–43  $\text{мБк}\cdot\text{г}^{-1}$  Ca) костях. Более низкие уровни накопления в бедренных костях (особенно у взрослых лиц) обусловлены различиями в соотношении кортикальной и трабекулярной зон в этих частях скелета.

TABLE 1

 $^{90}\text{Sr}\cdot\text{g}^{-1}$  OF Ca RATIO IN HUMAN BONE TISSUE (AVERAGE AND LIMITS)

ТАБЛИЦА 1

СООТНОШЕНИЕ  $^{90}\text{Sr}\cdot\text{g}^{-1}$  Ca В КОСТНОЙ ТКАНИ ЧЕЛОВЕКА (СРЕДНИЕ И МАКСИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ)

Year of birth	Age at death (years)	Age in April 1986 (years)	$\text{mBq}\cdot\text{g}^{-1}$ of Ca	
			Ribs (136 samples)	Femurs (81 samples)
1988	6	—	35.2±20 (21–49.5)	39±26 (20–57.6)
1983–1986	7–10	0–3	98.5±33 (75–122)	96±32 (74–119)
1979–1980	14–15	6–7	15.2±6.3 (9–21)	—
1976–1977	18	9–10	15.9±4.6 (11.3–20.5)	—
1974–1975	19	11–12	10.1±3.9 (6–14)	9.7±6.6 (5–13.8)
1973–1975	20	11–13	19.8±6.3 (13.3–26.1)	16.9±4.6 (13–22.5)
1972	21	14	40±23 (24–56.7)	15±4.6 (12–18.5)
1970–1971	23	15–16	24±11.5 (12.6–35.6)	21±11.8 (13–29.7)
1969	25	17	56.5±37 (30–83.1)	34.2±25.8 (16–52.5)
1963–1968	26–30	18–23	54.9±27.2 (34.7–73.4)	42.5 ±16 (27–58)
1959–1964	31–35	22–27	48.9±14.8 (34.1–63.7)	29.5±12 (21–38)
1953–1958	36–40	28–33	36.5±19 (17.5–55.5)	27±8.5 (21–33)
1948–1952	41–45	34–48	13.7±10 (3.7–23.8)	6±5.2 (2.5–9.7)
1943–1947	46–50	40–43	6.7±3.1 (3.6–9.8)	4.7±2.2 (3–6.4)
1938–1942	51–55	44–48	7.5±4.1 (3.4–11.6)	5.0±1.7 (3.5–7.1)
1933–1937	56–60	47–52	6.4±3.2 (3.1–10)	3.8±1.6 (2.3–5.7)
1928–1932	61–65	53–58	11.9±8.1 (3.6–21)	7.4±2.3 (4.8–11)
→1928	>65	>58	5.9±2.2 (3.5–8.4)	3.9±2 (2–6)

The highest values of  $^{90}\text{Sr}$  content were 75–122 in ribs and 74–120  $\text{mBq}\cdot\text{g}^{-1}$  of Ca in femur respectively for the 7–10 year-old age group. These individuals were 0–3 years old during the period of the nuclides' heaviest deposit. This age is by far a more critical period due to the isotope highest uptake. The values measured in bone samples from young adults were higher than in the other adult age groups, respectively of 24–83  $\text{mBq}\cdot\text{g}^{-1}$  of Ca in ribs and 18–58 in femur. Those individuals were adolescents during the period of Chernobyl accident.

The higher concentration values in Suceava samples compared to those from Galati correspond to the  $^{90}\text{Sr}$  greater dietary intake. The registered levels of  $^{90}\text{Sr}$  content in human bones are present due to the residual body burden and dietary incorporation during the post-Chernobyl period.

In a previous study (1969–1970) through the analysis of rib and femur samples the  $^{90}\text{Sr}$  body accumulation in Romania caused by atmospheric nuclear tests was measured. The highest concentrations of  $^{90}\text{Sr}$  in bone samples were generally registered in infants and individuals born within the maximum fallout period. The comparison of those data with those from the present work suggests that the Chernobyl accident did not lead to  $^{90}\text{Sr}$  accumulation increase in adults (table 2).

Наибольшее содержание  $^{90}\text{Sr}$  — 75–122  $\text{мБк}\cdot\text{г}^{-1}$  Ca в реберных и 74–120  $\text{мБк}\cdot\text{г}^{-1}$  Ca в бедренных костях — выявлено у детей в возрасте 7–10 лет. Наиболее интенсивное депонирование радионуклидов у них происходит в возрасте от 0 до 3 лет. Этот возраст — наиболее критический период ввиду наиболее активного поглощения изотопа. Среди взрослых содержание  $^{90}\text{Sr}$  было выше у лиц молодого возраста — соответственно в реберной кости — 24–83  $\text{мБк}\cdot\text{г}^{-1}$  Ca, бедренной — 18–58  $\text{мБк}\cdot\text{г}^{-1}$  Ca. На момент аварии на ЧАЭС они были подростками.

В препаратах, полученных из Сучава, содержание  $^{90}\text{Sr}$ , по сравнению с таковыми из Галац, было выше, что связано с большим алиментарным поступлением радионуклида. Зарегистрированное содержание  $^{90}\text{Sr}$  в костях человека обусловлено фоновыми величинами накопления и алиментарным поступлением после аварии на ЧАЭС.

Ранее (в 1969–1970 гг.) у населения Румынии аналогичным методом определяли уровень накопления  $^{90}\text{Sr}$  в организме вследствие атмосферных испытаний ядерного оружия. Наибольшее содержание  $^{90}\text{Sr}$  в препаратах костной ткани регистрировали, как правило, у детей младшего возраста, а также лиц, родившихся в периоды наибольших выпадений. При сравнении этих данных с результатами настоящего исследования не отмечено увеличения накопления  $^{90}\text{Sr}$  у взрослых вследствие аварии на ЧАЭС (таблица 2).

TABLE 2

<sup>90</sup>Sr ACTIVITY TO STABLE Ca WEIGHT RATIO IN HUMAN BONE BY AGE (mBq·g<sup>-1</sup> of Ca)

ТАБЛИЦА 2

СООТНОШЕНИЯ АКТИВНОСТИ <sup>90</sup>Sr И МАССЫ СТАБИЛЬНОГО Ca В КОСТНОЙ ТКАНИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА (мБк·г<sup>-1</sup> Ca)

Bone type	Study period	Age at death (years)			
		20–30	30–40	40–50	>50
Rib	1969–1970	73.3±30.4	48.0±8.5	42.6±2.2	40.0±9.6
	1993–1996	44.0±15	42.7±9.7	10.7±4.9	8.5±3.1
Femur	1969–1979	41.5±0.4	37.7±0.7	14.8±0.7	24.0±5.6
	1993–1996	28.3±12	28.2±8.6	8.0±2.7	5.0±1.7

Using the average <sup>90</sup>Sr content values in bone, effective doses were calculated that were than compared with those received from <sup>90</sup>Sr dietary uptake for each age group (table 3).

Используя среднее содержание <sup>90</sup>Sr в костях были рассчитаны эффективные дозы, которые сравнивали с дозами, полученными за счет алиментарного поступления <sup>90</sup>Sr в каждой возрастной группе (таблица 3).

TABLE 3

EFFECTIVE DOSES CALCULATION VALUES WITHIN TWO METHODS

ТАБЛИЦА 3

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПО ДВУМ МЕТОДАМ

Age in 1986 (years)	Effective dose μSv		Age at death (years)
	Due to ingestion (during first 3 years after accident)*	Due to bone incorporation, integrated up to death (average value and limits)	
0–3	21+16+7=44	46±23 (37–60)	7–10
10	12+10+6=28	25±7 (18.5–32.1)	18–19
>17	10+9+4=23	23.3±8 (18–29)	>25

Note. \* — Calculated using age dependent dose factors (ICRP 69/1995).

Примечание. \* — Расчеты выполнены с использованием возрастзависимых дозовых коэффициентов (ICRP 69/1995).

The values of average effective dose calculated using the two methods — <sup>90</sup>Sr content in food versus the average <sup>90</sup>Sr skeletal content — were in a good correspondence.

Средние эффективные дозы облучения, рассчитанные по двум методам — содержанию <sup>90</sup>Sr в пищевых продуктах и скелете — были сопоставимы.

From the collective equivalent doses of 1,500 manSv for bone surfaces and 680 manSv for bone marrow, using the corresponding risk factors (ICRP Publication 60), the potential number of 4 radiation-induced fatal cancers among the studied population (5.2 million residents) was estimated (table 4).

При величинах коллективных эквивалентных доз 1500 челЗв на костную поверхность, а также 680 челЗв на костный мозг с использованием соответствующих факторов риска (ICRP Publication 60) среди исследуемого населения (5,2 млн) возможно 4 случая радиационно индуцированных фатальных онкологических заболевания (таблица 4).

TABLE 4

POTENTIAL NUMBER OF FATAL CANCERS ESTIMATION AMONG THE STUDIED POPULATION

ТАБЛИЦА 4

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЧИСЛА ФАТАЛЬНЫХ СЛУЧАЕВ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ У ИССЛЕДУЕМОГО НАСЕЛЕНИЯ

Age at death (years)	Mean body content (Bq <sup>90</sup> Sr)	Equivalent dose (μSv)		Effective dose (μSv)	Potential risk	
		Bone lining cells	Red bone marrow		Bone sarcomas	Myeloid leukemia
7–10	26±13	710±355	321±160	46±23	1	3
14–15	12±5	449±187	203±85	29±12		
18	17±5	387±114	175±51	25±7		
21–30	56±23	550±226	249–102	35±14		
31–55	22±13	213±125	96±55	14±8		
>56	8±4	80±40	36±18	5±3		

## CONCLUDING REMARKS

The results of <sup>90</sup>Sr measurements in human ribs and femurs in some Romanian districts did not allow univocal conclusions for different age groups to be drawn. The authors expect that continued measurements of <sup>90</sup>Sr in diet and human organism will lead to further improvements in consideration of the Chernobyl consequences.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты определения содержания <sup>90</sup>Sr в реберных и бедренных костях у лиц различных возрастных групп, проживающих в ряде районов Румынии, не однозначны. Дальнейшее изучение содержания <sup>90</sup>Sr, поступающего в организм человека с продуктами питания позволит получить новые данные о возможных последствиях Чернобыльской катастрофы.