

УДК 575:576.316:612.6.052.4/539.12.04.57

Л. К. Бездробна¹✉, Л. В. Тарасенко¹, Т. В. Циганок¹, Т. В. Мельник¹, Ю. О. Носач¹,
В. О. Сушко², С. Ю. Нечаєв², Л. І. Швайко²

¹Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України, пр-т Науки 47, м. Київ, 03680, Україна

²Державна установа “Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України”, вул. Мельникова 53, м. Київ, 04050, Україна

ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ В ЛІМФОЦИТАХ КРОВІ ГРУПИ ОСІБ ІЗ ПЕРСОНАЛУ, ЯКИЙ ВИКОНУЄ РОБОТИ З БУДІВНИЦТВА НОВОГО КОНФАЙНМЕНТУ В ЗОНІ ЧАЕС

Мета: цитогенетична індикація можливого опромінення осіб групи підрядного персоналу, який виконував роботи з демонтажу вентиляційної труби об'єкту “Укриття” ДСП ЧАЕС (ОУ).

Матеріали і методи. Проведено цитогенетичне обстеження 12 осіб з числа робітників підрядних організацій, які виконували роботи з демонтажу вентиляційної труби ОУ. Для порівняння обстежені особи, які не мали контактів з радіаційними чинниками під час професійної діяльності. Використано рутинний метод аналізу рівномірно забарвлених хромосом лімфоцитів периферійної крові. Проаналізовано 11 388 метафазних пластинок.

Результати. У підрядного персоналу середньогрупова частота аберантних лімфоцитів та аберацій хромосомного (дицентрики, ацентрики, атипові моноцентрики) і хроматидного типів вірогідно перевищує відповідну частоту в групі порівняння. У трьох осіб персоналу індивідуальна частота специфічних маркерів опромінення – дицентричних хромосом із супровідними фрагментами вірогідно перевищує їх середньопопуляційний рівень і середню частоту в групі порівняння, що свідчить про ймовірність їх наднормативного опромінення при виконанні робіт у локальній зоні ЧАЕС. У персоналу зареєстровано клітини з двома хромосомними обмінами і одну мультиаберантну клітину за відсутності таких у контрольних осіб. Розраховані орієнтовні дози опромінення двох осіб персоналу становили 87–123 мГр і однієї особи – 210–240 мГр гострого опромінення.

Висновок. Розраховані за частотою дицентричних хромосом орієнтовні “біологічні” дози опромінення трьох осіб персоналу свідчать про більш значну дію на них радіаційних чинників, ніж це виходить з даних фізичної дозиметрії.

Ключові слова: об'єкт “Укриття”, іонізуюча радіація, персонал, аберації хромосом, лімфоцити.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2014. Вип. 19. С. 203–212.

L. K. Bezdrobna¹✉, L. V. Tarasenko¹, T. V. Tsyganok¹, T. V. Melnyk¹, Yu. O. Nosach¹, V. O. Sushko²,
S. Yu. Nechayv², L. I. Shvayko²

¹Institute for Nuclear Researches National Academy of Sciences of Ukraine, Nauky prospect, 47, Kyiv, 03680, Ukraine

²State Institution “National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine”, Melnykov str., 53, Kyiv, 04050, Ukraine

Cytogenetic indices in blood lymphocytes of individuals from the staff working on new confinement building in Chernobyl NPP zone

Objective. Cytogenetic indication of possible exposure of contracting staff individuals, performing work on dismantling the ventilation pipe of “Shelter” object of Chernobyl NPP (Sh0).

✉ Бездробна Лариса Костянтинівна, e-mail: lbezdrob@ukr.net

Materials and methods. Cytogenetic examination of 12 individuals among the employees of contractors performing work on dismantling the ventilation pipe of ShO was provided. For comparison individuals who had no contact with the radiation factors for the profession activity were examined. Routine analysis method of uniformly stained chromosomes of peripheral blood lymphocytes was used. 11 388 metaphase plates were analyzed.

Results. In contracting staff mean group frequency of aberrant lymphocytes, chromosome (dicentric, acentric, abnormal monocentric) and chromatid type aberrations is significantly higher than such frequency in the comparison group. Three staff persons had individual frequency of specific markers of exposure – dicentric chromosomes with accompanying fragments significantly higher than their mean population level and the average frequency in the comparison group. It indicates the probability of their excess radiation when working in Chernobyl NPP local zone. Cells with two chromosome exchanges and one multiaberrant cell were registered in staff with the absence of such in control persons. The calculated estimated radiation doses of two staff persons were 87–123 mGy and one person 210–240 mGy of acute exposure respectively.

Conclusion. Calculated by frequency of dicentric chromosomes tentative "biological" doses of three staff persons show a more significant radiation effect comparing to the data of physical dosimetry.

Key words: "Shelter" object, ionizing radiation, staff, chromosomes aberrations, lymphocytes.

Problems of radiation medicine and radiobiology. 2014;19:203-212.

При професійній діяльності в особливо небезпечних радіаційно-гігієнічних умовах у деяких випадках недостатньо проведення контролю доз опромінення працівників лише методами фізичної дозиметрії. Тому в програму спеціального медико-біофізичного контролю персоналу, який виконує роботи з трансформації ОУ ДСП ЧАЕС на екологічно безпечну систему, включено цитогенетичне обстеження осіб методом аналізу хромосомних аберацій в лімфоцитах периферійної крові [1]. Такий підхід дозволяє за допомогою специфічних маркерів опромінення виявити або підтвердити сам факт дії радіаційного чинника на організм і, за його наявності, встановити орієнтовну поглинену дозу опромінення з урахуванням індивідуальної радіочутливості [2]. Це необхідно для прогностичної оцінки і профілактики можливих віддалених наслідків опромінення.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Цитогенетична індикація можливого опромінення осіб групи підрядного персоналу, який виконував роботи з демонтажу вентиляційної труби об'єкту "Укриття" ДСП ЧАЕС.

СУБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У грудні 2013 р. проведено цитогенетичне обстеження 12 осіб з числа робітників підрядних організацій (Державних підприємств Прип'ятьське та Західноукраїнське монтажні управління ВАТ Південтеплоенергомонтаж), які виконували роботи з демонтажу вентиляційної труби об'єкту "Укриття". Обстеження проведено через 2–3 тижні після припинення ними роботи. Всі особи чоловічої статі віком від 25 до 51 року. Паралельно для порівняння були обсте-

Control of workers only by physical dosimetry is not enough in some cases of professional activity especially in dangerous radiation and hygienic conditions. Therefore, cytogenetic examination by analysis of chromosomal aberrations in peripheral blood lymphocytes is included in special medical and biophysical monitoring program of staff, performing the transformation of the "Shelter" object of Chernobyl NPP (ShO) into ecologically safe system [1]. This approach allows using specific markers of exposure to detect or confirm the fact of the radiation action on the body and, if available, to establish the estimated absorbed dose, taking into account individual radiosensitivity [2]. It is necessary for the prognostic assessment and prevention of possible long-term effects of the radiation exposure.

OBJECTIVE

Cytogenetic indication of possible radiation exposure of individuals of contracting staff group, performing work on dismantling the ventilation pipe of ShO.

SUBJECTS AND METHODS

On December 2013 cytogenetic examination of 12 individuals from workers of contracting organizations (State Enterprises Prip'yat and Western Ukrainian Construction Administration VAT Pivdenteploenergmontazh), who performed the work of dismantling the ventilation pipe of ShO were studied. The examination was provided in 2–3 weeks after completion of their work. All individuals were males aged 25 to 51 years old. At the same time individuals

жені особи, які не мали контактів з радіаційними чинниками під час професійної діяльності. Група порівняння сформована з осіб, які, як і особи з персоналу, не мали в анамнезі захворювань, що, згідно з [3], входять до переліку загальних медичних протипоказань до роботи з джерелами іонізуючих випромінювань. Враховано вік, регіон постійного проживання персоналу, вживання місцевих продуктів, звичку до паління. Індивідуальний дозиметричний контроль зовнішнього опромінення персоналу здійснювали за допомогою системи "Harshow" цеху радіаційної безпеки ДСП ЧАЕС, внутрішнього – біофізичними методами в лабораторії внутрішнього опромінення ННЦРМ. Характеристика обстежених осіб представлена в табл. 1. Ніхто з підрядного персоналу і групи порівняння не був у минулому евакуйований з 30-км зони ЧАЕС і не має статусу учасника ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС. Останнє рентгенологічне обстеження та діагностована вірусна інфекція у осіб обох груп були не менше, ніж за чотири місяці до взяття крові для дослідження. Всі особи були залучені до цитогенетичного обстеження за умов поінформованої згоди. Обстеження супроводжувалося опитуванням за спеціальною анкетною.

Зразки венозної крові для дослідження у персоналу брали під час проходження ним у клініці ННЦРМ "спеціального" медичного і біофізичного контролю, а у осіб порівняння – за місцем проживання або на базі спеціалізованих медико-санітарних частин (№ 3 м. Кузнецовськ та № 9 м. Жовті Води), або лабораторії "Dila" (м. Київ).

Кров брали у вакутейнери з напиленим гепарином ("Becton Dickison", Англія). Культивування клітин крові та приготування цитогенетичних препаратів проводили згідно з [4] з деякими модифікаціями. Тривалість культивування складала 48 годин. Цитогенетичний аналіз лімфоцитів крові проводили класичним методом з груповим каріотипуванням. Всього проаналізовано 11 388 метафазних пластинок, що відповідали стандартним вимогам [4]. Враховували аберації хромосомного типу (ацентрики: вільні парні фрагменти, точкові парні фрагменти, ацентричні кільця; дицентричні та кільцеві хромосоми, атипові моноцентрики) і хроматидного типу (фрагменти та обміни). Ізохроматидні фрагменти враховували як парні. Пробіли не враховували. Визначали частоту аберантних клітин і аберацій хромосом із розрахунку на 100 проаналізованих метафазних пластинок.

Статистична обробка отриманих результатів проведена за точним критерієм Фішера.

who had no contact with the radiation factor in the profession were examined to compare. Comparison group was formed with individuals who as a staff persons had not in anamnesis any disease that, according to [3], are included in the list of general medical contraindications to work with the sources of ionizing radiation. Age, region of staff residence, the use of local products and the habit of smoking were taken into account. Individual dose monitoring of external exposure of personnel was carried out with the help of "Harshow" system of radiation safety shop of Chernobyl NPP, individual monitoring of their internal exposure was carried out by biophysical methods in the laboratory of internal exposure of NRCRM. Characteristics of tested persons are presented in Table 1. None of contracting staff and the comparison group was evacuated from 30 km Chernobyl zone in the past and none has the status of Chernobyl accident clean-up worker. Recent X-ray examination and diagnosed virus infection in patients in both groups took place at least four months before taking the blood for research. All persons were involved in the cytogenetic examination according to informed consent. The examination was accompanied by a special questionnaire.

Staff samples of venous blood for research were taken during "special" medical and biophysical control in the NRCRM hospital comparison persons were sampled in the place of residence or on the basis of Specialized Health Units (№ 3 and № 9 in Kuznetsovsk and Zhovti Vody) or "Dila" Laboratory (Kyiv).

Blood was taken in vacutaners with heparin deposited ("Becton Dickison", Great Britain). Cultivation of blood cells and cytogenetic preparations were carried out according to [4] with some modifications. Cultivation period was 48 hours. Cytogenetic analysis of blood lymphocytes was performed by the classical method of group karyotyping. Totaly 11,388 metaphase plates matching standards requirements were analyzed [4]. Aberrations of chromosome type (acentrics: free pair fragments, double minutes, acentric rings; dicentrics and centric rings, abnormal monocentrics) and chromatide type (breaks and exchanges) were taken into account. Isochromatide fragments were taken as the pair fragments. Gaps were not taken into account. The frequency of aberrant cells and chromosomal aberrations were determined based on 100 analyzed cells.

Statistical analysis of the results was carried out by Fisher's exact criteria.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В табл. 2 наведені індивідуальні та середньогрупові результати цитогенетичного обстеження осіб підприємного персоналу та групи порівняння. Група порівняння сформована за принципом аналогів з дотриманням регіону проживання у разі віднесення такого до регіону з несприятливою екологічною ситуацією. Зокрема, м. Кузнецовськ, згідно з [5], відноситься до четвертої зони радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської аварії. Місто Жовті Води – центр гірничої урановидобувної та уранопереробної промисловості, відноситься до зони підвищеного екологічного ризику в зв'язку зі складною радіаційною ситуацією [6]. Для осіб персоналу з м. Жовті Води для порівняння було обстежено по дві контрольні особи.

Як видно з табл. 2, у підприємного персоналу середньогрупова частота абераційних лімфоцитів та всіх видів аберацій вірогідно перевищує відповідну частоту в групі порівняння ($p < 0,05-0,001$). Іонізуюче випромінювання індукує аберації хромосомного типу. Аберації хроматидного типу зазвичай не розглядаються як свідчення радіаційного впливу. Ми навели їх для повноти характеристики стану генетичного матеріалу обстежених осіб.

Найбільш об'єктивними маркерами опромінення людини є нестабільні міжхромосомні обміни – дицентричні хромосоми і центричні кільця з супровідними фрагментами у лімфоцитах периферійної крові. Жодного центричного кільця нами виявлено не було. Дицентрики з фрагментами були виявлені у семи осіб з персоналу (не враховано поліцентрики в навантаженій множинними абераціями клітині у особи 57 пКз) і у двох із групи контролю. За даними [7], частота дицентричних хромосом з фрагментами у лімфоцитах крові неопроміненої людини варіює від 0,02 до 0,2 %. У групі осіб порівняння їх частота знаходиться в межах 0–0,24 %, в середньому ($0,03 \pm 0,02$) %. Водночас у групі персоналу у двох осіб (4 пКз і 59 пЖВ) дицентрики з фрагментами виявлені з частотою 0,4 %, а у однієї особи (58 пКз) – 1,0 % при середньогруповому значенні ($0,22 \pm 0,07$) % (табл. 2). Тобто, у зазначених осіб частота показника перевищує межі як середньопопуляційної частоти, так і частоти в нашій контрольній групі. Порівняння за точним критерієм Фішера індивідуальних частот дицентриків з фрагментами у цих осіб з середньою частотою показника в контрольній групі в цілому виявило вірогідну різницю з $p < 0,05$ ($F = 3,92$) для 4 пКз і 59 пЖВ та з $p < 0,01$ ($F = 7,80$) для 58 пКз. Також

RESULTS AND DISCUSSION

The individual and mean group results of cytogenetic examination of contracting staff persons and comparison group are shown at Table 2. Comparison group was formed on the basis of analogies in compliance region of residence with the reference to a region of unfavorable ecological situation. In particular, city Kuznetsovsk, according to [5], refers to the fourth zone of radioactive contamination after the Chernobyl accident. Zhovti Vody city as the center of uranium mining and processing industry refers to the areas of high environmental risk due to the complex radiation situation [6]. For those staff from Zhovti Vody city two control persons were examined for comparison.

Mean group frequency of aberrant lymphocytes and all types of aberrations in contracted staff are significantly higher vs. in the comparison group ($p < 0.05-0.001$) (Table 2). Ionizing radiation induces aberrations of chromosome type. Usually, chromatid type of aberrations is not considered as the evidence of radiation exposure. We have included them to characterise for completeness the genetic material state of examined people.

The most objective markers of radiation exposure of human are unstable interchromosomal exchanges i.e. dicentric chromosomes and centric rings with accompanying fragments in peripheral blood lymphocytes. No centric ring were found. Dicentrics with fragments were found in 7 individuals (poli-centrics in rogue cell with multiple aberrations in 57 pKz individual were not counted) and 2 from the control group. According to [7] dicentric chromosomes frequency with fragments in non-irradiated human lymphocytes ranges from 0.02 % to 0.2 %. In group of comparing people their frequency is within these limits 0–0.24 % on average (0.03 ± 0.02) %. At the same time, in two persons from the staff group (4 pKz and 59 pZhV) dicentrics with fragments were found with the frequency of 0.4 %, and one person (58 pKz) had dicentrics with fragments frequency 1.0 % when mean group index was (0.22 ± 0.07) % (Table 2). That is, these persons parameter's frequency exceeds the limits of mean group frequency and frequency in our control group. Comparison of individual frequencies of dicentrics with fragments of these people with an average frequency of index in the control group by Fisher's exact criterion showed significant difference with $p < 0.05$ ($F = 3.92$) for 4 pKz and 59 pZhV and with $p < 0.01$ ($F = 7.80$) for

Таблиця 1
Деталізація осіб груп обстеження

Table 1
Details of persons from examined groups

Підрядний персонал / contracting staff														Група порівняння / group of comparison			
№ пари / Pair #	код / code	вік, роки / age, years	місце проживання residence point	вживання місцевих грибів, молока use of local mushrooms, milk	паління / smoking	роки роботи в зоні ЧАЕС years of working in ChNPP zone	зовнішня external	внутрішня internal	код / code	вік, роки / age, years	місце проживання residence point	вживання місцевих грибів, молока use of local mushrooms, milk	паління / smoking				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
1	49 пЛ/рР	51	м. Полтава / Poltava	ні, ні / no, no	ні / no	2006–2009, 2013	54,06 / 6,5	1,6 / 0	3 / 13 дК/дК	52	м. Київ / Kyiv	ні, ні / no, no	ні / no				
2	50 пКз/рКз	30	Рівненська обл., м. Кузнецовськ	ні, ні / no, no	так / yes	2009–2011, 2013	15,71 / 6,35	0,5 / 0	1 дКз/дКз	30	Рівненська обл., м. Кузнецовськ	ні, ні / no, no	так / yes				
3	51 пКз/рКз	40	Рівненська обл., м. Кузнецовськ	так, ні / yes, no	ні / no	1997, 2006–2010, 2013	75,52 / 9,36	1,8 / 0	2 дКз/дКз	39	Рівненська обл., м. Кузнецовськ	так, ні / yes, no	по / no				
4	52 пКз/рКз	34	Рівне region	так, ні / yes, no	в минулому / ex	2006, 2013	21,58 / 7,91	0 / 0	4 дКз/дКз	35	Рівне region	так, ні / yes, no	так / yes				
5	4 пКз/рКз	33	Кузнецовськ	так, ні / yes, no	так / yes	2009–2010, 2013	23,83 / 9,95	0,4 / 0	5 дКз/дКз	31	Кузнецовськ	так, ні / yes, no	так / yes				
6	54 пКз/рКз	51	Кузнецовськ	так, ні / yes, no	ні / no	2013	7,0 / 7,0	0 / 0	7 дКз/дКз	51	Кузнецовськ	так, ні / yes, no	по / no				
7	32 пНт/рНт	25	Хмельницька обл., м. Нетішин Кімельнський регіон, Нетішун	ні, ні / no, no	так / yes	2009–2010, 2013	27,33 / 13,75	0,9 / 0	18 дК/дК	26	м. Київ (до 17 років Хмельницька обл., м. Нетішин) Київ (before 17 years old Kmelnytsk region, Netishun)	ні, ні / no, no	так / yes				
8	56 пЖВ/рЖВ	34	Дніпропетровська обл., м. Жовті Води Дніпропетровський регіон, Жовті Води	ні, ні / no, no	так / yes	2013	4,91 / 4,91	0 / 0	11 дЖВ/дЖВ	34	Дніпропетровська обл., м. Жовті Води	ні, ні / no, no	так / yes				
9	57 пКз/рКз	34	Рівненська обл., м. Кузнецовськ	так, ні / yes, no	так / yes	2005–2006, 2009, 2012–2013	30,81 / 14,83	0,5 / 0	8 дКз/дКз	32	Рівненська обл., м. Кузнецовськ	так, ні / yes, no	так / yes				
10	58 пКз/рКз	41	Рівне region, Кузнецовськ	так, ні / yes, no	в минулому / ex	1999–2000, 2009–2010, 2013	44,17 / 9,63	1,0 / 0	9 дКз/дКз	39	Рівненська обл., Кузнецовськ	так, ні / yes, no	в минулому ex				
11	59 пЖВ/рЖВ	46	Дніпропетровська обл., м. Жовті Води Дніпропетровський регіон, Жовті Води	ні, ні / no, no	ні / no	2006–2011, 2013	73,41 / 13,37	1,4 / 0	3 дЖВ/дЖВ	46	Дніпропетровська обл., м. Жовті Води	ні, ні / no, no	так / yes				
12	60 пНК/рКз	45	Херсонська обл., м. Нова Каховка Херсонський регіон, Нова Каховка	ні, ні / no, no	так / yes	2013	11,0 / 11,0	0 / 0	14 дК/дК	44	м. Київ / Kyiv	ні, ні / no, no	так / yes				
Середній вік Means age		38,7								38,4							

індивідуальну частоту дицентриків у зазначених осіб персоналу з м. Кузнецовська порівнювали з середньою частотою показника для семи контрольних осіб із цього міста (проаналізовано 3 405 метафаз) що становить 0,029 %. Підтверджено достовірну різницю частоти маркерів опромінення у осіб 4 пКз з $p < 0,05$ ($F = 4,19$) та у 58 пКз з $p < 0,01$ ($F = 7,51$). Слід зазначити, що при обстеженні особи 4 пКз у 2010 р. дицентриків з фрагментами не спостерігали [8].

Виявлене дає підстави припустити ймовірність наднормативного опромінення трьох осіб з обстеженого персоналу, хоча надані дані дозиметрії фізичними методами (табл. 1) про таке не свідчать.

Нестабільними маркерами опромінення є й ацентрики. Згідно з даними літератури, їх спонтанні середньопопуляційні рівні становлять 0,25–0,70 % [7]. Відомо, що збільшення їх частоти є результатом опромінення в малих дозах випромінюванням з низькою ЛПЕ [9, 10]. Частота ацентриків у нашій контрольній групі складала 0,26–2,75 %, в середньому – $(1,52 \pm 0,15)$ %. Ймовірно, виявлена підвищена частота ацентриків у контрольних осіб обумовлена сучасною радіоекологічною ситуацією і, можливо, збільшенням застосування діагностичних радіаційних методів обстеження. У групі персоналу частота ацентриків становила 1,19–3,33 % з середнім значенням $(2,38 \pm 0,22)$ %, тобто, в півтора раза перевищувала таку в групі порівняння ($p < 0,001$, $F = 11,83$). Ацентрики були представлені в основному вільними парними фрагментами, ацентричні кільця склали лише 0,08 і 0,19 % у групах контролю і персоналу, відповідно (в табл. 2 не наведено). Виявлений більш високий рівень ацентриків у групі персоналу підтверджує вплив радіаційних чинників при виконанні робіт із будівництва Нового конфайнменту.

Стабільні маркери опромінення – хромосомні обміни, що на рівномірно забарвлених препаратах хромосом виявляються як атипові моноцентрики (утворені за рахунок реципрокних транслокацій, перичентричних інверсій, делетованих хромосом), виявлені в групі персоналу у 83 % осіб і в групі порівняння у 36 % осіб. За даними публікацій [9, 7], спонтанний рівень цього типу аберацій при аналізі рутинним методом знаходиться в межах 0,05–0,4 на 100 клітин. Індивідуальні значення частоти атипових моноцентриків у нашій контрольній групі коливаються в діапазоні 0–0,4 % з середнім значенням $(0,09 \pm 0,04)$ %, а в групі персоналу – в діапазоні 0–1,97 % з середнім значенням $(0,44 \pm 0,09)$ %, тобто у останніх є вищим у 5 разів ($p < 0,001$, $F = 14,92$). Збільшена частота атипових моноцентриків у персоналу може бути обумовле-

58 пКз. Also individual dicentric frequency in these staff persons from Kuznetsovsk city was compared with an average index frequency for 7 control persons from this city (3,405 analyzed metaphases) that is 0.029 %. Significant difference of the exposure markers frequency in person 4 pKz with $p < 0.05$ ($F = 4.19$) and in 58 pKz with $p < 0.01$ ($F = 7.51$) was confirmed. It should be noted that dicentrics with fragments had not been observed in the examination of person 4 pKz the year of 2010 [8].

Observed allows assuming the probability of excess exposure to three people from examined staff although dosimetry data provided by physical methods (Table 1) do not evidence it.

Acentrics also are unstable markers of exposure. According to the literature data their spontaneous mean population levels are 0.25–0.70 % [7]. It is known that their increased frequency is the result of low doses exposure of low LET radiation [9, 10]. Acentrics frequency in our control group is 0.26–2.75 % on average (1.52 ± 0.15) %. Perhaps, increased acentrics frequency found in control individuals is due to modern radiobiological situation and possibly due to increase of the use of diagnostic radiological examination. Acentrics frequency in staff group was 1.19–3.33 % with the mean value of (2.38 ± 0.22) %, namely, it was half times higher than in the comparison group ($p < 0.001$, $F = 11.83$). Acentrics were presented mainly as free pair fragments, acentric rings were only 0.08 and 0.19 % in control and staff groups, respectively (in Table 2 is not shown). Discovered higher level of acentrics in staff group confirms the impact on it radiation factors during work on the construction of New Confinement.

The stable markers of exposure – chromosomal exchanges that detected at routinely stained preparations of chromosomes as abnormal monocentrics (formed by reciprocal translocations, pericentric inversions, deleted chromosomes) detected in a group of staff in 83 and 36 % in comparison group of the individuals. According to the publications [9, 7], spontaneous level of this type of aberrations in the routine method analysis is within 0.05–0.4 per 100 cells. Individual values of the frequency of abnormal monocentrics in our control group vary in the range 0–0.4 % of the mean value of (0.09 ± 0.04) %, and in staff group in the range of 0–1.97 % of the mean value of (0.44 ± 0.09) %, i.e. 5 times higher ($p < 0.001$, $F = 14.92$). Increased frequency of abnormal monocentrics in staff appeared due to

Таблиця 2
Цитогенетичні показники в культурі лімфоцитів периферійної крові осіб груп підрядного персоналу та порівняння
Table 2
Cytogenetical indexes in culture of peripheral blood lymphocytes from contracting staff and comparison groups

№ пари / Pair #	код / code	n проаналізованих метафаз n of meta-phases analysed	Підрядний персонал / contracting staff							Група порівняння / group of comparison						
			частота / frequency, %: (n)							частота / frequency, %: (n)						
			аберацій / aberrations							аберацій / aberrations						
			хромосомного типу / chromosome type							хромосомного типу / chromosome type						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	49 пП	500	5,80 (29)	0 (0)	2,60 (13)	0,40 (2)	3,00 (15)	2,80 (14)	3/13 дК	310	3,87 (12)	0 (0)	0,64 (2)	0 (0)	0,64 (2)	3,22 (10)
2	50 пКз	600	6,67 (40)	0,17 (1)	3,16 (19)	0,17 (1)	3,50 (21)	4,00 (24)	1 дКз	500	3,60 (18)	0 (0)	1,80 (9)	0 (0)	1,80 (9)	2,00 (10)
3	51 пКз	353	5,38 (19)	0,28 (1)	1,42 (5)	0,57 (2)	2,27 (8)	3,68 (13)	2 дКз	500	4,80 (24)	0 (0)	2,40 (12)	0 (0)	2,40 (12)	3,00 (15)
4	52 пКз	304	8,88 (27)	0 (0)	2,96 (9)	1,97 (6)	4,93 (15)	4,93 (15)	4 дКз	525	5,71 (30)	0 (0)	1,91 (10)	0,19 (1)	2,09 (11)	4,00 (21)
5	4 пКз	500	5,80 (29)	0,40 (2)	1,60 (8)	0,40 (2)	2,40 (12)	3,60 (18)	5 дКз	380	4,47 (17)	0 (0)	0,26 (1)	0 (0)	0,26 (1)	5,00 (19)
6	54 пКз	390	7,43 (29)	0 (0)	3,33 (13)	0,26 (1)	3,59 (14)	4,10 (16)	7 дКз	500	5,20 (26)	0,20 (1)	2,40 (12)	0,20 (1)	2,80 (14)	2,40 (12)
7	32 пНт	504	4,56 (23)	0,2 (1)	1,19 (6)	0,40 (2)	1,78 (9)	2,98 (15)	18 дК	400	4,25 (17)	0 (0)	2,75 (11)	0 (0)	2,75 (11)	1,75 (7)
8	56 пЖВ	412	7,28 (30)	0,24 (1)	2,67 (11)	0,73 (3)	3,64 (15)	4,37 (18)	11 дЖВ	420	4,52 (19)	0,24 (1)	0,95 (4)	0 (0)	1,19 (5)	3,57 (15)
9	57 пКз	300	6,67 (20)	0 (0)	2,67 (8)	0 (0)	2,67 (8)	4,67 (14)	4 дЖВ	500	3,6 (18)	0 (0)	1,4 (7)	0 (0)	1,4 (7)	2,82 (11)
			Навантажена клітина:													
			50-57 xp-m + фрагм. xp-ма, ТЦ, ДЦ, 9 ПФ, 2 ХФ, множинні ТПФ													
			Розподіл осіб:													
			50-57 chr-mes+ фрагм. chr-me, Тпс, Дс, 9 Ac fr, 2 Sntd br, multiple Dm fr													
10	58 пКз	300	6,33 (19)	1,00 (3)	2,66 (8)	0,33 (1)	4,00 (12)	3,00 (9)	9 дКз	500	4,40 (22)	0 (0)	0,80 (4)	0,40 (2)	1,20 (6)	3,80 (19)
11	59 пЖВ	500	5,00 (25)	0,40 (2)	2,20 (11)	0 (0)	2,60 (13)	2,40 (12)	3 дЖВ	500	4,4 (22)	0 (0)	2,60 (13)	0 (0)	2,60 (13)	2,20 (11)
12	60 пНК	300	8,33 (25)	0 (0)	2,33 (7)	0,66 (2)	3,00 (9)	5,67 (17)	7 дЖВ	400	3,25 (13)	0 (0)	1,00 (4)	0,25 (1)	1,25 (5)	2,00 (8)
Всього / total			4 963	(315)	(11)	(118)	(22)	(151)	(185)	6 425	(274)	(2)	(98)	(6)	(106)	(186)
M±m			**6,35±0,36	**0,22±0,07	**2,38±0,22	**0,44±0,09	**3,04±0,25	*3,73±0,27		4,26±0,26	0,03±0,02	1,52±0,15	0,09±0,04	1,65±0,16	2,89±0,21	
діапазон / range			4,56-8,88	0-1,0	1,19-3,33	0-1,97	1,78-4,93	2,4-5,67		2,86-5,71	0-0,24	0,26-2,75	0-0,4	0,26-2,8	1,75-5,0	

Примітка. ХФ – хроматидний фрагмент, ПФ – парний фрагмент, ТПФ – точковий парний фрагмент, ДЦ – дигентрик, ПД – трицентрик, фрагм. xp-ма – фрагментована хромосома.
Вірогідна відмінність між групами персоналу і порівняння – * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ – 0,001, точний критерій фішера.
Note. Sntd br – chromatid break, Ac fr – acentric fragment, Dm fr – double minute fragment, Dic – dicentric, Тпс – triscentric, фрагм. chr-me – fragmented chromosome.
Probable difference between staff and comparison groups * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ – 0,001, Fisher exact test.

на опроміненні, отриманим при виконанні як останніх робіт з демонтажу вентиляційної труби, так і робіт в зоні об'єкту "Укриття" в попередні роки.

Більшість аберантних клітин у осіб обох обстежених груп містили по одній аберації і невелика кількість – по 2–3 аберації. Останні у осіб контрольної групи містили прості аберації, а у осіб персоналу – також і аберації обмінного типу. У персоналу зареєстровано п'ять клітин з двома хромосомними обмінами. Крім того у останніх було виявлено одну сильно пошкоджену клітину (наведена в табл. 2), яка мала дицентрик, трицентрик, багато вільних ацентричних фрагментів і, зокрема, точкові парні фрагменти. Природа виникнення навантажених абераціями клітин досі дискутується. Існують докази, що причиною їх утворення може бути вірусна інфекція [11]. Водночас їх неодноразово виявляли у учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС та жителів регіонів забруднених радіонуклідами [12, 13]. Ми вважаємо, що наявність навантаженої клітини у особи з групи персоналу може бути результатом дії інкорпорованих α - або β -частинок, присутніх у повітрі на їх робочих місцях.

Визначені фізичними методами дозиметрії дози опромінення персоналу становили: у 2013 р. зовнішнього – 4,91–14,83 мЗв, внутрішнього – 0 мЗв, а сумарні за весь період роботи в зоні ЧАЕС зовнішнього – 4,91–75,52 мЗв, внутрішнього – 0–1,8 мЗв (табл. 1). Для вірогідного висновку про наявність факту наднормативного опромінення (більше 50 мЗв за рік.) і оцінки поглиненої дози на підставі результатів цитогенетичного обстеження необхідно виявити не менше двох дицентричних хромосом.

Для визначення орієнтовних поглинених доз опромінення осіб персоналу, у яких частота дицентриків була вірогідно вища за середньопопуляційний рівень (тобто, виявлено 2–3 дицентрики, табл. 2), нами були використані калібрувальні залежності "доза-частота дицентриків", отримані Н. О. Мазнік і В. А. Вінніковим [14] та Г. П. Снігірьовою [2] при опроміненні цільної крові *in vitro* γ -квантами ^{60}Co . Розраховані за ними орієнтовні дози опромінення для осіб 4 пКз і 59 пЖВ становили 87,0 мГр за [11] та 123,0 мГр за [2] гострого опромінення, а для особи 58 пКз, відповідно 210,0 мГр та 240,0 мГр. Таким чином, "біологічні" дози не відповідали дозам, визначеним методами фізичної дозиметрії (табл. 1). На підставі цього ми вважаємо, що зазначених осіб персоналу необхідно віднести до групи підвищеного ризику, які потребують регулярного ретельного медичного обстеження.

radiation received in the performance of a recent work on dismantling the vent pipe, and works in the area of ShO in previous years.

Most of aberrant cells in the patients of both examined groups contained one aberration and small amount contained 2–3 aberrations. The last cells in the control group contained simple aberrations, and the staff people cells had simple aberrations and exchange type aberrations. Five cells with two chromosome exchanges were found in staff group (in Table 2 bold). Also in staff group one badly damaged cell was found. It had dicentric, threecentric, and many free acentric fragments and, in particular, double minuetts. Nature of occurrence of "rogue" cells with multiple aberrations is still discussed. There is evidence that the cause of their formation may be viral infection [11]. At the same time they were repeatedly found in liquidators of the Chernobyl accident and residents of regions contaminated by radionuclides [12, 13]. We believe that the presence of "rogue" cell in a person of staff group may be the result of incorporated α - or β -particles presented in the air at their workplaces.

Exposure doses of staff determined by physical dosimetry methods were as follows: external – 4.91–14.83 mSv, internal – 0 mSv in 2013 and the total for the entire period of work in the Chernobyl zone external – 4.91–75.52 mSv, internal – 0–1.8 mSv (Table 1). For probable conclusion about a fact of excess radiation (more what 50 mSv per year) and for estimation of absorbed dose based on cytogenetic investigations results it is necessary to identify at least two dicentric chromosomes.

To determine the approximate absorbed doses of staff persons where the dicentrics frequency was significantly higher what mean population level (namely, detected 2–3 dicentrics, Table 2), we have used the gauge dependence "dose-dicentrics frequency" received by N. O. Maznik and V. A. Vinnikov [14] and G. P. Snigireva [2] during irradiation of whole blood *in vitro* by ^{60}Co γ -rays. Calculated estimated exposure doses for persons 4 pKz and 59 pZhV were 87.0 mGy according to [11] and 123.0 mGy according to [2] of acute exposure, and for a person 58 pKz 210.0 mGy and 240.0 mGy respectively. Thus, the "biological" doses were not appropriate to doses determined by the physical dosimetry (Table 1). On this basis, we consider that these staff individuals should be referred to a group of increased risk and they need regular thorough medical examination.

ВИСНОВКИ

1. У осіб з числа підрядного персоналу, які виконували роботи з демонтажу вентиляційної труби об'єкту "Укриття", середньогрупова частота аберантних лімфоцитів та аберацій хромосомного (дицентриків з супровідними фрагментами, вільних ацентриків, атипичних моноцентриків) і хроматидного типів вірогідно перевищує відповідну в групі осіб порівняння, які не мали професійних контактів з радіаційними чинниками.
2. У трьох із дванадцяти обстежених осіб персоналу індивідуальна частота специфічних маркерів опромінення – дицентричних хромосом з фрагментами вірогідно перевищує середньопопуляційний рівень і середню частоту в групі порівняння, що свідчить про ймовірність їх наднормативного опромінення при виконанні робіт у локальній зоні ЧАЕС.
3. Розраховані за частотою дицентричних хромосом орієнтовні "біологічні" дози опромінення трьох осіб персоналу свідчать про більш значну дію на них радіаційних чинників ніж за даними фізичної дозиметрії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стан радіаційного захисту і здоров'я персоналу підрядних підприємств, що виконують роботи з перетворення Об'єкту "Укриття" ДСП ЧАЕС на екологічно безпечну систему, за результатами створеного клініко-дозиметричного реєстру / В. Г. Бебешко, Д. А. Бази́ка, В. О. Сушко [та ін.] // Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. – 2009. – Вип. 14. – С. 40–57.
2. Биологическая индикация радиационного воздействия на организм человека с использованием цитогенетических методов. Медицинская технология №ФС-2007/015-У. – М. : [б. и.], 2007. – 29 с.
3. Наказ МОЗ України від 21.05.07 р. № 246 "Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій".
4. Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies / International Atomic Energy Agency. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2011. – 229 p.
5. Радіологічний стан територій, віднесених до зон радіоактивного забруднення (у розрізі районів) / за ред. В. І. Холоші. – Київ : [б. в.], 2008. – 54 с.
6. Экологический паспорт Днепропетровской области / Днепропетровская областная гос. администрация. – Днепропетровск : [б. и.], 2000. – 266 с.
7. База данных для анализа количественных характеристик частоты хромосомных aberrаций в культуре лимфоцитов периферической крови человека / Н. П. Бочков, А. Н. Чеботарев, Л. Д. Катосова, В. И. Платонова // Генетика. – 2001. – Т. 37, № 4. – С. 549–557.
8. Результати цитогенетичного обстеження групи персоналу, який виконує роботи з будівництва Нового безпечного конфайнменту в зоні ЧАЕС / Л. К. Бездробна, Л. В. Тарасенко, Т. В. Циганок [та ін.] // Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. – 2012. – Вип.17. – С. 127–135.

CONCLUSIONS

1. Contracting staff persons, who performed work on dismantling the ShO ventilation pipe, had mean group frequency of aberrant lymphocytes and chromosome type aberrations (dicentrics with accompanying fragments, free acentrics, and abnormal monocentrics) and frequency of chromatid type aberrations likely to exceed those in the comparison group of persons, who had no professional contact with radiation factors.
2. Three of the twelve examined staff persons had individual frequency of specific markers of exposure, dicentric chromosomes with fragments, significantly higher than mean population level and mean frequency in the comparison group. It indicates the probability of excess radiation when working in Chernobyl NPP local zone.
3. Tentative "biological" doses of three staff persons calculated due to the dicentric chromosomes frequency indicate greater radiation components effect according to the data of physical dosimetry.

REFERENCES

1. Bebeshko VG, Bazyka DA, Sushko VO, Likhtariov IA, Liaschenko LO, Loganovskiy KM, et al. [Radiation protection and health of the contractor companies workers performing transformation of the Chernobyl NPP shelter object into the ecologically safe system, based on the clinical and dosimetric registry]. Probl Radiac Med Radiobiol. 2009;(14):40-57. Ukrainian.
2. Biological indication of radiation influence on human body using cytogenetic methods. Medical technology №ФС-2007/015-У. Moskva; 2007. 29 p. Russian.
3. [Rules of Medical Surveying for Personnel of Certain Categories]. The Decree of the Ministry of Health of Ukraine No. 246 (May 21, 2007). Ukrainian.
4. International Atomic Energy Agency. Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies. Vienna : International Atomic Energy Agency; 2011. 229 p.
5. Kholosha VI, editor. [Radiological condition of territories referred to radioactive polluted zones (by regions)]. Kyiv: [s. n.]; 2008. 54 p. Ukrainian.
6. Dnipropetrovs'k region city administration. [Ecological passport of Dnipropetrovs'k region]. Dnipropetrovs'k: [s. n.]; 2000. 266 p. Russian.
7. Bochkov NP, Chebotarov AN, Kotosova LD, Platonova VI. [Data basis for analysis of quantitative characteristics of chromosome aberrations in human peripheral blood lymphocytes culture]. Genetics. 2001;37(4):549-57. Russian.
8. Bezdrobna LK, Tarasenko LV, Tsyganok TV, Nechayev SY, Nosach YO, Melnyk TV, Shvayko LI. [Results of cytogenetic examination of staff working on new safe confinement building in

9. Current status of cytogenetic procedures to detect and quantify previous exposures to radiation / M. A. Bender, A. A. Awa, A. L. Brooks [et al.] // *Mutat. Res.* – 1988. – Vol. 196, No. 2. – P. 103–159.
10. Balakrishnan S. Cytogenetic analysis of peripheral blood lymphocytes of occupational workers exposed to low levels of ionising radiation / S. Balakrishnan, S. B. Rao // *Mutat. Res.* – 1999. – Vol. 442, No. 1. – P. 37–42.
11. Hypothesis: “Rogue cell” – type chromosomal damage in lymphocytes is associated with infection with the JC human polyoma virus and has implications for oncogenesis / J. V. Neel, E. O. Major, A. A. Awa [et al.] // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* – 1996 –Vol. 93 . – P. 2690–2695.
12. Хромосомные aberrации у жителей Гомеля и Гомельской области: результат проживания на радиоактивно-загрязненных территориях / Е. В. Домрачева, Л. Версхаеве, С. А. Кузнецов [и др.] // *Терапевт. архив.* – 1992. – № 7. – С. 29–33.
13. Цыганок Т.В. “Нагруженные” хромосомными aberrациями клетки в культуре лимфоцитов периферической крови человека и их анализ у самоселов Зоны отчуждения ЧАЭС / Т. В. Цыганок, Л. К. Бездробная // *Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень.* – 2003. – № 3 (11). – С. 147–153.
14. Maznyk N. A. Calibration dose-response relationships for cytogenetic biodosimetry of recent and past exposure to low dose gamma-radiation / N. A. Maznyk, V. A. Vinnikov // *Український радіологічний журнал.* – 2004. – № 12. – С. 415–425.
- ChNPP zone]. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2012;17:127-35. Ukrainian.
9. Bender MA, Awa AA, Brooks AL, Evans HJ, Groer PG, Littlefield LG, et al. Current status of cytogenetic procedures to detect and quantify previous exposures to radiation. *Mutat Res.* 1988 Sep;196(2):103-59.
10. Balakrishnan S, Rao SB. Cytogenetic analysis of peripheral blood lymphocytes of occupational workers exposed to low levels of ionising radiation. *Mutat Res.* 1999 Jun 7;442(1):37-42.
11. Neel JV, Major EO, Awa AA, Glover T, Burgess A, Traub R, et al. Hypothesis: “Rogue cell” – type chromosomal damage in lymphocytes is associated with infection with the JC human polyoma virus and has implications for oncogenesis. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1996 Apr 2;93(7):2690-5.
12. Domrachova YV, Verskhave L, Kuznetsov CA, et al. [Chromosome aberrations in Homel and Homel region citizens: result of residence in radioactive polluted territories]. *Therapeut. archive.* 1992;(7): 29-33. Russian.
13. Tsyganok TV, Bezdrobna LK. [“Rogue” cells with chromosome aberrations in human peripheral blood lymphocytes culture and their analysis in selfsettlers from ChNPP Exclusion zone]. *Collected works of Institute for nuclear researches (Kyiv).* 2003;3(11): 147-53. Russian.
14. Maznyk NA, Vinnikov VA. Calibration dose-response relationships for cytogenetic biodosimetry of recent and past exposure to low dose gamma-radiation. *Ukrainian radiological journal.* 2004; (12):415-25.

Стаття надійшла до редакції 15.07.2014

Received: 15.07.2014