

## EFFECTS OF PRENATAL BRAIN IRRADIATION AS A RESULT OF THE CHERNOBYL ACCIDENT

### ЭФФЕКТЫ ПРЕНАТАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ МОЗГА ВСЛЕДСТВИЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

Nyagu A.I.<sup>1</sup>, Loganovsky K.N.<sup>1</sup>, Pott-Born R.<sup>2</sup>, K.N Repin V. S.<sup>1</sup>, Nechayev S.Yu.<sup>1</sup>,  
Antipchuk Ye.Yu.<sup>1</sup>, Bomko M.A.<sup>1</sup>, Yuryev K.L.<sup>1</sup>, Petrova I.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Scientific Center for Radiation Medicine of AMS of Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Radiobiology, University of Munich, Germany

А.И. Нягу,<sup>1</sup> К.Н. Логановский<sup>1</sup>, Р. Потт-Борн<sup>2</sup>, В.С. Репин<sup>1</sup>, С.Ю. Нечаев<sup>1</sup>,  
Е.Ю. Антипчук<sup>1</sup>, М.А. Бомко<sup>1</sup>, К.Л. Юрьев<sup>1</sup>, И.В.Петрова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научный Центр Радиационной Медицины АМН Украины

E-mail: nyagu@vent.kiev.ua

<sup>2</sup>Институт радиобиологии Мюнхенского Университета, Мюнхен, Германия

#### Abstract

One of the grave consequences of the Chernobyl accident was the in utero irradiation of children. It was therefore important to study possible effects of prenatal irradiation resulted from the Chernobyl accident on neuro-mental health of the in utero irradiated children. A cohort of 154 children born between April 26<sup>th</sup>, 1986 and February 26<sup>th</sup>, 1987 to mothers who had been evacuated from Prypiat to Kiev, and 143 classmates from Kiev were examined. The Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC), the Achenbach and Rutter A(2) tests were used for the children. School performance was also assessed. Mothers were examined with the verbal subscale of the Wechsler Adults Intelligence Scale (WAIS), the Zung Self-Rating Depression Scale (SDS), PTSD scales (Impact of Events Scale and Irritability, Depression, Anxiety Scales) and the General Health Questionnaire (GHQ-28). Neuropsychiatric diseases were diagnosed according to ICD-10. Individual dose reconstruction of the children exposed in utero was carried out considering internal and external exposure. The ICRP Publication-88 was applied for calculation of effective fetal, brain and thyroid internal doses for children of both groups. The mean effective fetal equivalent doses (M±SD) in the exposed group is 65.4±33.9 mSv and in the control group 1.2±0.3 mSv. Prenatal equivalent brain doses were 19.2±11.3 mSv and 0.8±0.2 mSv for the exposed and control groups, respectively. Thyroid doses in utero were 760.4±631.8.1 mSv and 44.5±43.3 mSv for the exposed and control groups, correspondingly. There were 20 children from Pripyat town (13.2%) who had been exposed in utero in total doses >100 mSv and there were 52 children from Pripyat town (33.8%) who had been exposed in utero to thyroid doses >1 Sv. The prenatally exposed children show significantly more diseases of the nervous system and mental disorders. Significant differences on intelligence and emotional and behavioral disorders of exposed children in comparison to the control group were revealed. Exposed children showed lower full-scale IQ due to lower verbal IQ and therefore, an increased frequency of performance/verbal intelligence discrepancies. The exposed and evacuated mothers did not show differences in verbal abilities, but they have experienced much more real stress events and have more depression, PTSD, somatoform disorders, anxiety/insomnia, and social dysfunction than the control mothers from Kiev city. There is a correlation between mothers' mental health deterioration with a decrease of full scale IQ and performance IQ in children. Verbal IQ, however, does not correlate with mothers' mental health. Consequently, IQ discrepancies decrease in proportion to mothers' mental health of mothers and neuropsychiatric disorders in children. Among mothers of the exposed group of children with the neuropsychiatric disorders there are much more depression and somatization, as well as mental disorders. There is no direct dependence of the mentioned effects on radiation doses received in utero. However, when IQ discrepancies of the prenatally irradiated children exceeded 25 points, there appears to be a correlation with the fetal dose.

**Keywords:** Chernobyl accident, brain damage in utero, dosimetry, psychometry, neuropsychiatric and psychological disorders.

#### INTRODUCTION

Considerable strides have been made in the recent past in the knowledge and understanding of the effects of ionizing radiation on the developing brain (ICRP Publication 49, 1986). Studies on individuals who survived the atomic bombing of Hiroshima and Nagasaki and were exposed in utero confirm the vulnerability of the developing fetal

#### ВВЕДЕНИЕ

За последние годы были достигнуты значительные успехи в вопросах изучения и понимания эффектов воздействия ионизирующей радиации на развивающийся мозг (ICRP Publication 49, 1986). Исследования лиц, облученных in utero в результате атомной бомбардировки в Хиросиме и Нагасаки, подтвердили высокую уязвимость развивающегося

brain to radiation injury. Severe mental retardation, lowering of intelligence quotient (IQ) and worsening of school performance, or the occurrence of microcephalia and seizures, especially after exposure at 8-15 and 16-25 weeks after fertilization were revealed (ICRP Publication 49, 1986; Shull W.J, 1995; Otake M., Shull W.J, 1998). A recent reanalysis of the dosimetry data indicated that a dose threshold for mental retardation development after intrauterine irradiation at gestation terms of 8-15 weeks is 0.06-0.31 Gy and gestation terms of 16-25 weeks - 0.28-0.87 Gy (Otake et al, 1996). Extrapolation of the Japanese data to the situation after the Chernobyl nuclear power plant accident is limited, however. The Chernobyl accident caused significantly lower fetal doses, but high doses on the fetal thyroid by the incorporation of radioiodine. Analysis of study results in the three countries has shown the following (Souchkevitch, G.N., Tsyb, A.F. (Eds.), 1996): mild mental retardation frequency and occurrence of behavioral and emotional disorders of the children exposed in utero are higher as comparing with a control group, whereas the borderline nervous and psychological disorders are more frequent among the exposed mothers than among controls.

The recent studies results are interpreted in three different points of view: 1) absence of any neuropsychiatric effects in prenatally exposed children following the Chernobyl nuclear power plant accident (Bromet E.J. et al., 1998, 2000); 2) non-radiation (psychosocial) effects availability (Igumnov S., 1996; Kolominsky Y., et al. 1999); and 3) an complex impact of radiation and non-radiation factors (Bazyltchik S.V. et al., 2003; Gayduk F.M. et al., 1994; Ermolina L.A. et al., 1996, Nyagu A.I., 1998, 2002). It was shown also through the held studies results that serum level of pituitary thyroid-stimulating hormone (TSH) grows in parallel with an increase in fetal thyroid radiation dose value with the 0.3 Sv radiation dose threshold (Nyagu A.I. et al., 1992). These authors considered the radiation-induced malfunction of the pituitary-thyroid system as an important biological mechanism in genesis of neuromental disorders.

The presented study was aimed at defining possible correlation of mental health disorders of children exposed in utero with an irradiation dose as well as evaluation of other accidental factors in the etiology of revealed neuropsychiatric disorders. Following tasks were envisaged: reconstruction of individual doses for prenatally irradiated children and of a comparison group, psychometric characterization of the prenatally irradiated children and the comparison group, assessment of prevalence of neuropsychiatric disorders according to ICD-10 and especially the establishment of the intelligence quotient in the children irradiated in utero and the comparison group.

мозга плода при радиационном поражении. Были выявлены тяжелая умственная отсталость, снижение коэффициента интеллектуальности (IQ) и снижение успеваемости в школе, а также случаи микроцефалии и судорог, особенно при облучении на 8-15 и 16-25 неделях беременности (ICRP Publication 49, 1986; Shull W.J, 1995; Otake M., Shull W.J, 1998). Недавний пересмотр дозиметрических данных свидетельствует о том, что дозовый порог для развития умственной отсталости после внутриутробного облучения на 8-15 неделях беременности составляет 0,06-0,31 Гр, а на сроках гестации 16-25 недель - 0,28-0,87 Гр (Otake et al, 1996). Экстраполяция японских данных на последствия Чернобыльской аварии имеет ограничения. В последнем случае дозы облучения плода были значительно меньшими, а дозы облучения щитовидной железы in utero из-за инкорпорации радиоактивного йода - большими. Анализ результатов исследований, проведенных в трех странах показал (Souchkevitch, G.N., Tsyb, A.F. (Eds.), 1996): частота легкой умственной отсталости у пренатально облученных детей выше, чем в контрольной группе; имеется больше случаев эмоциональных и поведенческих расстройств; у облученных матерей обнаруживались чаще пограничные психические и психологические расстройства.

Результаты исследований, проведенных недавно интерпретируются с трех разных позиций: 1) отсутствие каких-либо нейропсихиатрических эффектов у детей, облученных пренатально вследствие Чернобыльской аварии (Bromet E.J. et al., 1998, 2000); 2) наличие нерадиационных (психологических) эффектов (Igumnov S., 1996; Kolominsky Y. et al., 1999); 3) значимость комплексного воздействия радиационных и нерадиационных факторов (Bazyltchik S.V. et al., 2003; Gayduk F.M. et al., 1994; Ermolina L.A. et al., 1996, Nyagu et al., 1998, 2002). Ранее было также показано, что уровень тиреотропного гормона (ТТГ) возрастает при увеличении дозы на щитовидную железу плода с 0,3 Зв (Nyagu A.I. et al., 1992). Эти авторы рассматривали радиационно-индуцированную недостаточность гипофизарно-тиреоидной системы как один из важных механизмов в генезе психоневрологических расстройств.

Данное исследование проводилось с целью выявления возможной зависимости нарушений психического здоровья детей, облученных in utero, от дозы облучения, а также оценки других факторов аварии в этиологии выявленных нервно-психических расстройств. Решались следующие задачи: реконструкция индивидуальных доз пренатально облученных детей и группы сравнения; психометрическая характеристика пренатально облученных детей и группы сравнения; оценка распространенности нейропсихиатрических расстройств, диагностированных согласно МКБ-10 у детей облученных in utero и группе контроля.

**MATERIALS AND METHODS**

The individual doses were reconstructed for 154 children under examination being born to the exposed mothers that were evacuated from Pripyat town, and for 143 children of the comparison group born to mothers from Kiev city in this time. ICRP Publication-88 ICRP, Publication 88 (2001) was used to reconstruct internal exposure doses; external exposure doses were calculated on the basis of questioning and of data on real radiation situation.

The main sources of irradiation of pregnant women were as follows: 1) external  $\gamma$ -irradiation of the whole body; 2) irradiation of thyroid by radioactive iodine isotopes; 3) internal irradiation by inhaled radionuclides; 4) internal irradiation with radioactively contaminated foods. The estimation of individual doses was carried out with use of a retrospective dosimetry method which was elaborated on the basis of measurements of dynamics of  $\gamma$ -dose rate (GDR) in permanent residence settlements, on ways of evacuation, at stages of evacuation, and at intermediate places of evacuation.

A fetus age was calculated with the modified formula being proposed by the American and Japanese scientists (Shull J.W. et.al., 1995) for calculating children's prenatal age after A-bombing in Hiroshima and Nagasaki.

Days of pregnancy (Y) = 280 - (date of birth - April 26th, 1986); Gestational weeks (G) = (Y - 14 days) / 7 days, where G was taken to be 0, if G < 0. To obtain the age after conception 14 days were subtracted from the term of gestation at the time of the Chernobyl accident (280 days).

The children who were in utero at the time of the Chernobyl accident (being born between April 26th, 1986 and February 26th, 1987) as well as their mothers who had been evacuated from Pripyat town to Kiev city. We examined 154 (84.6%) children (an acutely exposed group) from the subcohort of 182 prenatally irradiated children, whose mothers were evacuated from the town of Pripyat to Kiev city. A comparison group consisted of 143 sex- and age-matched children from Kiev city selected from the same school-class as the acutely exposed children.

We diagnosed neuropsychiatric diseases according to ICD-10 basing on clinical psychiatric and neurological examinations, psychometry, conventional and QEEG, with taking into account the results of profound standardized clinical, laboratory, and instrumental examinations.

Psychometric examination of mothers of children from both groups was carried out with use of questionnaires: to assess the mothers' verbal IQ - vocabulary subtest of the Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS) (Wechsler D., 1992); to estimate

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Были реконструированы индивидуальные дозы для 154 детей, рожденных от матерей эвакуированных из города Припяти после Чернобыльской аварии, и 143 детей контрольной группы, рожденных от матерей из города Киева в этот же период. Использовалась публикация МКРЗ-88 (ICRP Publication-88, 2001) при оценке доз внутреннего облучения; дозы внешнего облучения рассчитывались на основании анкетирования и данных о фактической радиационной обстановке.

Основными источниками облучения беременных женщин явились: 1) внешнее  $\gamma$  - облучение на все тело; 2) облучение щитовидной железы радиоактивными изотопами йода; 3) внутреннее облучение при вдыхании радионуклидов; 4) внутреннее облучение при употреблении радиоактивно загрязненных продуктов питания. Индивидуальные дозы оценивались методом ретроспективной дозиметрии на основе динамики формирования дозы гамма облучения (GDR) в населенных пунктах постоянного проживания, на путях эвакуации и местах проживания, в пунктах промежуточной эвакуации.

Возраст плода оценивался по модифицированной формуле, предложенной американскими и японскими учеными (Shull J.W. et. al., 1995) для определения пренатального возраста детей после атомной бомбардировки в Хиросиме и Нагасаки.

Дни беременности (Y) = 280 - (дата рождения - 26 апреля, 1986); гестационные недели (G) = (Y - 14 дней) / 7 дней, где G принимается за 0, если G < 0. Из средней продолжительности беременности (280 дней) вычиталось 14 дней для получения возраста после зачатия.

Были обследованы дети, которые на момент аварии были на этапе внутриутробного развития (рожденные между 26 апреля 1986 года и 26 февраля 1987 г.), а также их матери, эвакуированные из города Припять в город Киев. Обследовано 154 (84.6%) ребенка, составляющих группу остро облученных, из когорты 182 пренатально облученных детей, матери которых были эвакуированы из города Припять в город Киев. Группа сравнения состояла из 143 детей из города Киева, отобранных по возрасту и полу из того же школьного класса, что и группа облученных детей.

Мы диагностировали нервно-психические заболевания согласно МКБ-10 на основе психоневрологических и психометрических исследований, ЭЭГ и КЭЭГ, с учетом результатов углубленного стандартизированного клинического, лабораторного и инструментального исследований.

Для психометрического исследования матерей обеих групп использовались следующие вопросники: словарный субтест интеллектуальной шкалы Векслера для взрослых для определения вербального IQ матерей (Wechsler D., 1992); шкала самооценки депрес

unmasked depression level - Zung Self-Rating Depression Scale, SDS (Zung W.W.K., Wonnacott T.H., 1970). The questionnaires for assessment of post-traumatic stress disorder (PTSD) of a parent included the "Impact of Events Scale", IES (Horowitz M.J. et al., 1976) and the clinical scale for the self-assessment of agitation associated with PTSD - the "Irritability, Depression, Anxiety", IDA (Snaith et al., 1978). General Health Questionnaire (GHQ-28) was also used to assess psychopathology (Goldberg D., 1981) of a parent on base of self-estimation. Stress-events scale was adopted for pregnant mothers related to the Chernobyl accident.

The Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC) was applied as a clinical tool for assessing an intellectual ability of children aged from 6-16 years and 11 months including (Gilbukh Yu.Z et al., 1992) The Child Behavior Checklist (CBCL) by T. Achenbach for ages of 4-18 is intended to serve as one component of the multiaxial empirical basic assessment. It was used the Russian adaptation (Carter et al., 1995) of the CBCL questionnaire (Achenbach T.M., 1991). Rutter Scale A(2) was used for assessment of a child's problems associated with health, hyperactivity, behavioral and emotional disorders (Rutter M., and Hersov L., 1985). School performance was evaluated according to the school records data with use of 1-12-score scale. The performance indices of above-mentioned examinations have been put into the Excel database for all the examined children, which is exported to MS STATISTICA-5.0 and 6.0 for analysis.

**RESULTS**

Both groups of children are comparable by gender distribution. There are less children who were at the earliest prenatal development stage (0-7 weeks after conception) in the exposed group, that could possibly be explained with abortions and miscarriages due to the Chernobyl accident (table 1).

сии (Zung W.W.K., Wonnacott T.H., 1970,) для определения уровня немаскированной депрессии. Для оценки посттравматических стрессовых расстройств (PTSD) использовали "Шкалу воспоминаний о событиях Чернобыльской катастрофы" (Horowitz M.J. et al., 1976), а также клиническую шкалу возбуждения в связи с PTSD "Раздражительность, депрессия, тревожность" (Snaith et al., 1978). Вопросник общего здоровья (GHQ-28) использовался для определения психопатологии у родителей на основе самооценки (Goldberg D., 1981). Была использована шкала оценки психогенных стресс-факторов для беременных женщин на момент Чернобыльской аварии.

Шкала Векслера для измерения интеллекта детей (WISC) использовалась для определения умственных способностей детей в возрасте 6-16 лет и 11 месяцев включительно (Гильбух Ю.З. и соавт., 1992). Опросник Ахенбаха для родителей и детей (CBCL) использовался как один из компонентов мультиаксиальной эмпирической базовой оценки детей в возрасте 4-18 лет (Achenbach T.M., 1991, в русской адаптации (Carter et al., 1995). Шкала Раттера А(2) использовалась для оценки проблем ребенка, связанных со здоровьем, гиперактивностью, поведенческими и эмоциональными расстройствами (Rutter M., Hersov L., 1985). Школьная успеваемость оценивалась по школьным оценкам с использованием 1-12 бальной шкалы. В результате, создана база данных в формате Excel на всех обследованных детей и матерей, которая экспортирована в MS STATISTICA-5.0 и 6,0 для анализа.

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

Дети обеих групп не отличались по полу. В облученной группе было меньше детей, которые на момент аварии находились на самом раннем периоде пренатального развития (0-7 неделя гестации), что возможно объяснимо абортми и/или выкидышами вследствие Чернобыльской аварии (табл. 1).

DISTRIBUTION OF PERIODS OF CEREBROGENESIS for 26.04.1986  
 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ПЕРИОДАМ ЦЕРЕБРОГЕНЕЗА на 26.04.1986

Weeks of gestation	Exposed group from Pripjat town (n=154)	Comparison group from Kiev city (n=143)	$\chi^2$	P
0-7	19 (12.3%)	35 (24.5%)	7.3	<0.01
8-15	29 (18.8%)	28 (19.6%)	0.03	>0.05
16-25	48 (31.2%)	32 (22.4%)	2.9	>0.05
26+	58 (37.7%)	48 (33.5%)	0.5	>0.05

**Dosimetric results**

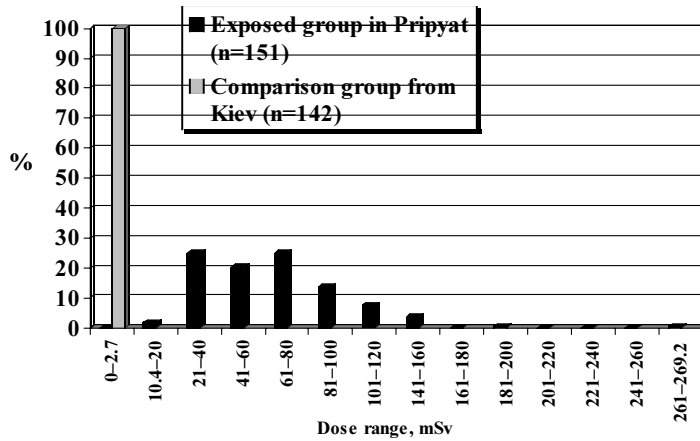
Irradiation doses on an embryo and fetus, brain and on thyroid in the group of exposed children were significantly higher than in the comparison group from Kiev (figure 1). The doses on fetal thyroid were particular high. There were 20 (13.2%) children from Pripjat who had been exposed in utero in dose of >100 mSv.

**Результаты дозиметрии**

Дозы облучения эмбриона и плода, мозга и щитовидной железы плода в основной группе были существенно выше, чем в группе сравнения (рис.1). Особенно высокими оказались дозы облучения щитовидной железы плода. В основной группе было 20 (13,2%) детей, которые были внутриутробно облучены в дозах более 100 мЗв.

FIGURE 1. DISTRIBUTION OF DOSES ON EMBRYO AND FETUS

РИСУНОК 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗ НА ЭМБРИОН И ПЛОД



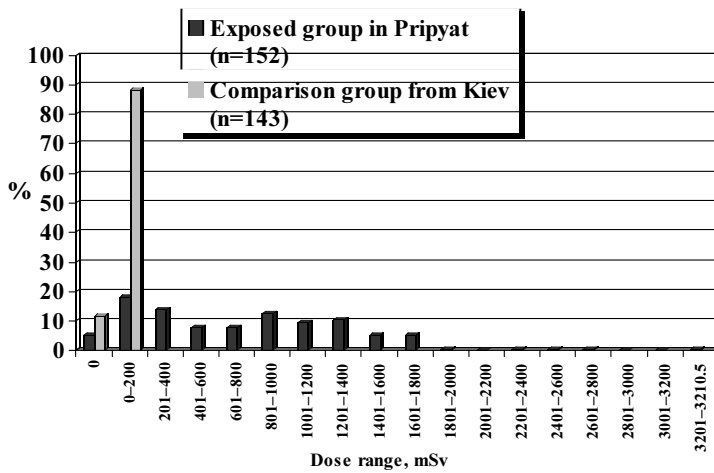
Exposed group:  $M \pm SD$  —  $65.4 \pm 33.9$  mSv, Median — 61.6 mSv  
 Comparison group —  $1.2 \pm 0.3$  mSv, Median — 1.2 mSv

There were also 51 children from Pripyat (33.8%) having thyroid doses in utero >1 Sv (figure 2).

У 51 (33,8%) ребенка из Припяти доза облучения щитовидной железы была более 1 Зв (рис. 2).

FIGURE 2. DISTRIBUTION OF DOSES ON THE FETAL THYROID

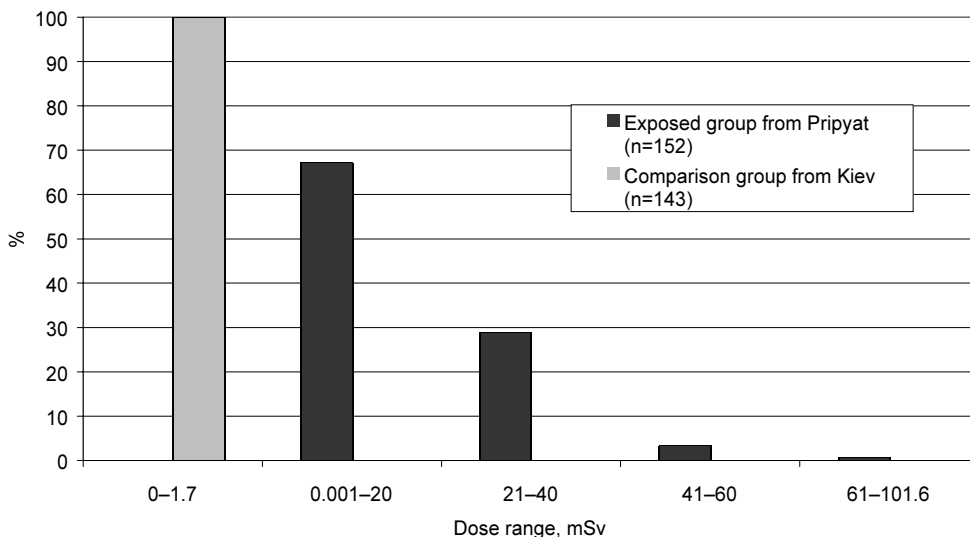
РИСУНОК 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗ НА ЩИТОВИДНУЮ ЖЕЛЕЗУ ПЛОДА



Exposed group ( $M \pm SD$ ) —  $760.4 \pm 631.8$  mSv, Median — 746.3 mSv  
 Comparison group —  $44.5 \pm 43.3$  mSv, Median — 27.4 mSv

FIGURE 3. DISTRIBUTION OF IN UTERO DOSES ON THE BRAIN

РИСУНОК 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗ ВНУТРИУТРОБНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МОЗГ ПЛОДА



According to the model of ICRP Publication-88 there is a strong influence of gestational age on thyroid radiation doses in utero: the later intrauterine period is at the time of exposure to ionizing radiation, the higher are the in utero thyroid doses (table 2).

В соответствии с моделью МКРЗ в Публикации 88, дозы облучения щитовидной железы находятся в строгой зависимости от гестационного возраста на момент облучения: чем продолжительнее внутриутробный период, тем больше поглощенная доза (табл. 2).

GEOMETRIC MEANS OF FETAL THYROID DOSES RELATED TO PERIODS OF CEREBROGENESIS (WEEKS OF GESTATION) ON 26.04.1986 (mSv)

TABLE 2

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ ДОЗ ПЛОДА НА ЩИТОВИДНУЮ ЖЕЛЕЗУ ОТНОСИТЕЛЬНО ПЕРИОДОВ ЦЕРЕБРОГЕНЕЗА (НЕДЕЛИ ГЕСТАЦИИ) НА 26.04.1986 (мЗв)

ТАБЛИЦА 2

Weeks of gestation	Exposed group from Pripjat town		Comparison group from Kiev city	
	(mSv)	(n=152)	(mSv)	(n=143)
0-7	0.39	19	0.02	35
8-15*	40.9	28	1.5	28
16-25*	623.7	47	46.1	32
26+	1225.5	58	94	48

**Estimation of results of children's intelligence examination.**

**Оценка результатов исследования интеллекта детей**

Many children with severe confounding risk factors are registered in both groups with the prevalence in the compare one (table 3).

Регистрировано много детей с отягчающими факторами риска в обеих группах с преобладанием в группе сравнения (табл. 3).

DISTRIBUTION OF CHILDREN WITH CONFOUNDING FACTORS

TABLE 3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕТЕЙ С ОТЯГОЩАЮЩИМИ ФАКТОРАМИ

ТАБЛИЦА 3

Confounding factor score	Exposed group from Pripjat town (n=151)	Comparison group from Kiev city (n=101)	$\chi^2$	p
0 (absent)	71 (47%)	42 (42%)	0.72	>0.05
1 (mild)	50 (33%)	35 (35%)	0.06	>0.05
2 (moderate)	15 (10%)	6 (6%)	1.26	>0.05
3 (severe)	11 (7%)	15 (15%)	3.74	<0.05
4 (very severe)	4 (3%)	3 (3%)	0.02	>0.05

Significant differences in the exposed children's intelligence indices are revealed (table 4) with full scale IQ value being lower; lower verbal IQ and higher IQ discrepancies due to verbal IQ deterioration.

Выявлены значительные отличия в показателях интеллекта детей облученной группы (табл. 4): более низкие общий и вербальный IQ, более высокая дисгармоничность интеллекта за счет снижения вербального IQ.

INTELLIGENCE INDICES OF ALL EXAMINED CHILDREN ACCORDING TO THE WECHSLER INTELLIGENCE SCALE FOR CHILDREN (WISC)

TABLE 4

ПОКАЗАТЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТА ВСЕХ ОБСЛЕДОВАННЫХ ДЕТЕЙ ПО ШКАЛЕ ВЕКслера ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТА ДЕТЕЙ (WISC)

ТАБЛИЦА 4

Index	Exposed group from Pripjat town (n=140)	Comparison group from Kiev city (n=136)	t	p
<i>Full scale IQ</i>				
M±SD	112.2±15.2	119.6±11.6	-4.5	<0.001
Median	112	120		
Min-Max	46-151	76-147		
<i>Verbal IQ</i>				
M±SD	106.6±14.3	117.2±13.1	-6.4	<0.001
Median	108	119		
Min-Max	56-144	85-144		
<i>Performance IQ</i>				
M±SD	116.1±16.9	118.5±10.8	-1.4	>0.05
Median	120	120		
Min-Max	44-153	71-140		
<i>IQ discrepancies (IQp-IQv)</i>				
M±SD	9.5±14.4	1.2±11.9	5.2	<0.001
Median	10	-0.5		
Min-Max	-29-(+54)	-22-(+33)		
<i>Paired t-test</i>	7.8	1.2		
<i>P</i>	<0.001	>0.05		

Intelligence of exposed children significantly differed from the control group by: an increased frequency of low IQ (IQ<90) (particularly, of verbal IQ) as well as an increased frequency of average IQ (IQ=91-110); a decreased frequency of high IQ (IQ=121-140); an increased frequency of borderline verbal IQ (vIQ=71-80) and average verbal IQ (vIQ=91-110); a decreased frequency of high verbal IQ (vIQ=121-140); an increased frequency of performance and verbal intelligence indices discrepancies. IQ discrepancies by more than 25 points were considered as possible brain damage

These data are in accordance to our earlier studies (IPHECA, 1996; Nyagu A.I. et al., 1996).

Nevertheless the same intelligence disorders were revealed among children of both groups without moderate to severe and very severe confounding factors (n=108 in the exposed group and n=73 in the control group (table 5).

Как видно, интеллект облученных детей значительно отличался от группы сравнения, а именно: увеличением частоты низкого IQ (IQ<90) (в частности, вербального IQ) и среднего IQ (IQ=91-110); снижением частоты высокого IQ (IQ=121-140); повышением частоты пограничного вербального IQ (vIQ=71-80) и вербального среднего IQ (vIQ=91-110); снижением высокого вербального IQ (vIQ=121-140); увеличением дисгармонии вербального и невербального коэффициентов интеллекта. Различия IQ более чем 25 пунктов оценивались как возможное проявление повреждения мозга.

Эти данные согласуются с нашими более ранними результатами (IPHECA, 1996; Nyagu A.I. et al., 1996).

Тем не менее, в группах детей без выраженных, тяжелых и очень тяжелых отягчающих факторов (108 из них в основной и 73 - в контрольной группе) были получены сходные результаты нарушений интеллекта (табл. 5).

TABLE 5  
INTELLIGENCE INDICES OF CHILDREN WITHOUT MODERATE TO VERY SEVERE CONFOUNDING FACTORS  
ТАБЛИЦА 5  
ПОКАЗАТЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТА ДЕТЕЙ БЕЗ ВЫРАЖЕННЫХ И ТЯЖЕЛЫХ ОТЯГЧАЮЩИХ ФАКТОРОВ

Index	Exposed group from Pripjat town (n=108)	Comparison group from Kiev city (n=73)	t	p
<i>Full scale IQ</i>				
M±SD	112.9±13.3	118.6±10.8	-3	<0.003
Median	112	120		
Min-Max	76-151	96-137		
<i>Verbal IQ</i>				
M±SD	106.7±13.2	115.8±13.2	-4.5	<0.001
Median	108	116		
Min-Max	70-143	85-138		
<i>Performance IQ</i>				
M±SD	117.2±15.2	118.7±9.6	-0.7	>0.05
Median	119	121		
Min-Max	74-153	97-140		
<i>IQ discrepancies IQp-Iqv</i>				
M±SD	10.4±14.7	2.9±12.5	3.6	<0.001
Median	10	3		
Min-Max	-29-(+54)	-22-(+33)		
Paired t-test	7.4	1.9		
p	<0.001	>0.05		

After having selected children with moderate to severe and very severe confounding factors, the exposed children's intelligence still differed significantly from the control group (table 6).

После выделения группы детей с тяжелыми факторами риска показатели интеллекта облученных детей также значимо отличались от контрольной группы (табл. 6).

INTELLIGENCE DISTRIBUTION IN CHILDREN WITHOUT MODERATE TO VERY SEVERE CONFOUNDING FACTORS

ТАБЛИЦА 6

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТА ДЕТЕЙ БЕЗ ВЫРАЖЕННЫХ И ТЯЖЕЛЫХ ОТЯГОЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ

IQ range	Exposed group in Pripyat town (n=108)	Comparison group from Kiev city (n=73)	$\chi^2$	p
<i>Full scale IQ</i>				
<70	0	0	—	—
70–80	2 (1.8%)	0	1.37	>0.05
81–90	1 (0.9%)	0	0.68	>0.05
91–110	42 (38.9%)	18 (24.7%)	3.98	<0.05
111–120	33 (30.6%)	19 (26%)	0.44	>0.05
121–140	29 (26.9%)	36 (49.3%)	9.6	<0.01
>140	1 (0.9%)	0	0.68	>0.05
<i>Verbal IQ</i>				
<70	1 (0.9%)	0	0.68	>0.05
70–80	3 (2.8%)	0	2.1	>0.05
81–90	8 (7.4%)	3 (4.1%)	0.83	>0.05
91–110	53 (49.1%)	17 (23.3%)	12.21	<0.001
111–120	30 (27.8%)	25 (34.2%)	0.86	>0.05
121–140	12 (11.1%)	28 (38.4%)	18.78	<0.001
>140	1 (0.9%)	0	0.68	>0.05
<i>Performance IQ</i>				
<70	0	0	—	—
70–80	1 (0.9%)	0	0.68	>0.05
81–90	3 (2.8%)	0	2.1	>0.05
91–110	30 (27.8%)	16 (21.9%)	0.79	>0.05
111–120	26 (24.1%)	20 (27.4%)	0.25	>0.05
121–140	42 (38.9%)	37 (50.7%)	2.46	>0.05
>140	6 (5.5%)	0	4.19	<0.05
<i>IQ discrepancies IQp–IQv</i>				
<–25	4 (3.7%)	0	2.76	>0.05
–25–(–15)	2 (1.8%)	5 (6.9%)	2.93	>0.05
–14–15	62 (57.4%)	55 (75.3%)	6.13	<0.01
16–25	23 (21.4%)	9 (12.3%)	2.41	>0.05
>25	17 (15.7%)	4 (5.5%)	4.47	<0.05

It is obvious that the exposed children have clearly lower verbal IQ: distribution starts earlier and does not meet the distribution of the compare children (figure 4).

Table 7 shows that verbal IQ of the exposed cohort of children is significantly lower in comparison to the control group, especially of those being exposed in the first gestation period. The least differences are observed in children of the gestation period 8-15 weeks.

С очевидностью также было прослежено, что в облученной группе ниже вербальный IQ: распределение начинается раньше, в то время как в контроле это не наблюдается (рис. 4).

В таблице 7 показано, что вербальный IQ в облученной когорте значительно ниже, в чем в группе сравнения, особенно у облученных в первом гестационном периоде. Минимальные отличия выявляются у детей во втором (8-15 недель) гестационном периоде.



INTELEIGENCE OF CHILDREN WITHOUT MODERATE TO VERY SEVERE CONFOUNDING FACTORS RELATED TO THE PERIODS OF CEREBROGENESIS AT 26.04.1986 (GESTATION PERIOD IN WEEKS)

ТАБЛИЦА 7

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТА ДЕТЕЙ БЕЗ ВЫРАЖЕННЫХ И ТЯЖЕЛЫХ ОТЯГОЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ПЕРИОДОВ ЦЕРЕБРОГЕНЕЗА ОТ 26.04.1986 (ГЕСТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД В НЕДЕЛЯХ)

Index	Exposed group from Pripyat (n=108) [M±SD]	Comparison group from Kiev (n=73) [M±SD]	t	p
<i>0-7 weeks</i>				
<i>n</i>	<i>14</i>	<i>17</i>		
Full scale	109.8±13.8	124.5±7.5	-3.8	<0.001
Verbal IQ	102.8±14.1	121.4±10.7	-4.2	<0.001
Performance IQ	115.4±13.9	123.5±12.6	-2.1	=0.048
IQ discrepancies: IQp-IQv	12.6±12.1	2.1±12.6	2.4	=0.025
<i>8-15 weeks</i>				
<i>n</i>	<i>24</i>	<i>13</i>		
Full scale	111.2±9.9	111.1±10.9	0.05	>0.05
Verbal IQ	104.3±10.7	105.7±12	-0.35	>0.05
Performance IQ	116.5±10.9	115.5±10	0.28	>0.05
IQ discrepancies: IQp-IQv	12.1±11.9	9.8±10.3	0.61	>0.05
<i>16-25 weeks</i>				
<i>n</i>	<i>26</i>	<i>21</i>		
Full scale	115.3±14.5	116.8±12.3	-0.4	>0.05
Verbal IQ	108.7±14	115.2±15.4	-1.5	>0.05
Performance IQ	120±16.4	117.4±9	-0.7	>0.05
IQ discrepancies: IQp-IQv	11.3±15	2.2±11.8	2.3	=0.027
<i>26+ weeks</i>				
<i>n</i>	<i>44</i>	<i>22</i>		
Full scale	113.4±14.1	120.1±8.6	-2.1	=0.04
Verbal IQ	108.2±13.5	118±10.2	-2.99	=0.004
Performance IQ	116.4±17.1	118±10.6	-0.4	>0.05
IQ discrepancies: IQp-IQv	8.3±16.7	0.04±13.5	2	=0.049

FIGURE 4. FRACTION OF EXPOSED AND COMPARE CHILDREN GROUP BELOW SPECIFIED IQ

РИСУНОК 4. УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ДЕТЕЙ ОСНОВНОЙ ГРУППЫ И ГРУППЫ СРАВНЕНИЯ С IQ НИЖЕ ОПРЕДЕЛЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ

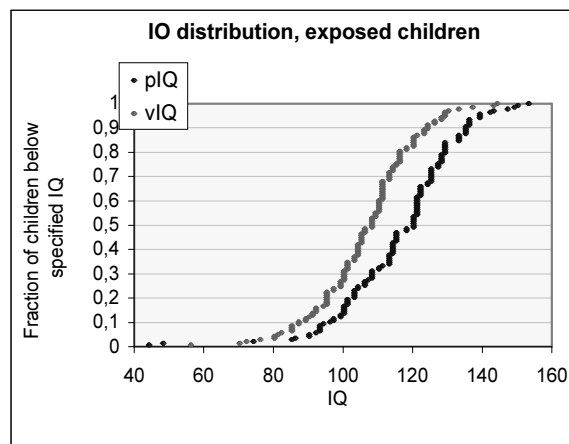
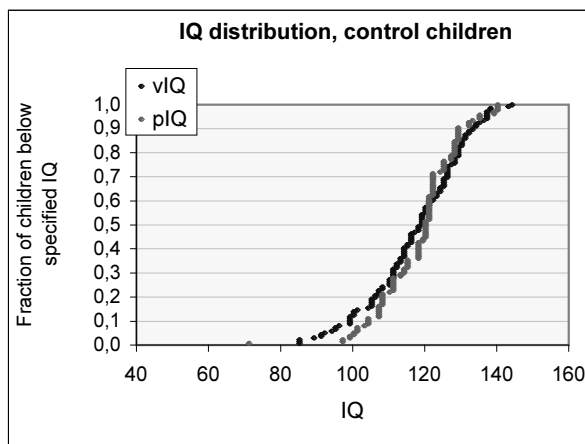
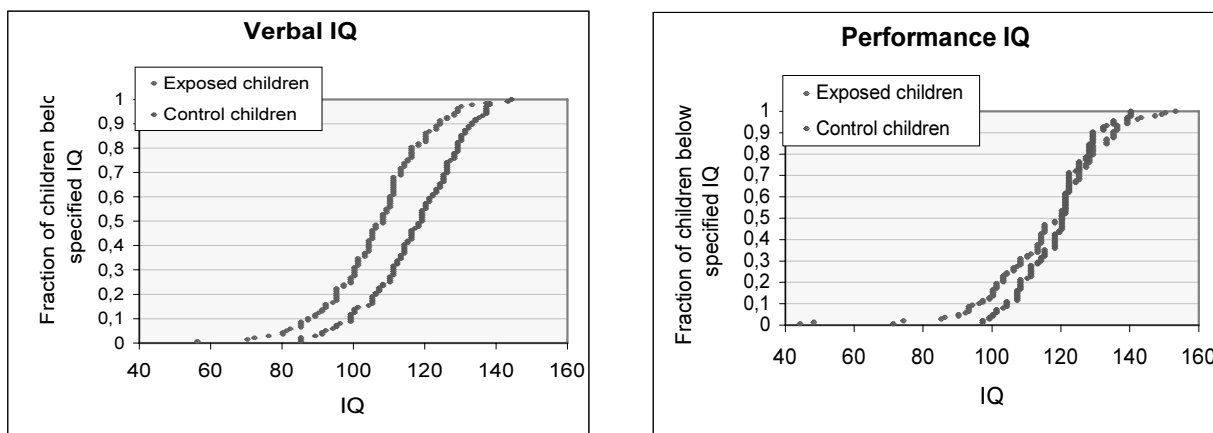


FIGURE 5. FRACTION OF EXPOSED AND CONTROL CHILDREN BELOW SPECIFIC IQ, DIFFERENTIATED BY VERBAL AND PERFORMANCE IQ

РИСУНОК 5. УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ДЕТЕЙ ОСНОВНОЙ ГРУППЫ И ГРУППЫ СРАВНЕНИЯ С ВЕРБАЛЬНЫМ И НЕВЕРБАЛЬНЫМ IQ НИЖЕ ОПРЕДЕЛЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ



AVERAGE SCHOOL PERFORMANCE INDICES OF THE EXAMINED CHILDREN FROM BOTH GROUPS  
 ТАБЛИЦА 8  
 СРЕДНИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ШКОЛЬНОЙ УСПЕВАЕМОСТИ ОБСЛЕДОВАННЫХ ДЕТЕЙ ИЗ ОБЕИХ ГРУПП

Subject	Exposed group from Pripjat town (n=27) [M±SD]	Comparison group from Kiev city (n=25) [M±SD]	t	P
Algebra	6.3±2.1	6.5±1.9	-0.4	>0.05
Geometry	6.3±2	6.3±1.7	0.007	>0.05
Geography	7.8±1.6	8.1±1.6	-0.6	>0.05
Physics	6.1±1.8	6.7±1.7	-1.3	>0.05
Chemistry	6.5±2.2	6.5±2	-0.1	>0.05
Information science	8.7±1.1	8.4±1.6	0.2	>0.05
Language Ukrainian	6.6±1.8	7.4±1.8	-1.6	>0.05
Literature Ukrainian	7.3±1.8	7.8±1.9	-1	>0.05
Language Russian	8±1	7.3±2.1	0.6	>0.05
Literature Russian	8.8±0.6	7.4±1.6	1.4	>0.05
Language Foreign	7.5±1.8	7.3±1.9	0.4	>0.05
Literature Foreign	6.9±2	7.2±2.2	-0.4	>0.05
History of Ukraine	7.4±1.8	6.9±1.8	1	>0.05
History of World	7.7±1.9	7.3±1.8	0.8	>0.05
Law	7.4±1.8	7.7±2	-0.5	>0.05

No differences concerning school performance of children from both groups are revealed (table 8).

Школьная успеваемость детей обеих групп статистически не различалась (табл. 8).

According to the Achenbach scale significant differences in emotional and behavioral spheres of the exposed children were revealed: somatic complaints and internalization (withdrawn, somatic complaints, and anxious/depression), and total problem scores (table 9)

По шкале Ахенбаха выявлены существенные отличия в эмоциональной и поведенческой сферах в группе облученных детей по следующим нарушениям: большая соматизация и интернализация (отчужденность, соматические жалобы, тревожность/депрессия), общая шкала проблем (табл. 9).

EMOTIONAL AND BEHAVIOURAL DISORDERS AMONG CHILDREN IRRADIATED IN UTERO ACCORDING TO ACHENBACH TEST WITHOUT MODERATE TO VERY SEVERE CONFOUNDING FACTORS

ТАБЛИЦА 9

ЭМОЦИОНАЛЬНЫЕ И ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РАССТРОЙСТВА ДЕТЕЙ ОБЛУЧЕННЫХ ВНУТРИУТРОБНО БЕЗ ВЫРАЖЕННЫХ И ТЯЖЕЛЫХ ОТЯГОЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ ПО ТЕСТУ АХЕНБАХА

Scale	Exposed group in Pripyat town (n=54) [T score, M±SD]	Comparison group from Kiev city (n=61) [T score, M±SD]	t	p
<i>The Child Behavior Checklist (CBCL)</i>				
<i>Competence scales</i>				
Activities	52.3±3.7	51.5±5.1	0.9	>0.05
Social	44.8±6.8	44.9±9	-0.1	>0.05
School	47±7.6	47±6.3	0.05	>0.05
Total competence score	50.5±7.3	51.2±10.3	-0.4	>0.05
<i>Syndrome scales</i>				
Withdrawn	61.2±7.7	56.5±7.2	3.3	=0.001
Somatic complaints	72.5±7.7	67.2±9.6	3.1	=0.002
Anxious/depressed	61.4±7.5	58.4±7.8	2.1	=0.04
Social problems	57.5±7.5	56.5±8	0.7	>0.05
Thought problems	56.7±7.2	54.6±7.9	1.5	>0.05
Attention problems	61±8.5	59.9±8.3	0.7	>0.05
Delinquent behavior	54.8±5.6	53.2±4.6	1.6	>0.05
Aggressive behavior	57.5±6.8	57.3±7.5	0.1	>0.05
Internalizing	67.7±7.7	61.3±10.5	3.7	<0.001
Externalizing	55.9±7.4	54.8±8.8	0.7	>0.05
Total problem score	63.8±7.4	59.7±9.9	2.4	=0.02
<i>The Youth Self-Report (YSR)</i>				
<i>Syndrome scales</i>				
Withdrawn	58.3±7	57.1±6.7	0.9	>0.05
Somatic complaints	63.2±8.7	59.1±8.9	2.5	=0.01
Anxious/depressed	59.3±6.9	57.6±6.9	1.3	>0.05
Social problems	58.9±7.1	56±6.4	2.3	=0.02
Thought problems	59.7±7.5	58.4±8.7	0.8	>0.05
Attention problems	63.1±7.8	59.6±7.6	2.4	=0.02
Delinquent behavior	57.6±5.9	55.8±6.5	1.6	>0.05
Aggressive behavior	59.8±6.9	58.2±7	1.2	>0.05
Internalizing	61.7±7.7	58±9.8	2.3	=0.02
Externalizing	59.2±7	55.6±10	2.2	=0.03
Total problem score	70.7±6.4	68.1±6.5	2.2	=0.03

No significant differences in emotional and behavioral disorders were revealed in groups due to Rutter A(2) scale.

### Mental health of mothers

There are no differences of verbal IQ of mothers in both groups, assessed by vocabulary subtest of WAIS. Thus, the deterioration of the verbal IQ of the exposed children cannot be explained with the influence of verbal IQ of their mothers. Although, there is a natural tendency of the verbal IQ of children in both groups to an increase with increased verbal subtest of WAIS of their mothers.

Verbal IQ of mothers from Pripyat town did not differ from verbal IQ of mothers of the control group. Thus, the hypothesis that decreased intelligence of the in utero exposed children results

По шкале Раттера не выявили статистических различий в группах в отношении эмоциональных и поведенческих расстройств.

### Психическое здоровье матерей

Согласно вербальному субтесту WAIS, различий вербального интеллекта у матерей обеих групп не выявлено. Так, ухудшение вербального IQ у облученных детей не зависит от вербального интеллекта их матерей. Однако, прослеживается естественная тенденция к сохранению зависимости вербального IQ детей обеих групп с уровнем вербального интеллекта их матерей по субтесту WAIS.

Вербальный интеллект матерей из города Припять не отличался от интеллекта матерей группы сравнения. Таким образом, гипотеза о роли более низкого интеллекта матери как причины снижения ин-

from lower mother's intelligence is not confirmed.

Mothers evacuated from Pripjat town have experienced much more real stress events: evacuation, lack of information about relatives, migration, difficulties of medical care, social-economic difficulties and others. Mental health of mothers from the main group appeared to be much worse than of those from the control group (table 10). The most characteristic psychopathologic manifestations were PTSD, including alarm caused by PTSD, somatophorm disorders, anxiety and insomnia, social dysfunction, depression, etc. As a whole, self-estimation of the exposed mothers' mental health according to the GHQ-28 questionnaire was significantly worse than in those of the control group.

теллекта внутриутробно облученных детей не получила подтверждения.

Матери, эвакуированные из города Припяти, подверглись значимо более выраженному воздействию реальных стресс-факторов - эвакуация, недостаточная информированность о родных и близких, миграция, проблемы медицинской помощи, социально-экономические трудности и др. Психическое здоровье матерей в основной группе оказалось значимо хуже, чем в группе сравнения (табл.10). Наиболее характерными психопатологическими проявлениями были PTSD, в том числе возбуждение в связи с PTSD, соматоформные расстройства, тревога и бессонница, социальная дисфункция, депрессия и др. В целом, самооценка психического здоровья по вопроснику GHQ-28 у матерей из города Припяти была значимо хуже, чем в контроле.

TABLE 10

## MOTHERS' MENTAL HEALTH

ТАБЛИЦА 10

## ПСИХИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ МАТЕРЕЙ

Scale	Exposed group in Pripjat town [M±SD]	Comparison group from Kiev city [M±SD]	t	p
Zung Self-Rating Depression Scale (SDS)	n=112 54.6±10.8	n=74 47.7±12.7	4	<0.001
Impact of Events Scale (PTSD)	n=124 19.7±10.6	n=71 12.5±10	4.6	<0.001
Irritability, Depression, Anxiety Scale (IDA)	n=112 4.8±2.7	n=69 3.8±2.8	2.3	=0.02
GHQ-28A (somatoform disorders)	n=134 10±4.6	n=80 7.3±3.9	4.3	<0.001
GHQ-28B (anxiety/ insomnia)	n=134 8±5.1	n=80 5.5±4.3	3.7	<0.001
GHQ-28C (social dysfunction)	n=134 8.5±3.2	n=80 7.6±3.1	2.1	=0.04
GHQ-28D (severe depression)	n=134 4.3±4.2	n=80 2.9±3.2	2.5	=0.01
GHQ-28 (by Likert: 0-1-2-3)	n=134 30.6±14.1	n=80 23.2±10.9	4	<0.001
GHQ-28 (case-no case: 0-0-1-1)	n=134 8.3±6.9	n=80 5.1±5.1	3.6	<0.001

According to ICD-10 prenatally exposed children had much more diseases of the nervous system, mental and behavioural disorders than the children of the comparison group (table 11).

Одновременно, согласно МКБ-10, у пренатально облученных детей выявлено больше заболеваний нервной системы, психических и поведенческих расстройств, чем в группе сравнения (табл. 11).

TABLE 11  
DISEASES OF NERVOUS SYSTEM (G) AND MENTAL AND BEHAVIOURAL DISORDERS (F) ACCORDING TO THE ICD-10 IN CHILDREN  
WITHOUT MODERATE TO VERY SEVERE CONFOUNDING FACTORS

ТАБЛИЦА 11

БОЛЕЗНИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ (G) И ПСИХИЧЕСКИЕ И ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РАССТРОЙСТВА (F) ПО МКБ-10 У ДЕТЕЙ БЕЗ ВЫРАЖЕННЫХ И ТЯЖЕЛЫХ ОТЯГОЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ

Disease or disorder	Exposed children (n=121)	Control children (n=77)	$\chi^2$	p
<i>Diseases of Nervous System</i>				
Neurologically healthy	73 (60.3%)	66 (85.7%)	14.5	<0.001
Epilepsy (G40) ( mutual suspicion )	9 (7.4%)	1 (1.3%)	3.7	<0.05
Migraine (G43)	3 (2.5%)	0	1.9	>0.05
Other headache syndromes (G44)	31 (25.6%)	10 (13%)	4.6	<0.05
Sleep disorders (G47)	4 (3.3%)	0	2.6	>0.05
Other disorders of autonomous nervous system (G90)	3 (2.5%)	0	1.9	>0.05
Neurological co morbidity	2 (1.6%)	0	1.3	>0.05
<i>Mental and Behavioral Disorder</i>				
Mentally healthy	19 (15.7%)	45 (58.4%)	39.3	<0.001
Organic mental disorders (F06 & F07)	20 (16.5%)	3 (3.9%)	7.3	<0.01
Neurotic, stress-related and somatoform disorders (F40–F48)	56 (46.3%)	20 (26%)	8.2	<0.01
Non-organic sleep disorders (F51)	6 (4.9%)	3 (3.9%)	0.12	>0.05
Mental retardation (F70)	1 (0.8%)	0	0.64	>0.05
Disorders of psychological development (F80–F89)	9 (7.4%)	0	6	<0.05
Childhood behavioral and emotional disorders (F90–F98)	31 (25.6%)	9 (11.7%)	5.7	<0.05
Mental co morbidity	21 (17.2%)	3 (3.9%)	8	<0.01

### Correlations with exposure doses.

There is no dependence of the IQ deterioration and mental health disorders of the in utero exposed children with radiation dose (Table 12).

### Корреляции с дозами облучения.

Не выявлена зависимость между снижением IQ и психическими нарушениями у облученных in utero детей и дозой облучения (Табл.12).

TABLE 12  
CORRELATIONS BETWEEN IQ AND PRENATAL DOSE OF THE EXPOSED GROUP

ТАБЛИЦА 12

КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ IQ И ПРЕНАТАЛЬНОЙ ДОЗОЙ В ГРУППЕ ОБЛУЧЕННЫХ

ТАБЛИЦА 12

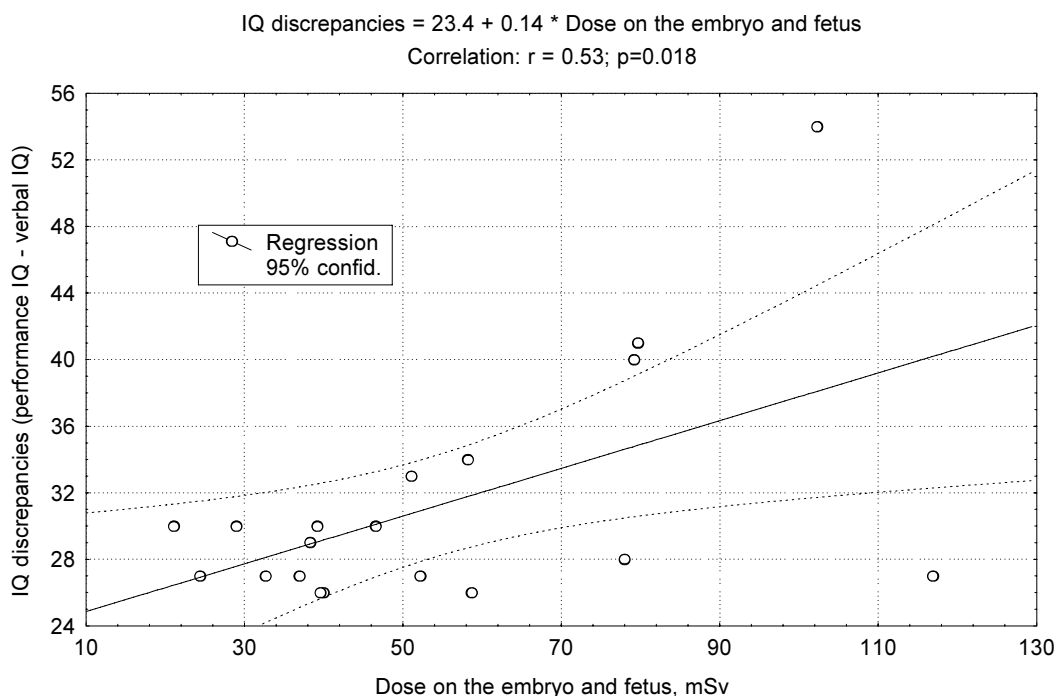
Variable	IQ	vIQ	pIQ	pIQ—vIQ
Dose <i>in utero</i> on brain	r = 0.06 p>0.05	r =0.13 p>0.05	r = -0.01 p>0.05	r = -0.15 p>0.05
Dose <i>in utero</i> on embryo and fetus	r = 0.11 p>0.05	r = 0.15 p>0.05	r = 0.05 p>0.05	r = -0.09 P>0.05
Dose <i>in utero</i> on thyroid	r = 0.11 p>0.05	r = 0.14 p>0.05	r = 0.06 p>0.05	r = -0.06 p>0.05

The power of correlation between the intelligence discrepancy >25 with fetal radiation doses by the model of ICRP Publication-88 (figure 6) is increasing with increasing discrepancy. At pIQ-vIQ>27 (n=11), correlation with a fetal dose r=0.78; p<0.004; at pIQ-vIQ>29 (n=9), correlation with a fetal dose r=0.93; p<0.001 and correlation with the in utero thyroid dose is r=0.75; p<0.02 (n=9).

Корреляционная связь дисгармоничности интеллекта >25 пунктов с фетальной дозой по модели МКРЗ Публикация-88 (рис. 6) возрастает с увеличением дисгармонии: при pIQ-vIQ>27 (n=11) корреляция с фетальной дозой r=0,78; p<0,004; при pIQ- vIQ>29 (n=9) корреляция с фетальной дозой r=0,93; p<0,001 и корреляция с дозой на щитовидную железу in utero r=0,75; p<0,02 (n=9).

FIGURE 6. IQ DISCREPANCY DEPENDENCE (> 25 POINTS) ON DOSE ON EMBRYO AND FETUS (PUBLICATION ICRP 88)

РИСУНОК 6. ЗАВИСИМОСТЬ ДИСГАРМОНИЧНОСТИ IQ (>25 ПУНКТОВ) ОТ ДОЗЫ НА ЭМБРИОН И ПЛОД (ПУБЛИКАЦИЯ МКРЗ 88)



There is no correlation with dose observed below the discrepancy of 25.

Корреляция с дозой не прослеживается при дисгармоничности интеллекта менее 25.

### CONCLUSIONS

1. Doses in utero on embryo, fetus, brain, and on thyroid of the exposed children group from Pripjat town are significantly higher than in the comparison children group from Kiev city. The fetal dose (M±SD) in the exposed group is 65.4±33.9 mSv and in the control group 1.2±0.3 mSv; equivalent brain doses in utero were 19.2±11.3 mSv vs 0.8±0.2 mSv and equivalent thyroid doses in utero 760.4±631.8.1 mSv vs. 44.5±43.3 mSv correspondingly. The 20 children from Pripjat town (13.2%) obtained an exposure dose in utero >100 mSv - the threshold for medical abortion due to prenatal irradiation (ICRP Publication-84, 2000). Especially high are the doses on the fetal thyroid. There are 52 children from Pripjat (33.8%) with thyroid doses in utero >1 Sv.

2. Significant Intelligence Quotient differences were revealed in exposed children: lower full-scale IQ (p<0.001) and lower verbal IQ (p<0.001), while performance IQ was defined being insignificant (p>0.05). Higher IQ discrepancies exposed children owing to verbal IQ deterioration were significant (p<0.001).

3. Due to Achenbach test results, children of main group certainly more emotional and beha-

### ВЫВОДЫ

1. Дозы in utero на эмбрион, плод, мозг и на щитовидную железу у детей облученной группы из города Припять значительно выше, чем у детей группы сравнения из города Киева. Дозы на плод (M±SD) в облученной группе составляют 65.4±33.9 mSv, а в группе контроля - 1.2±0.3 mSv; эквивалентная доза на мозг плода составила 19.2±11.3 mSv в основной группе и 0.8±0.2 mSv в контроле и эквивалентная доза щитовидной железы плода равнялась 760.4±631.8.1 mSv в основной группе и 44.5±43.3 mSv в контроле соответственно. У 20 детей из г. Припяти (13,2%) доза внутриутробного облучения составляла >100 mSv - порог для медицинского прерывания беременности после облучения (МКРЗ Публикация, 84, 2000). Особенно большими были дозы на щитовидную железу плода. У 52 ребенка из г. Припяти (33,8%) доза облучения щитовидной железы плода in utero >1 Sv.

2. Коэффициент интеллекта облученных детей значительно отличался от контроля: ниже полная шкала интеллекта (IQ) (p<0,001), ниже вербальный IQ (p<0,001), в то время как невербальный интеллект не отличался (p>0,05). Высоко значимой (p<0,001) является дисгармоничность интеллекта облученных детей за счет снижения вербального IQ.

3. По результатам вопросника Ахенбаха, дети основной группы отличались более выраженными

vioral disorders by following categories: more somatization ( $p < 0.01$ ), internalization ( $p < 0.01$ ), and withdrawn ( $p = 0.01$ ). They also had more somatic complaints ( $p < 0.01$ ).

4. Children exposed to ionizing radiation in prenatal period were diagnosed with much more ( $p < 0.001$ ) diseases of nervous system (G) according to the ICD-10: paroxysmal states (G40) ( $p < 0.05$ ), migraine (G43) ( $p < 0.05$ ), other headache syndromes (G44) ( $p < 0.05$ ), autonomous nervous system disorders (G90) ( $p < 0.05$ ).

5. In general mental health of prenatally exposed children was worse ( $p < 0.001$ ) than of the control. We revealed the following mental and behavioral disorders (F) according to the ICD-10: organic mental disorders (F06&F07) ( $p < 0.01$ ), neurotic stress-related and somatoform disorders (F40-F48) ( $p < 0.01$ ), disorders of psychological development (F80-F89) ( $p < 0.05$ ), childhood behavioral and emotional disorders (F90-98) ( $p < 0.05$ ).

6. According to WAIS vocabulary subtest there were revealed no significant differences in intellectual level of mothers from both groups. Therefore, we excluded direct dependence of intelligence level of a child upon intelligence level of a mother. However, there is a correlation between mothers' verbal intelligence level and children's intelligence level. Mothers of children evacuated from Pripyat town experienced in much more ( $p < 0.001$ ) real stress events (evacuation, lack of information about relatives, migration, difficulties of medical care, social-economic problems, etc.).

7. Mental health problems of mothers of children evacuated from Pripyat appeared to be much more pronounced than of those from the comparison group: depression ( $p < 0.001$ ), PTSD ( $p < 0.001$ ), somatoform disorders ( $p < 0.001$ ), anxiety/insomnia ( $p < 0.001$ ), social dysfunction ( $p < 0.04$ ), severe depression ( $p < 0.01$ ).

8. We have revealed no direct correlations of the registered effects with exposure doses in utero. It could be because of the small sample size that did not allow conclusions. Nevertheless, dose dependences are traced in cases, when IQ discrepancies of prenatally irradiated children exceed 25 points.

9. Therefore, it is obvious that mental health and intellectual development of the children exposed in utero are under the influence of a complexity of factors: intellectual development and mental health of their mothers, stress events related to the accident at the Chernobyl NPP, usual risk factors and within limits prenatal irradiation of fetus.

10. This study should be continued as follows:

- enlarging of the cohort size;
- further identification and formation of cohorts

эмоциональными и поведенческими нарушениями: большей соматизацией ( $p < 0,01$ ), интернализацией ( $p < 0,01$ ), отчужденностью ( $p = 0,01$ ), а также имели больше соматических жалоб ( $p < 0,01$ ).

4. В группе пренатально облученных детей было диагностировано (по МКБ-10) значительно больше болезней нервной системы (G), чем в контроле: пароксизмальные состояния (G40) ( $p < 0,05$ ), мигрень (G43) ( $p < 0,05$ ), другие синдромы головной боли (G44) ( $p < 0,05$ ), расстройства вегетативной нервной системы (G90) ( $p < 0,05$ ).

5. Психическое здоровье пренатально облученных детей в целом было хуже ( $p < 0,001$ ), чем в контроле. Были выявлены следующие психические и поведенческие расстройства (F): органические психические расстройства (F06&F07) ( $p < 0,01$ ), невротические, связанные со стрессом и соматоформные расстройства (F40-48) ( $p < 0,01$ ), расстройства психологического развития (F80-89) ( $p < 0,05$ ), детские поведенческие и эмоциональные расстройства (F90-98) ( $p < 0,05$ ).

6. По словарному субтесту WAIS значительных отличий в уровнях интеллекта матерей обеих групп не выявлено, что дало основания исключить прямую зависимость уровня интеллекта ребенка от уровня интеллекта матери. Однако между уровнем вербального интеллекта матери и уровнем интеллекта ребенка прослеживается зависимость. Матери детей, эвакуированных из Припяти, подверглись значимо более выраженному ( $p < 0,001$ ) воздействию реальных стресс-факторов (эвакуация, недостаточная информированность о родных и близких, трудности медицинской помощи, социально-экономические проблемы и др.).

7. Зарегистрировано значительно больше нарушений психического здоровья у матерей, эвакуированных из г. Припяти, чем у матерей из группы сравнения, а именно: депрессий ( $p < 0,001$ ), PTSD ( $p < 0,001$ ), соматоформных расстройств ( $p < 0,001$ ), тревожности/бессонницы ( $p < 0,001$ ), социальной дисфункции ( $p < 0,04$ ), тяжелой депрессии ( $p < 0,01$ ).

8. Не обнаружена прямая зависимость зарегистрированных изменений интеллекта от пренатальных доз облучения. Возможно, это объясняется малым количеством исследуемых. Тем не менее, в случаях с дисгармоничностью интеллекта более 25 пунктов корреляция с дозой прослеживается.

9. Таким образом, очевидно, что на психическое здоровье и интеллектуальное развитие внутриутробно облученных детей оказывает влияние комплекс факторов: интеллектуальное развитие и психическое здоровье матерей: стресс события связанные с аварией на Чернобыльской АЭС, традиционные факторы риска, и, в определенной степени фактор внутриутробного облучения плода

10. Это исследование следует продолжать в следующих направлениях:

of children irradiated in utero and children exposed at the age of 0-1 years old;  
 - identification and formation of cohorts of age-, gender- and urban/rural-matched children from radioactively "clean" areas of Ukraine;  
 - to verify and develop of available dosimetric models.

This approach may allow identifying the significance of radiation factor in the genesis of psychological and neuropsychiatric disorders among the exposed children.

- увеличение размера когорт обследованных за счет детей облученных in utero и детей, облученных в возрасте до года;  
 - идентификация и формирование когорт детей из относительно чистых территорий Украины по возрасту, полу и типу места проживания;  
 - верификация и усовершенствование доступных на сегодняшний день дозиметрических моделей.

Этот подход позволит в будущем очертить значимость радиационного фактора в генезе психологических и психоневрологических расстройств у облученных детей.

## REFERENCES

*Achenbach T.M.* Manual for the CBCL/4-18 and 1991 Profile. 1991, Burlington, VT: University, Department of Psychiatry.  
*Bazylytchik S.V., Drozd V.M., Reiners Chr., Gavrilin Yu.* Intellectual development of children exposed to radioactive iodine after the Chernobyl accident in utero and at the age under 1.5 years. In: J. Rad. Med., 2003; Special Issue 5 (1-2): 151-154.  
*Bromet E.J., Goldgaber D., G Carlson., Panina N., Golovakha E., Gluzman S., Gilbert T., Gluzman D., Lyubsky S., Schwartz J.E.* Children's well-being 11 years after the Chornobyl catastrophe. *Archive of General Psychiatry*, 2000, 57: 563-571.  
*Carter A.S., Grigorenko B.L., Pauls D.L.* (1995). A Russian adaptation of the child Behavior checklist : Psychometric properties and association with child and maternal affective symptomatology and family functioning. *Journal of abnormal Child Psychology*, 23, 661-684.  
*Ermolina L.A., Sukhotina N.K., Sosyukalo O.D., Kashnikova A.A. Tatarova I.N.* The effects of low radiation doses on children's mental health (radiation-ontogenetic aspect). Report 2. Social and Clinical Psychiatry (in Russian), 1996; 6 (3), 5-13.  
*Gayduk F.M., Igumnov S.A., Shalckevich V.B.* The complex estimation of neuro-psychic development of children undergone to radiation exposure in prenatal period as a result of Chernobyl disaster. *Social and Clinical Psychiatry (in Russian)*, 1994; 4 (1), 44-49.  
*Gilbukh Yu.Z. (Ed.)* Measurement of intelligence of children: Manual for practical psychologists. Part 1. Human intelligence and its measurement: Theory and practice (in Russian). 1992, Kiev: Research Institute of Psychology, APS of Ukraine.  
*Goldberg D.* The General Health Questionnaire: GHQ-28. 1981, London: NFER-Nelson.  
*Horowitz M.J.* Stress Response Syndromes. 1976, New York: Jason Aronson.  
*ICRP Publication 49.* Developmental effects of irradiation on the brain of the embryo and fetus. A report of a Task Group of Committee 1 of the

International Commission on Radiological Protection, 1986. In M.C. Thorne (Ed.). *Annals of the ICRP*, 1986; 16 (4). Oxford: Pergamon Press.  
*ICRP Publication 88.* Doses to the embryo fetus from intake radionuclides by the mother. In: *Annals of the ICRP*, 2001; Vol. 31 (1-3). Amsterdam: Elsevier (Pergamon), 518 p.  
*Igumnov S., A. (1996)* Psychological development of children exposed to radiatiation in prenatal period as a result of the Ctrnobyl disaster. *The Acta Medicf Nagasakiensia*, 41(3-4), 20-25.  
*Kolominsky Y., Igumnov S., Drozdovitch V.,* The psychological development of children from Belarus exposed in the prenatal period to radiation from the Chernobyl Atomic Power Plant. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 1999, 40 (2): 299-305.  
*Nyagu A.I., Cheban A.K., Salamatov V.A., Litmanskaja G.F., Yazchenko A.G., Zvonaryeva G.N., Yakimenko G.D., Melina K.V., Plachinda Yu.I., Chumak A.A., Bazyka D.A., Gulko G.M., Chumak V.V., Volodina I.A.* Psychosomatic health of children irradiated in utero as a result of the Chernobyl accident. In: (Ed.) Nyagu A.I. *Proceedings of the International Conference "Social, Psychological, and Psychoneurological Aspects of Chernobyl NPP Accident Consequences"* (in Russian), Kiev, 1992; 265-270.  
*Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Loganovskaja T.K.* Psychophysiologic aftereffects of prenatal irradiation. *International Journal of Psychophysiology*, 1998, 30 (3): 303-311.  
*Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Loganovskaja T.K., Repin V.S., Nechaev S.Yu.* Intelligence and brain damage in children acutely irradiated in utero as a result of the Chernobyl accident. In: T. Imanaka (Ed.) *KURRI-KR-79. - Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia.* Kyoto: Research Reactor Institute, Kyoto University, 2002, 202-230.  
*Otake M., Schull W.J., Lee S.* (1996) Threshold for radiation -related severe mental retardation in prenatally exposed A-bomb survivors: a re-analysis. *International Journal of Radiation Biology.* In utero exposure to A-bomb radiation and mental retardation: A reassessment. *British Journal of Radiology*, 1984; 57, 409-414.



- Rutter M., Hersov L.* Child and Adolescent Psychiatry. Modern approaches. 2nd ed. 1985, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Schull J. W.* Effects of atomic radiation. A half-century of studies from Hiroshima and Nagasaki. Wiley-Liss (Eds). New-York. 1995, 396 p.
- Souchkevitch G.N., Tsyb A.F. (Eds.)* Health Consequences of the Chernobyl Accident. Results of the IPHECA Pilot Projects and Related National Programmes. Scientific Report. 1996, Geneva: World Health Organization.
- Wechsler D.* Manual for the Wechsler Intelligence Scale for Children - Third Edition UK. 1992, London: The Psychological Corporation, Harcourt Brace Jovanovich, Publishers.
- Zung, W.W.K., Wonnacott T.H.* Treatment prediction in depression using a self-rating scale. *Biological Psychiatry*, 1970; 2: 321-329.