

О.П. Романова
Л.К. Бездробна
І.П. Дрозд

Науковий центр «Інститут
ядерних досліджень»
НАН України,
м. Київ

Інститут експериментальної
патології, онкології і
радіобіології ім. Р.Є. Кавецького
НАН України,
м. Київ

Біоіндикація надфонового опромінення мешканців радіаційно забруднених територій за мікроядерним тестом

Bioindication of supra-background irradiation in residents of contaminated areas using micronuclear test

Цель работы: Изучение информативности анализа микроядер в лимфоцитах периферической крови для биоиндикации и биодозиметрии хронического воздействия малых доз облучения на людей, проживающих на радиационно загрязненных территориях.

Материалы и методы: Обследованы 26 жителей 30-километровой зоны отчуждения ЧАЭС. Группу сравнения составили клинически здоровые жители Киева соответствующего возраста, пола и привычки к курению — 41 человек. Использован метод анализа микроядер в лимфоцитах периферической крови при блокировании цитокinesis. Изучали частоту микроядер и распределение клеток по их количеству.

Результаты: Выявлено достоверное превышение частоты микроядер и частоты клеток с несколькими микроядрами в лимфоцитах крови самоселов 30-километровой зоны отчуждения ЧАЭС по сравнению с данными киевлян. При сравнении подгрупп самоселов, которые проживают в 5 селах зоны с разным уровнем радионуклидного загрязнения почв, обнаружена корреляция между среднегрупповой надспонтанной частотой микроядер в лимфоцитах и загрязнением ^{90}Sr территорий сел, а также среднегрупповыми дозами на красный костный мозг и внутренним облучением на все тело. Индивидуальная надспонтанная частота микроядер в лимфоцитах самоселов не коррелирует с дозами облучения на все тело, выявлена ее корреляция с дозой облучения на красный костный мозг. Установлена обратная корреляция величины индуцированной частоты микроядер на единицу дозы облучения с возрастом самоселов, что свидетельствует о большей радиочувствительности людей молодого возраста.

Выводы: Тест частоты микроядер в лимфоцитах периферической крови можно использовать для групповой биоиндикации надфоновое низкоомощностное облучения людей, проживающих на территориях, загрязненных радионуклидами. Микроядерный тест не пригоден для биодозиметрии низкоомощностного облучения всего тела. Целесообразно проводить дальнейшее исследование для определения возможности его применения для биодозиметрии облучения красного костного мозга. Увеличение частоты микроядер у отдельных индивидуумов можно рассматривать как сигнал потенциального риска для здоровья.

Ключевые слова: 30-километровая зона отчуждения ЧАЭС, низкоомощностное хроническое облучение, лимфоциты периферической крови человека, микроядра.

Objective: To study the efficacy of micronuclear analysis of peripheral blood lymphocytes for bioindication and biodosimetry of chronic influence of low-dose irradiation on people residing on contaminated territories.

Material and Methods: The study involved 26 residents of 30-km zone of the Chernobyl Atomic Power Plant. The controls were healthy residents of Kyiv of the respective age, sex and smoking habit (41 persons). Micronuclear analysis of peripheral blood lymphocytes at cytokinesis block was used. The incidence of micronuclei and distribution of cells according to the amount of micronuclei was studied.

Results: Significant increase of the incidence of micronuclei and cells with several micronuclei in the lymphocytes of the blood was revealed in the persons who had wilfully settled in the 30-km alienation zone when compared with the residents of Kyiv. Comparison of the subgroups from the 30-km zone which reside in 5 villages with different level of radionuclide contamination of the soil demonstrated correlation between mean supra-spontaneous incidence of micronuclei in the lymphocytes and Sr-90 contamination of the villages as well as mean group doses in the red bone marrow and internal whole-body irradiation. Individual supra-spontaneous incidence of micronuclei per unit of irradiation and the age of the wilful residents was observed which suggested great radiosensitivity of young people.

Conclusion: Tests of micronuclei incidence in the peripheral blood lymphocytes can be used for group bioindication of supra-background low-dosage irradiation of persons residing in contaminated districts. Micronuclear test cannot be used for biodosimetry of low-dosage whole body irradiation. Further study is advisable to determine the possibility of its application in dosimetry of red-bone marrow irradiation. Increase of micronucleus amount in individual patients can be considered a signal of potential risk.

Key words: 30-km alienation zone of the Chernobyl Atomic Power Plant, low-dosage chronic irradiation, peripheral blood lymphocytes, micronuclei.

Розвиток атомної промисловості періодично супроводжується різними за масштабами радіаційними інцидентами, що призводять до радіаційного забруднення територій і до неконтрольованого низькопотужнісного опромінювання великої кількості населення, яке на них проживає [1]. Зокрема, внаслідок Чорнобильської ката-

строфи в Україні постраждало більше 3,5 млн. населення, основна частина якого продовжує мешкати на забруднених радіонуклідами територіях [2].

У зв'язку з цим загострилася проблема індикації впливу низькопотужнісного опромінення на людей. Для біоіндикації й біодозиметрії променевого ураження

організму та оцінки радіаційного ризику прийнято застосовувати головним чином облік аберацій хромосом у лімфоцитах периферичної крові при рутинному фарбуванні препаратів [3]. Для оцінки дії пролонгованого опромінювання в малих дозах адекватнішим є аналіз стабільних аберацій і мутацій, втім, методи їх визначення трудомісткі, а автоматизація потребує обладнання, що дуже дорого коштує [4, 5]. Все це спонукало в післячорнобильський період до активізації пошуку простіших та водночас інформативніших методів для первинних цитогенетичних популяційних обстежень.

З цією метою останніми роками активно апробується аналіз мікроядер (МЯ) в клітинах периферичної крові [6,7]. Формуються МЯ з ацентричних фрагментів (хромосомних та хроматидних) та частково з втрачених під час клітинного поділу цілих хромосом. Тому МЯ є індикатором і пошкодження хромосом, і їхнього нерозходження, яке спричиняє анеуплоїдію. До того ж, наведені кількома дослідниками результати аналізу хромосомних аберацій в клітинах населення, яке постраждало внаслідок Чорнобильської аварії, свідчать, що за умов низькопотужнісного опромінювання в клітинах індукуються не тільки маркери радіаційної дії, а і суттєво збільшується рівень ушкоджень хроматидного типу [8,9].

Зважаючи на викладене вище, ми обрали метою дослідження визначення інформативності мікроядерного тесту в лімфоцитах периферичної крові для біоіндикації й біодозиметрії хронічного впливу малих доз опромінення на людей за умов їх проживання на радіаційно забруднених територіях. Попередні результати були представлені у роботі [10].

Методика дослідження

Обстежено групу мешканців з 5 сіл 30-кілометрової зони відчуження ЧАЕС: Городище, Іллінці, Луб'янка, Опачичі, Куповате. До групи увійшли люди, які після евакуації 4 травня 1986 р. самовільно повернулись у зону в період з червня 1986 по квітень 1987 року. Жоден із них не брав участі у ліквідації наслідків аварії безпосередньо на ЧАЕС. Обстежено 26 осіб: 13 чоловіків (8 — курять, 5 — не курять) і 13 жінок (не курять). Групою порівняння були мешканці м. Києва — клінічно здорові люди — первинні донори Миської станції переливання крові та добровольці, які не працювали на об'єктах атомної та хімічної промисловості і не мали свідомого контакту з мутагенними чинниками. Всього

обстежена 41 особа: 22 чоловіки, з яких 14 — курять і 8 — не курять, та 19 жінок, які не курять. Діапазон віку обстежених в обох групах 21–60 років при середньому віці 43 роки.

Культивування лімфоцитів крові та облік МЯ в них проводили із застосуванням методу блокування цитокінезу, як описано в роботі [11]. Препарати аналізували під мікроскопом JENAVAL при збільшенні $\times 900$. Від кожного обстеженого аналізували від 1000 до 3000 двоядерних клітин. Як показники вивчали частоту МЯ в клітинах та розподіл клітин за кількістю МЯ.

Отримані результати опрацьовували з використанням програми статистичної обробки результатів "Origin-4.10". Використовували такі методи математичної статистики: непараметричний критерій Вілкоксона-Манна-Уїтні (U-критерій), кореляційний аналіз рангів за Спірменом і параметричні методи регресійного (t-критерій) й кореляційного аналізу [12, 13].

Розрахунки доз опромінення на самоселів виконували за стандартними програмами, базуючись на даних середньої щільності радіонуклідного (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu) забруднення території проживання самоселів. Розраховуючи дози зовнішнього опромінення, зважали на екранування будівлями й снігом, а також заглиблення радіонуклідів у ґрунт. Розрахунок ефективних доз внутрішнього опромінення на органи й тканини виконували за камерними моделями, які враховують надходження, виведення і утримання радіонуклідів [14]. Виходили з того, що самосели весь час вживали продукти зі свого особистого підсобного господарства (молоко, м'ясо, овочі, фрукти, яйця тощо), крім хлібопродуктів та цукру. Середні індивідуалізовані дози розраховували на підставі даних щодо конкретного часу перебування в зоні у перший і усі наступні роки після аварії та місця й часу перебування в евакуації.

Результати та їх обговорення

При обстеженні групи самоселів визначено вірогідне (за U-критерієм і t-критерієм, при $p < 0,001$) збільшення частоти МЯ в лімфоцитах їх крові ($14,6 \pm 0,8\%$) у порівнянні з відповідною групою киян ($10,0 \pm 0,5\%$). У 19% обстежених самоселів виявлені клітини з 2 МЯ, причому в трьох осіб по декілька лімфоцитів з 2 МЯ. В групі киян 11,5% осіб мали по одній клітині з 2 МЯ.

На рис. 1 подано залежність частоти МЯ від віку в групах самоселів і киян, задовільно описувану лінійним рівнянням у напівлогарифмічному представленні: $\ln \text{ЧМЯ} = a + bX$ (де: ЧМЯ — частота мікроядер, X — вік індивідуума) з коефіцієнтами: $a = 2,32 \pm 0,21$ і $b = 0,008 \pm 0,005$ — для групи самоселів та $a = 1,18 \pm 0,17$ і $b = 0,025 \pm 0,004$ — для групи киян. Коефіцієнт кореляції частоти МЯ з віком у групі киян дорівнює 0,73 з $p < 0,0001$, а у групі самоселів — 0,32 з $p = 0,1$. Відсутність вікової залежності частоти МЯ у самоселів, імовірно, пов'язана з додатковим радіаційним навантаженням за умови

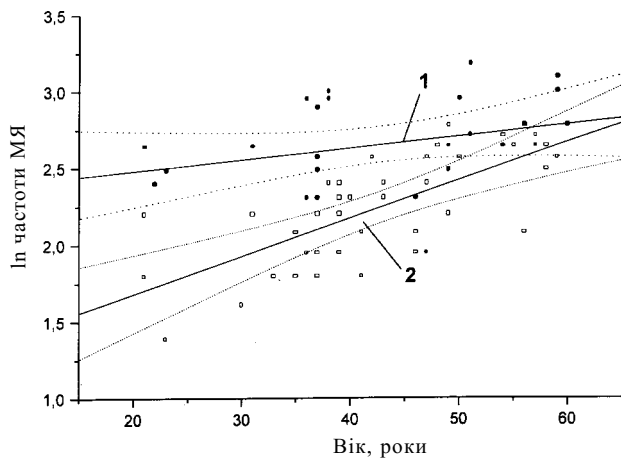


Рис. 1 — Залежність частоти МЯ в лімфоцитах периферичної крові від віку: крива 1 — самосели (·), крива 2 — кияни (°)

Fig. 1. — Correlation of MN incidence in peripheral blood lymphocytes and the age of the patients: curve 1 - wilful residents (·), curve 2 - Kyiv residents (°)

зони відчуження, а середньогрупове збільшення частоти МЯ у них зумовлене в основному підвищеною частотою МЯ в лімфоцитах осіб молодого й середнього віку. У віці старше 50 років різниці в частоті МЯ в клітинах крові самоселів й киян не виявлено (рис. 1).

Ми провели зіставлення даних про радіонуклідне забруднення територій сіл і середні дозові навантаження на їх мешканців за весь післяаварійний період та за останні 3 роки перед обстеженням із середньогруповою частотою надспонтанних (індукованих) МЯ в лімфоцитах периферичної крові (табл.1). Надспонтанну частоту визначали як різницю між середньо-

груповою частотою МЯ в лімфоцитах самоселів з конкретних сіл і відповідних підгруп киян. Підгрупи киян формували з урахуванням віку, статі та звички курити в групах мешканців окремих сіл. Зазначені чинники враховували на підставі результатів попередніх досліджень щодо залежностей виходу МЯ від віку і куріння у клінічно здорових киян [15]. Хоча й не було виявлено залежності спонтанної частоти МЯ від статі осіб, ми не виключали ймовірності різної радіочутливості лімфоцитів у жінок і чоловіків, і тому при формуванні груп порівняння враховували і стать. Також на підставі того, що період півжиття лімфоцитів периферичної крові становить приблизно 3 роки [3, 16] і кінетика їхньої елімінації здійснюється за експоненціальним законом [16], ми проводили аналіз не лише відносно інтегральних доз опромінення, а і доз за останні 3 роки до обстеження. Аналіз за Спірменом виявив кореляцію надспонтанної частоти МЯ із забрудненням ⁹⁰Sr територій сіл, середньогруповою дозою на червоний кістковий мозок і дозою внутрішнього опромінення на все тіло за весь період і останні 3 роки проживання в зоні (при $p=0,05$ $r=0,9$, що є мінімальним значенням коефіцієнта рангової кореляції, при якому зв'язок можна вважати значущим).

Визначені діапазони індивідуалізованих дозових навантажень у обстежених самоселів за весь післяаварійний період становили: на червоний кістковий мозок — 24–140 мЗв; на все тіло: зовнішньо-

Таблиця 1 — Дані радіонуклідного забруднення територій сіл зони відчуження ЧАЕС, доз опромінення і вмісту МЯ в лімфоцитах периферичної крові самоселів ($M \pm m$)

Radionuclide contamination of the villages from the alienation zone, irradiation doses and MN amount in peripheral blood lymphocytes ($M \pm m$)

| Населений пункт | Щільність забруднення (Кі/км ²) | | Середні сумарні дози опромінення (мЗв) | | | | | Діапазон частоти МЯ (%) | Середня частота МЯ (%) | Розподіл клітин за кількістю МЯ (%) | | Частота МЯ в лімфоцитах киян (%) | Надспонтанна частота МЯ (%) |
|-------------------|---|----------|--|----------|----------------|-----|------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|----------|----------------------------------|-----------------------------|
| | | | на все тіло | | | | на червоний кістковий мозок* | | | 1 | 2 | | |
| | | | 1986-1995 рр. | | 1993-1995 рр.* | | | | | | | | |
| ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr | зовнішнє | внутрішнє | зовнішнє | внутрішнє | | | | | | | | |
| Городище (n = 5) | 2,0±0,4 | 0,9±0,2 | 17,5 | 1,9 | 20,9 | 0,8 | 24,2 | 10-14 | 12,2±0,8 | 12,2±0,8 | - | 8,7±1,9 | 3,5 |
| Ілліні (n = 6) | 2,2±0,3 | 1,1±0,3 | 20,2 | 2,1 | 18,0 | 2,0 | 45,4 | 7-19 | 12,2±1,7 | 12,2±1,7 | - | 10,9±1,4 | 1,3 |
| Куповате (n = 4) | 2,9±0,6 | 2,5±0,5 | 23,6 | 2,8 | 27,2 | 2,3 | 68,9 | 10-18 | 13,8±1,8 | 13,8±1,8 | - | 9,4±1,3 | 4,4 |
| Луб'янка (n = 7) | 11,0±2,9 | 3,9±0,6 | 53,9 | 10,5 | 38,2 | 3,6 | 77,4 | 12-24 | 16,3±1,8 | 14,9±1,6 | 0,7±0,02 | 10,6±1,3 | 5,7 |
| Опаччі (n = 4) | 8,0±2,2 | 5,5±1,1 | 37,5 | 7,6 | 36,9 | 4,9 | 140,0 | 16-22 | 19,3±1,3 | 16,3±1,2 | 1,5±0,06 | 10,7±1,4 | 8,6 |

Примітка: * $r = 0,90$ при $p < 0,05$.

го — 12–97мЗв, внутрішнього — 13–96 мЗв. Зіставлення індивідуальної частоти індукованих МЯ в лімфоцитах самоселів та їх індивідуалізованих доз опромінення з використанням непараметричних і параметричних методів аналізу (табл. 2) не встановило залежності між ними, а лише, як свідчать наведені коефіцієнти кореляції, виявило більшу тенденцію до зв'язку з дозами на все тіло за останні три роки перед обстеженням і дозою на червоний кістковий мозок.

Щоб уникнути ймовірного впливу на результат вікової радіочутливості, ми проаналізували 9 самоселів близького віку, які отримали різні дози опромінення (табл.3).

Такий підхід виявив вірогідну залежність частоти МЯ від дози на червоний кістковий мозок і показав тенденцію до кореляції з дозами за 3 останні роки внутрішнього й сумарного опромінення (при кількості обстежених 9 мінімальне значення коефіцієнта рангової кореляції, при якому зв'язок можна вважати значущим з надійністю $p=0,05$, дорівнює 0,633 [13]). Останній варіант аналізу, хоча і має малу вибірку, на наш погляд, є найбільш

коректним. Відсутність кореляції між рівнем нестабільності хромосомного матеріалу та інтегральною дозою опромінення на все тіло, ймовірно, пов'язана, в першу чергу, з індивідуальною кінетикою елімінації лімфоцитів з периферичної крові. Відомо, що тривалість життя основної маси Т-лімфоцитів у різних осіб варіює від 530 до 1600 діб залежно від індивідуальної чутливості до різних чинників [16]. Напевно, надфонова радіація є одним із таких чинників. Якщо виходити з максимального терміну життя лімфоцита, то на час проведення нашого обстеження в периферичній крові не повинно було залишитися клітин, наявних на час початку опромінювання; винятком може бути незначний відсоток довгоживучих лімфоцитів «пам'яті». В роботі [17] зазначено, що при тривалому опромінюванні, час якого значно перевищує час життя лімфоцитів, слід очікувати виходу нестабільних хромосомних ушкоджень на плато, але в залежності від індивідуальної варіабельності в кінетиці елімінації аберантних лімфоцитів вихід на плато і його рівень, ймовірно, індивідуальні. Саме це може й зумовлювати відсутність залежності від

Таблиця 2 — Параметри лінійної залежності надспонтанної частоти МЯ в лімфоцитах самоселів від доз опромінення ($ЧМЯ = a + bS \text{доза}$)

Parameters of linear correlation of supra-spontaneous incidence of MN in the lymphocytes of wilful residents and irradiation dose (incidence of MN = $a + bS \text{dose}$)

| Оцінка дози опромінення | | | Коефіцієнти регресії | | R | p |
|-----------------------------|---------------|--------------|----------------------|-----------|------|------|
| | | | α | β | | |
| на все тіло | 1986–1995 рр. | внутрішнього | 3,7±1,5 | 0,04±0,04 | 0,23 | 0,3 |
| | | зовнішнього | 4,1±1,5 | 0,03±0,04 | 0,16 | 0,4 |
| | | сумарного | 3,9±1,6 | 0,02±0,02 | 0,20 | 0,3 |
| | 1992–1995 рр. | внутрішнього | 2,4±1,8 | 1,03±0,59 | 0,34 | 0,09 |
| | | зовнішнього | 3,2±1,4 | 0,37±0,21 | 0,34 | 0,09 |
| | | сумарного | 2,8±1,5 | 0,30±0,16 | 0,35 | 0,08 |
| на червоний кістковий мозок | | | 2,6±1,7 | 0,04±0,02 | 0,33 | 0,09 |

Таблиця 3 — Коефіцієнти кореляції частоти МЯ в лімфоцитах крові з індивідуалізованими дозами радіаційного навантаження для самоселів у віці 36–38 років (за Спірменом; $p = 0,05$)

Coefficient of correlation of MN incidence in the lymphocytes and individual doses of radiation load in wilful residents aged 36-38 (according to Spirmen, $p = 0.05$)

| Оцінка дози опромінення | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|--------------|-----------|------------------------------|--------------|-----------|
| на червоний кістковий мозок | на все тіло за 1986–1995 рр. | | | на все тіло за 1992–1995 рр. | | |
| | зовнішнього | внутрішнього | сумарного | зовнішнього | внутрішнього | сумарного |
| 0,65* | 0,42 | 0,52 | 0,50 | 0,60 | 0,62 | 0,51 |

Примітка: * — вірогідний зв'язок.

інтегральної дози за період опромінювання у самоселів. Ідея про підвищення ролі індивідуальної радіочутливості в формуванні цитогенетичних ушкоджень за умови пролонгованого опромінювання в малих дозах уже висловлювалася в роботі [18] на підставі невиявлення дозової залежності при аналізі рівня хромосомних аберацій в лімфоцитах крові численних чорнобильських контингентів: і ліквідаторів аварії, і населення забруднених радіонуклідами територій.

Беручи до уваги відомості про залежність частоти цитогенетичних ушкоджень лімфоцитів крові за умов гострого опромінювання від віку людей, ми вважали за доцільне провести аналогічний аналіз радіочутливості лімфоцитів у самоселів зони за умов пролонгованого впливу радіації. Аналіз виявив обернену кореляцію між віком обстежених і частотою надспонтанних МЯ на одиницю дози опромінення. Як приклад на рис. 2 подано залежність від віку величини надспонтанної частоти МЯ на одиницю дози на червоний кістковий мозок. Найбільш виразний обернений зв'язок визначено для надспонтанної частоти МЯ на одиницю дози на червоний кістковий мозок ($R = -0,75$) і дози на все тіло за три останні роки опромінювання (сумарного — $R = -0,73$, внутрішнього — $R = -0,77$ та зовнішнього — $R = -0,67$).

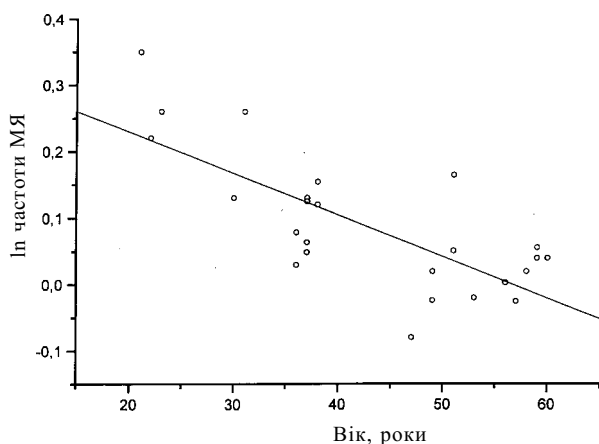


Рис. 2 — Залежність надспонтанної частоти МЯ в лімфоцитах периферичної крові на одиницю дози на червоний кістковий мозок від віку самоселів

Fig. 2 — Dependence of supra-spontaneous incidence of MN in peripheral blood lymphocytes per unit of dose in the red bone marrow and age

Напевно, низькопотужнісне опромінення може призводити у геномі стовбурових клітин кісткового мозку до таких змін на молекулярному рівні, які при пролонгації опромінювання на наступних стадіях визрівання лімфоцита і протягом його циркуляції в периферії сприятимуть підвищенню нестабільності його генетичного апарату. Геном клітин кісткового мозку дітей і людей молодого віку, коли процеси кровотворення йдуть більш активно, ніж у середньому й літньому віці, ймовірно, є більш радіочутливим. Трьом особам, які за частотою МЯ виявили найбільшу радіочутливість, на час проведення обстеження було 21–23 роки, а на час початку пролонгованого опромінювання — 11–13 років. За даними роботи [19], у разі гострого опромінення (1Гр) найбільш радіорезистентними за частотою хромосомних аберацій є лімфоцити 20–40-річних осіб. Радіочутливість клітин дітей і 55–65-річних осіб є вищою. Подібну залежність спостерігали і щодо МЯ в лімфоцитах крові [20]. Відомо, що в клітинах людей активність процесів репарації ушкоджень генетичного матеріалу з віком уповільнюється [21]. Цим пояснюють збільшення з віком і спонтанних, і індукованих в умовах гострого опромінювання генетичних ушкоджень. Але ми припускаємо, що опромінення в умовах зони відчуження може гальмувати в людей літнього віку уповільнення репараційних процесів. Втім, це припущення потребує ретельного вивчення із достатньою кількістю спостережень.

Висновки

1. У самоселів 30-кілометрової зони відчуження ЧАЕС середньогрупова частота МЯ в лімфоцитах периферичної крові вірогідно ($p < 0,001$) більша ($14,6 \pm 0,8\%$) порівняно з групою киян ($10,0 \pm 0,5\%$), але у самоселів і киян віком старше 50 років різниці в частоті МЯ в клітинах крові не виявлено.

2. Середньогрупова індукована частота МЯ в лімфоцитах периферичної крові мешканців різних сіл зони залежить від рівня забрудненості ^{90}Sr територій проживання, доз на червоний кістковий мозок, внутрішнього опромінення на все тіло за весь післяаварійний період і за три останні

роки проживання в зоні ($r=0,9$ при $p<0,05$).

3. Індивідуальна індукована частота МЯ в лімфоцитах крові самоселів зони відчуження ЧАЕС не корелює з їх індивідуальними дозами на все тіло (суми зовнішнього і внутрішнього опромінення у діапазоні 25–193 мЗв) і корелює з індивідуальними дозами на червоний кістковий мозок (20–140 мЗв).

4. У самоселів зони величина надспонтанної частоти МЯ в лімфоцитах крові на одиницю дози опромінення має обернену залежність від віку, що свідчить про більшу чутливість до пролонгованого опромінення людей молодого віку.

5. Тест частоти МЯ в лімфоцитах периферичної крові можна використовувати для групової біоіндикації надфонового низькопотужнісного опромінення людей, які проживають на територіях, забруднених радіонуклідами. МЯ-тест не можна застосовувати для біодозиметрії низькопотужнісного опромінення всього тіла. Доцільно проводити подальші дослідження з метою визначення його придатності для біодозиметрії опромінення червоного кісткового мозку. Збільшення частоти МЯ в окремих осіб можна розглядати як сигнал потенційного ризику для здоров'я.

Література

1. Lushbaugh C.C., Fry S.A., Hubner K.F., Ricks R.C. *Total body irradiation: a historical review and follow-up. The medical basis for radiation accidents preparedness.* New-York: Elsevier, 1980. — P. 3–15.
2. Всебічна оцінка ризиків внаслідок аварії на ЧАЕС // УНТЦ. — 1998. — Проект №369.
3. *Biological Dosimetry: Chromosomal aberration analysis for dose assessment.* Tech.Rep.№260, 1986.
4. Stephan G., Oestreicher U. // *Mutat. Res.* — 1993. — Vol. 319. — P. 189–196.
5. *Evaluation of four somatic mutation assays for biological dosimetry of radiation-exposed people including atomic bomb survivors.* Nakamura N., Umeki S., Hirai Y., et al. *New Horizons in biological dosimetry.* — 1991. — P. 341–350.
6. Wuttke K., Streffer C., Muller W.-U., et al. // *Int. J. Radiat. Biol.* 1996. — Vol. 69, №2. — P. 259–268.
7. Ильинских Н.Н., Ильинских Е.Н., Иванчук И.И., Rogozin E.A. // *Рад. биол. Радиоэкол.* — 1998. — Т. 38, №2. — С. 164–169.
8. Воробцова И.Е., Воробьева М.В., Богомазова А.Н., Пюккенен А.Ю., Архангельская Т.Б. // *Рад. биол. Радиоэкол.* — 1995. — Т. 35, №5. — С. 630–635.
9. Шевченко В.А., Акаева Э.А., Арутюнянц В.Д. и др. // *Чернобыль'88: Докл.1 Всесоюз.науч.-тех.сов. по итогам ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.* — 1989. — Вып. 3, №1. — С. 225–243.
10. Бездробная Л.К., Романова Е.П., Дрозд И.П., Федюк Е.А., Коваль Г.Н. // *Цитол. и генет.* — 1997. — Т. 31, №1. — С. 41–46.
11. Колюбаева С.Н., Мясникова Л.В., Ракецкая В.Л. *Использование микроядерного теста для индикации*

пострадиационных эффектов у человека: Метод. рекоменд. — Л., 1991. — 12 с.

12. Урбах В.Ю. *Математическая статистика для биологов и медиков.* — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 323 с.
13. Гублер Е.В., Генкин А.А. *Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях.* — Л.: Медицина, 1973. — 141 с.
14. *Limits for intakes of radionuclides by works: Part 1-3, ICRP Publication 30.*
15. Романова О.П. *Частота микроядер у лимфоцитах периферичної крові жителів Києва: Препр. КІЯД-99-2.* — К., 1999. — 10 с.
16. Bender M.A., Awa A.A., Brooks et al. // *Mutat. Res.* — 1988. — Vol. 196. — P. 103–159.
17. Buckton R.E., Smith P.G., Court Brown W.M. *Human Radiation Cytogenetics / Eds H.J. Evans W.N., Court Brown W.M., A.S. McLean.* — Amsterdam: North-Holland, 1967. — P. 106–114.
18. Нугис В.Ю. // *Мед. радиол.* — 1996. — С. 63–67.
19. Бочков Н.П. *Хромосомы человека и облучение.* — М.: Атомиздат, 1971. — 168 с.
20. Fenech M., Morley A.A. // *Mutat. Res.* — 1985. — Vol. 148. — P. 99–105.
21. Виленчик М.М. *Нестабильность ДНК и отдаленные последствия воздействия излучений.* — 1987. — 192 с.

Дата надходження: 24.11.2000.

Адреса для листування:
Романова Олена Петрівна,
НЦ «ІЯД» НАН України, пр-т Науки, 47, Київ, 01028,
Україна