



МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
**ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ КАТАСТРОФІ**  
**40 РОКІВ**

**НАСЛІДКИ, ВИКЛИКИ, ЗАГРОЗИ**

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
**40 YEARS SINCE**  
**THE CHORNOBYL CATASTROPHE**  
**CONSEQUENCES, CHALLENGES, THREATS**

Програма та тези доповідей  
Program and Abstracts





Національна академія медичних наук України  
ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології»

National Academy of Medical Sciences of Ukraine  
SI «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology»

МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
**«ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ КАТАСТРОФІ  
40 РОКІВ**

**НАСЛІДКИ, ВИКЛИКИ, ЗАГРОЗИ»**

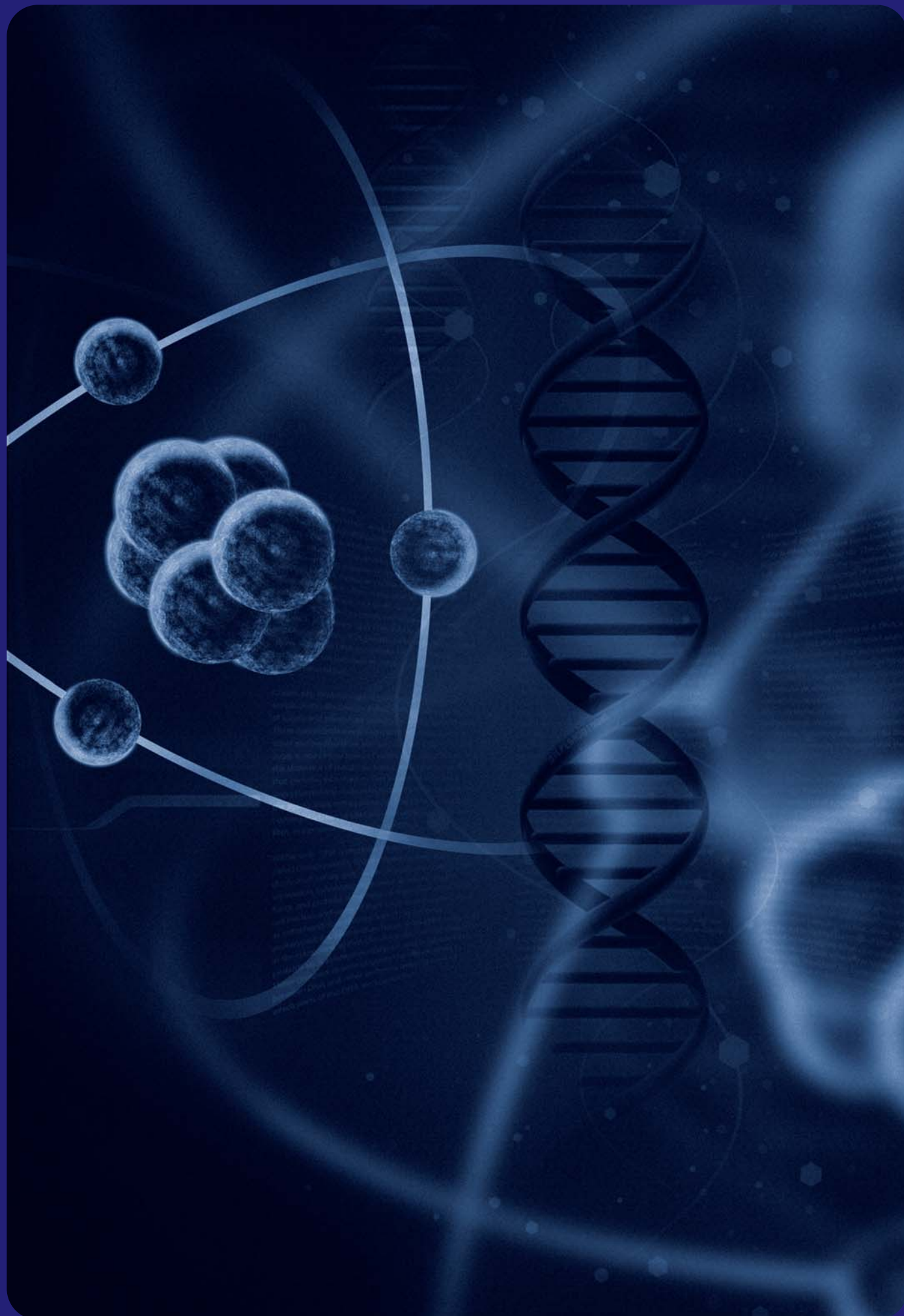
25–26 квітня 2026 року

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
**«40 YEARS SINCE  
THE CHORNOBYL CATASTROPHE**  
**CONSEQUENCES, CHALLENGES, THREATS»**

April 25–26, 2026

Програма та тези доповідей  
Program and Abstracts

Тези видано за підтримки  
Товариства Червоного Хреста України



---

## АДРЕСА ПРОВЕДЕННЯ КОНФЕРЕНЦІЇ

### Офлайн формат

5–7, Бульвар Тараса Шевченка, готель Прем'єр Палац, Київ, Україна

### Онлайн формат

<https://us06web.zoom.us/j/83569883519?pwd=0seNKmBH2tRtwywg5hUAGUnVr4g5PK.1>

ID: 835 6988 3519

Passcode: 203734

### Online streaming

<https://www.youtube.com/live/enwl8j7xlL4>

Астрономічних – 14 годин

Академічних – 18 годин

### Форма для реєстрації

<https://forms.gle/furDatNKrh2XanFVA>

---

## CONFERENCE VENUE

### Offline format

5–7/29 Taras Shevchenko Boulevard, Kyiv, Ukraine Premier Palace Hotel

### Online format

<https://us06web.zoom.us/j/83569883519?pwd=0seNKmBH2tRtwywg5hUAGUnVr4g5PK.1>

ID: 835 6988 3519

Passcode: 203734

### Online streaming

<https://www.youtube.com/live/enwl8j7xlL4>

### Registration form

<https://forms.gle/furDatNKrh2XanFVA>

## ПРОГРАМА

### Міжнародної науково-практичної конференції «ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ КАТАСТРОФІ 40 РОКІВ: НАСЛІДКИ, ВИКЛИКИ, ЗАГРОЗИ» 25–26 квітня 2026 року – Київ, Україна

Організатор – Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України» (ННЦРМГО), Центр співробітництва ВООЗ REMPAN

25 квітня 2026 року. День 1-й.

9.30–10.00 РЕЄСТРАЦІЯ  
ВІТАЛЬНА КАВА

10.00–10.20 УРОЧИСТЕ ВІДКРИТТЯ КОНФЕРЕНЦІЇ. КОНЦЕРТ-РЕКВІЄМ.

10.20–10.40 ВСТУПНЕ СЛОВО ВІД  
НАМН України  
Бюро ВООЗ в Україні

#### ВІТАННЯ

МАГАТЕ  
Міністерство охорони здоров'я України  
Міністерство соціальної політики, сім'ї та єдності України  
Парламентські комітети  
Чорнобильські громадські організації  
Представники посольств

10.40–10.55 ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОВГОТРИВАЛИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕДИЧНИХ ТА РАДІОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ  
Лазоришинець В. В., Сущко В.О., Базика Д.А., Жовнір В.А. і співавт., НАМН, ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, онкології та гематології Національної академії медичних наук України» (ННЦРМГО)

10.55–11.10 ПЕРЕРВА НА КАВУ І СПІЛКУВАННЯ З МЕДІА

#### ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

Модератор: Тронько М.Д., Лурін І.А.

11.10–11.25 40 РОКІВ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС: ДОСЯГНЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ РАДІОГЕННОГО ПОСТЧОРНОБИЛЬСЬКОГО ТИРЕОЇДНОГО РАКУ  
Тронько М.Д., Богданова Т.І., ДУ «Інститут ендокринології та обміну речовин ім. В.П. Комісаренка НАМН України»

11.25–11.40 ДОСВІД МІЖНАРОДНОГО АГЕНТСТВА З ДОСЛІДЖЕННЯ РАКУ З ДОСЛІДЖЕННЯ РИЗИКІВ РАКУ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ  
Кесмінієне А., Міжнародне агентство з дослідження раку

11.40–11.55 ДОСВІД ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ ЩОДО СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ ДЛЯ ПРОФІЛАКТИЧНОЇ МЕДИЦИНИ  
Шкробанець І.Д., Турос О.І., ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва»

## PROGRAM

### International Scientific Conference «40 YEARS SINCE THE CHORNOBYL CATASTROPHE: CONSEQUENCES, CHALLENGES, THREATS» April 25–26, 2026 – Kyiv, Ukraine

Hosted by the State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (NRCRMHO), the WHO REMPAN Collaborating Centre

April 25, 2026. Day 1.

9.30–10.00 REGISTRATION  
WELCOME COFFEE

10.00–10.20 OPENING OF THE CONFERENCE. CONCERT-REQUIEM.

10.20–10.40 INTRODUCTORY SPEECH FROM  
NAMS of Ukraine  
WHO office in Ukraine

#### GREETINGS

IAEA  
Ministry of health of Ukraine  
Ministry of social policy, family and unity of Ukraine  
Parliamentary committees  
Chornoby non-governmental organizations  
Representatives of embassies

10.40–10.55 LONG-TERM STUDIES OF MEDICAL AND RADIOLOGICAL CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE: KEY FINDINGS  
Lazoryshynets V.V., Sushko V.O., Bazyka D.A., Zhovnir V.A., et al., NAMS, SI «National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of the Medical Sciences of Ukraine» (NRCRMHO)

10.55–11.10 COFFEE BREAK. COMMUNICATION WITH MEDIA.

#### PLENARY SESSION

Moderators: Tronko M.D., Lurin I.A.

11.10–11.25 40 YEARS OF CHORNOBYL RESEARCH ON RADIATION-INDUCED THYROID CANCER  
Tronko M.D., Bogdanova T.I., The State Institution «V.P. Komisarenko Institute of Endocrinology and Metabolism of the NAMS of Ukraine»

11.25–11.40 INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC/WHO) STUDIES ON CANCER RISKS FOLLOWING CHORNOBYL  
Kesminiene A., The International Agency for Research on Cancer of the WHO

11.40–11.55 THE ROLE OF CHORNOBYL EXPERIENCE FOR PREVENTIVE MEDICINE TODAY  
Shkrobanets I.D., Turos O.I., The State Institution «Marzieiev Institute of Public Health of the NAMS of Ukraine»

- 11.55–12.10 ДІЯЛЬНІСТЬ НАГАСАКСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ В УКРАЇНІ  
Такамура Н., Інститут досліджень наслідків атомного бомбардування, Університет Нагасакі, Японія
- 12.10–12.20 МІЖНАРОДНИЙ КОМІТЕТ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ПРО ЕФЕКТИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ  
Лор'є Д., Міжнародний комітет радіаційного захисту
- 12.20–12.35 РОЛЬ ЧОРНОБИЛЬСЬКОГО ДОСВІДУ У ПІДВИЩЕННІ ГЛОБАЛЬНОЇ ГОТОВНОСТІ ТА РЕАГУВАННЯ НА РАДІАЦІЙНІ НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ  
Кенбаєва Ж., Секретаріат мережі медичної готовності реагування на радіаційні та ядерні надзвичайні ситуації (REMPAN), ВООЗ, Женева, Швейцарія
- 12.35–12.45 40 РОКІВ ЕПІДЕМІОЛОГІЧНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЮ АВАРІЄЮ. КЛЮЧОВИЙ ВНЕСОК У РАДІАЦІЙНІ ЕПІДЕМІОЛОГІЧНІ ЗНАННЯ.  
Кардіс Е., Барселонський інститут глобального здоров'я, Іспанія

### ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ

Модератори: **Базика Д.А., Турос О.І.**

- 12.45–12.55 РЕТРОСПЕКТИВНА ПІСЛЯАВАРІЙНА ДОЗИМЕТРІЯ: ВІД ЧОРНОБИЛЯ ДО СЬОГОДЕННЯ  
Чумак В.В., ННЦРМГО
- 12.55–13.10 РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНИЧНИЙ МОНИТОРИНГ НА ПОТОЧНОМУ ЕТАПІ АВАРІЇ НА ЧАЕС ТА ГОТОВНІСТЬ ДО ІСНУЮЧИХ НЕБЕЗПЕК РАДІАЦІЙНОГО ХАРАКТЕРУ  
Василенко В.В. і співавт., ННЦРМГО

13.10–14.00 ОБІД

14.00–16.00 **КОНФЕРЕНЦТУР (ЗА БАЖАННЯМ):** Навчальний Центр радіаційної дозиметрії. Клініка ННЦРМГО.

- 14.00–14.15 ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ В КОНТЕКСТІ ІСНУЮЧОЇ СИТУАЦІЇ ОПРОМІНЕННЯ  
Павленко Т.О., ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва»
- 14.15–14.25 ДОЗИМЕТРИЧНА ПАСПОРТИЗАЦІЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ УКРАЇНИ: ПРОБЛЕМИ ТА ВИКЛИКИ  
Масюк С.В., ННЦРМГО
- 14.25–14.35 КОГОРТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОБОВОГО НАДХОДЖЕННЯ ЦЕЗІЮ-137 ЖИТЕЛІВ СЕЛА НАРОДИЧИ  
Бузинний М.Г. і спів., Інститут громадського здоров'я НАМН України, Медичний університет Доккіо, Тогічі, Японія Житомирський національний агроекологічний університет

- 11.55–12.10 NAGASAKI UNIVERSITY ACTIVITIES IN UKRAINE  
Takamura N., Department of Disaster Resilience and Science, Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University, Japan
- 12.10–12.20 THE ROLE OF CHORNOBYL HEALTH EFFECTS RESEARCHES TO INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP) WORK  
Laurier D., ICRP
- 12.20–12.35 THE ROLE OF CHORNOBYL EXPERIENCE IN ADVANCING GLOBAL PREPAREDNESS AND RESPONSE TO RADIATION EMERGENCIES  
Kenbayeva Z., Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network (REMPAN) Secretariat, WHO, Geneva, Switzerland
- 12.35–12.45 40 YEARS OF CHORNOBYL EPIDEMIOLOGICAL FOLLOW-UP. KEY CONTRIBUTIONS TO RADIATION EPIDEMIOLOGICAL KNOWLEDGE.  
Cardis E., Instituto de Salud Global de Barcelona, Spain

### RADIATION DOSIMETRY

Moderators: **Bazyka D.A., Turos O. I.**

- 12.45–12.55 RETROSPECTIVE POST-ACCIDENT DOSIMETRY: FROM CHORNOBYL TO THE PRESENT DAY  
Chumak V.V., NRCRMHO
- 12.55–13.10 ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE POST-CHORNOBYL STAGE AND PREPAREDNESS FOR POTENTIAL RADIATION HAZARDS  
Vasylenko V.V. et al., NRCRMHO

13.10–14.00 LUNCH

14.00–16.00 **CONFERENCE TOUR (OPTIONAL):** Radiation dosimetry training center. The NRCRMHO Clinic.

- 14.00–14.15 RADIATION DOSES OF THE POPULATION IN THE CONTEXT OF THE EXISTING SITUATION OF EXPOSURE  
Pavlenko T.O., The State Institution «Marzieiev Institute of Public Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine»
- 14.15–14.25 DOSIMETRY CERTIFICATION OF SETTLEMENTS OF UKRAINE: PROBLEMS AND CHALLENGES  
Masyuk S.V., NRCRMHO
- 14.25–14.35 COHORT STUDIES OF THE DAILY INTAKE OF CESIUM-137 RESIDENTS OF THE VILLAGE OF NARODYCHI  
Buzynnyi M.G. et al., The State Institution «Marzieiev Institute of Public Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Dokkio Medical University, Togichi, Japan, Zhytomyr National Agroecological University, Ukraine

## ЕФЕКТИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я

### РАДІОІНДУКОВАНА ПАТОЛОГІЯ. МУЛЬТИДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД ДО ДІАГНОСТИКИ ТА ЛІКУВАННЯ.

Модератори: Антипкін Ю.Г., Сушко В.О.

- 14.35–14.45 МЕДИКО-ПСИХОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ: СУБ'ЄКТИВНЕ МИСЛЕННЯ ТА ОБ'ЄКТИВНА РЕАЛЬНІСТЬ  
Панченко О.А., Науково-практичний медичний реабілітаційно-діагностичний центр МОЗ України
- 14.45–14.55 ОСНОВНІ МЕДИЧНІ НАСЛІДКИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ПОСТРАЖДАЛОГО НАСЕЛЕННЯ У ВІДДАЛЕНОМУ ПІСЛЯАВАРІЙНОМУ ПЕРІОДІ  
Сушко В.О., Базика Д.А., Колосинська О.О., Вдовенко В.В., ННЦРМГО
- 14.55–15.05 ЕФЕКТИ ОПРОМІНЕННЯ У УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ  
Базика Д.А., ННЦРМГО
- 15.05–15.15 ЕПІДЕМІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХВОРЮВАНOSTI ТА СМЕРТНОСТІ ВІД ОСНОВНИХ НЕПУХЛІННИХ ХВОРОБ У ОСІБ, ПОСТРАЖДАЛИХ ВІД ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ  
Федірко П.А., ННЦРМГО
- 15.15–15.25 ОНКОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ ВІДДАЛЕНОГО ПЕРІОДУ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС: ПІДСУМКИ 40 РОКІВ ЕПІДЕМІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
Гудзенко Н.А., Присяжнюк А.Є., Базика Д.А. і співавт., ННЦРМГО
- 15.25–15.35 СОРОК РОКІВ ПОТОМУ: МЕДИКО-БІОЛОГІЧНА ОЦІНКА НЕСЛІДКІВ 1-ОЇ ФАЗИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЇ НА ЧАЕС  
Чехун В.Ф., Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького
- 15.35–15.45 ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ У УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЇ НА ЧАЕС У ВІДДАЛЕНОМУ ПІСЛЯАВАРІЙНОМУ ПЕРІОДІ  
Білий Д.А., Настіна О.М., Курсіна Н. В., Сидоренко Г.В., Базика О.Д., ННЦРМГО
- 15.45–15.55 РАДІАЦІЙНО ІНДУКОВАНА ПАТОЛОГІЯ БРОНХОЛЕГЕНЕВОЇ СИСТЕМИ У УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС  
Сушко В.О., Швайко Л.І., Базика К.Д., ННЦРМГО
- 15.55–16.05 СТАН ЕНДОКРИННОЇ СИСТЕМИ – 40 РОКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС  
Камінський О. В., Копилова О. В., Афанасьєв Д.Є. і співавт., ННЦРМГО
- 16.05–16.15 МЕДИЧНА ЕКСПЕРТИЗА ЗАХВОРЮВАНЬ, ЩО ПРИЗВОДЯТЬ ДО ВТРАТИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТА СМЕРТІ В РЕЗУЛЬТАТІ РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЕННЯ В УМОВАХ ВІДДАЛЕНОГО ПІСЛЯАВАРІЙНОГО ПЕРІОДУ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ  
Сушко В.О., Колосинська О.О., Вдовенко В.В., Берестяна Ж.М., ННЦРМГО

## HEALTH EFFECTS

### RADIATION-INDUCED PATHOLOGY. A MULTIDISCIPLINARY APPROACH TO DIAGNOSIS AND TREATMENT

Moderators: Antypkin Yu.G., Sushko V.O.

- 14.35–14.45 MEDICAL-PSYCHOLOGICAL CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL DISASTER: SUBJECTIVE THINKING AND OBJECTIVE REALITY  
Panchenko O.A., Scientific and Practical Medical Rehabilitation and Diagnostic Center of the Ministry of Health of Ukraine
- 14.45–14.55 LONG-TERM HEALTH CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE FOR THE SURVIVED POPULATION  
Sushko V.O., Bazyka D.A., Kolosynska O.O., Vdovenko V.V., NRCRMHO
- 14.55–15.05 RADIATION EXPOSURE EFFECTS IN CHORNOBYL CLEAN-UP WORKERS  
Bazyka D.A., NRCRMHO
- 15.05–15.15 EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ON NON-CANCER DISEASES IN CHORNOBYL AFFECTED POPULATIONS  
Fedirko P.A., NRCRMHO
- 15.15–15.25 40 YEARS OF FOLLOW-UP OF CHORNOBYL CLEAN-UP WORKERS: CANCER EPIDEMIOLOGY STUDIES  
Gudzenko N.A., Prysyazhyuk A.E., Bazyka D.A. et al., NRCRMHO
- 15.25–15.35 FORTY YEARS LATER: A MEDICAL AND BIOLOGICAL ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF THE FIRST PHASE OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE LIQUIDATION  
Chekhun V., RE Kavetsky Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology, National Academy of Sciences of Ukraine
- 15.35–15.45 PARTICIPATION IN WORKS TO ELIMINATE THE CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL ACCIDENT AS ONE OF THE RISK FACTORS FOR THE DEVELOPMENT OF HYPERTENSIVE AND ISCHEMIC HEART DISEASE  
Belyi D.A., Nastina O.M., Kursina N.V., Sydorenko G.V., Bazyka O.D., NRCRMHO
- 15.45–15.55 RADIATION-INDUCED PATHOLOGY OF THE BRONCHOPULMONARY SYSTEM IN CHORNOBYL CLEAN-UP WORKERS  
Sushko V.O., Shvaiko L.I., Bazyka K.D., NRCRMHO
- 15.55–16.05 THE STATE OF THE ENDOCRINE SYSTEM – 40 YEARS OF FOLLOW-UP  
Kaminsky O.V., Kopylova O.V., Afanasiev D.E., NRCRMHO
- 16.05–16.15 MEDICAL EXAMINATION OF DISEASES LEADING TO DISABILITY AND DEATH AS A RESULT OF CHORNOBYL RADIATION EXPOSURE: FOUR DECADES OF EXPERIENCE  
Sushko V.O., Kolosynska O.O., Vdovenko V.U., Berestyana Zh.M., NRCRMHO

16.15–16.25 ПЕРЕРВА НА КАВУ

### ВПЛИВ НА РЕПРОДУКТИВНЕ ЗДОРОВ'Я

Модератори: Возіанов С.О., Жовнір В.А.

- 16.25–16.40 ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ ГОСТРОГО ТА ХРОНІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ НА СТАН РЕПРОДУКТИВНОГО ЗДОРОВ'Я  
Антипкін Ю.Г., Давидова Ю.В., ДУ «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України»
- 16.40–16.55 ПОРІВНЯННЯ ПАТОЛОГІЙ ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ, СПРИЧЕНЕНИХ ВПЛИВОМ РАДІАЦІЇ В ХІРОСІМІ, ТА ВРОДЖЕНИХ ПАТОЛОГІЙ, ВИКЛИКАНИХ ВПЛИВОМ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ  
Нобуо Такейчі, Хіросімський університет, Японія
- 16.55–17.05 ОСОБЛИВОСТІ ПАТО- І МОРФОГЕНЕЗУ ЧОЛОВІЧОЇ НЕПЛІДНОСТІ В УКРАЇНІ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ  
Базалицька С.В.<sup>1</sup>, Персидський Ю.В.<sup>2</sup>, Романенко А.М.<sup>1</sup>, Возіанов С.О.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ДУ «Інститут урології ім. акад. О.Ф.Возіанова» НАМН України (Київ, Україна)  
<sup>2</sup>Temple University, Lewis Katz School of Medicine (Philadelphia, USA)
- 17.05–17.20 РІВЕНЬ УСПАДКОВАНИХ МУТАЦІЙ В МІНІСАТЕЛІТНИХ ЛОКУСАХ У ДІТЕЙ ВІД БАТЬКІВ ЛІКВІДАТОРІВ КАТАСТРОФИ НА ЧАЕС  
Лівшиць Л.А., Інститут молекулярної біології і генетики НАН України; Антипкін Ю.Г. ДУ «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України»; Верню Ж., Інститут генетики та мікробіології Університету Париж-Суд (Франція)
- 17.20–17.30 МОРФОЛОГІЧНІ, ІМУНОГІСТОЛОГІЧНІ ТА УЛЬТРАСТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ФЕТОПЛАЦЕНТАРНОГО КОМПЛЕКСУ ПРОТЯГОМ 40 РОКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ  
Задорожна Т.Д., Бондаренко Ю.М., Антипкін Ю.Г. і співавт., ДУ «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України»
- 17.30 –17.40 ПРОПОЗИЦІЯ З ТОЧКИ ЗОРУ ПСИХІЧНОГО ЗДОРОВ'Я ДЛЯ СПРИЯННЯ ЗДОРОВ'Ю УКРАЇНСЬКОГО НАРОДУ.  
Кен Іноє, Задорожна Т.Д., Такейчі Н. І співавт., Кочі університет, Японія, ВЦМД, Україна, Хіросімський університет, Японія

17.40–18.00 ОБГОВОРЕННЯ ДОПОВІДЕЙ  
КАВА

16.15–16.25 COFFEE BREAK

### IMPACT ON REPRODUCTIVE HEALTH

Moderators: Vozianov S.O., Zhovnir V.A.

- 16.25–16.40 LONG-TERM REPRODUCTIVE HEALTH CONSEQUENCES OF ACUTE AND CHRONIC CHORNOBYL RADIATION EXPOSURE  
Antypkin Yu.G., Davydova Yu.V., The State Institution «All-Ukrainian Center for Motherhood and Childhood of The National Academy of Medical Sciences of Ukraine»
- 16.40–16.55 COMPARISON OF THYROID PATHOLOGIES CAUSED BY EXPOSURE TO RADIATION IN HIROSHIMA AND CONGENITAL THYROID PATHOLOGIES CAUSED BY THE IMPACT OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE  
Nobuo Takeichi, University of Hiroshima, Japan
- 16.55–17.05 PATHOGENETIC AND MORPHOLOGY FEATURES OF MALE INFERTILITY IN UKRAINE AFTER CHORNOBYL CATASTROPHE  
Bazalytska S.V.<sup>1</sup>, Persydsky Yu. V.<sup>2</sup>, Romanenko A.M.<sup>1</sup>, Vozianov S.O.<sup>1</sup>, The State Institution  
<sup>1</sup>«Institute of Urology named after acad. O.F. Vozianov of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine»  
<sup>2</sup>Temple University, Lewis Katz School of Medicine, Philadelphia, USA
- 17.05–17.20 LEVEL OF INHERITED MUTATIONS IN MINISATELLITE LOCI IN CHILDREN OF PARENTS OF CHORNOBYL CLEAN-UP WORKERS  
Livshits L.A., Institute of Molecular Biology and Genetics of The National Academy of Sciences of Ukraine, Antypkin Yu.G., The State Institution «All-Ukrainian Center for Motherhood and Childhood of The National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Vernu G., Institute of Genetics and Microbiology, University of Paris-Sud, France
- 17.20–17.30 MORPHOLOGICAL, IMMUNOHISTOLOGIC, AND ULTRASTRUCTURAL FEATURES OF THE FETOPLACENTAL COMPLEX IN CHORNOBYL POPULATION  
Zadorozhna T.D., Bondarenko Yu.M., Antypkin Yu.G et al., The State Institution «All-Ukrainian Center for Motherhood and Childhood of The National Academy of Medical Sciences of Ukraine»
- 17.30–17.40 A PROPOSAL FROM THE PERSPECTIVE OF MENTAL HEALTH TO CONTRIBUTE TO THE HEALTH OF THE UKRAINIAN PEOPLE  
Ken Inoue, Zadorozhna T.D., Nobuo Takeichi et al., Kochi University, Japan, The State Institution «All-Ukrainian Center for Motherhood and Childhood of The National Academy of Medical Sciences of Ukraine» Ukraine, Hiroshima University, Japan.

17.40–18.00 DISCUSSION  
COFFEE

26 квітня 2026 року. День 2-й.

### НЕЙРО-ПСИХОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ

Модератори: Васюта В.А., Божук Б.С.

- 10.00–10.15 ДАВНО ВІДЛУНАЛИ ДЗВОНИ ЧОРНОБИЛЯ: СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ НЕВРОЛОГІЧНОЇ ПАТОЛОГІЇ У ДІТЕЙ З РАДІАЦІЙНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ  
Цимбалюк В.І., Антипкін Ю.Г., Кирилова Л.Г., Мірошніков О., НАМН України, ДУ «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України»
- 10.15–10.30 ПСИХОЛОГІЯ КАТАСТРОФ: ГЛОБАЛЬНІ НАСЛІДКИ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОГО І ПСИХІЧНОГО ЗДОРОВ'Я  
Матяш М.М., Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця
- 10.30–10.40 ВІД РАДІАЦІЙНОЇ КАТАСТРОФИ ДО КОЛЕКТИВНОГО ДИСТРЕСУ: 40 РОКІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЯ  
Божук Б.С., Стринадко-Кропатницька Я.В., ДУ «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва НАМН України» (ІМП)
- 10.40–10.50 АДИКТИВНІ ПОРУШЕННЯ В УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЇ НА ЧАЕС – 40 РОКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ  
Пострелко В. М. і співавт., Міжнародна академія екології та медицини, ННЦРМГО
- 10.50–11.00 ЕФЕКТИ ВПЛИВУ РАДІАЦІЙНОГО І НЕРАДІАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА РОЗВИТОК І ПРОГРЕСУВАННЯ ЦЕРЕБРОВАСКУЛЯРНОЇ ПАТОЛОГІЇ У ПОСТРАЖДАЛИХ ВНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС  
Кут К.В. і спів., ННЦРМГО

### ВПЛИВ НА СИСТЕМУ КРОВОТВОРЕННЯ

Модератор: Дягіль І.С., Клименко С.В.

- 11.00–11.15 ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ ВПЛИВУ АВАРІЇ НА ЧАЕС НА КРОВОТВОРНУ СИСТЕМУ  
Дягіль І.С., ННЦРМГО
- 11.15–11.25 ГЕМАТОЛОГІЧНИЙ СИНДРОМ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ТРАНСПЛАНТАЦІЇ КІСТКОВОГО МОЗКУ У ХВОРИХ НА ГОСТРУ ПРОМЕНЕВУ ХВОРОБУ  
Клименко С.В., КЛ «Феофанія» ДУС
- 11.25–11.35 ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ПІДХІД ДО ЛІКУВАННЯ ГОСТРОЇ ПРОМЕНЕВОЇ ХВОРОБИ  
Паулз Р. Лондонський онкологічний центр, Великобританія.
- 11.35–11.45 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ НАЯВНОСТІ ЦИРКУЛЮЮЧИХ КЛІТИН-ПОПЕРЕДНИКІВ У ПЕРИФЕРІЙНІЙ КРОВІ ОПРОМІНЕНИХ ЛАБОРАТОРНИХ ТВАРИН  
Руссу І. З., Білко Н. М., Національний університет «Києво-Могилянська академія»
- 11.45–12.00 ВПЛИВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ НА ЗДОРОВ'Я ДІТЕЙ ТА ЛІКВІДАТОРІВ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ: СПІВПРАЦЯ МІЖ США ТА УКРАЇНОЮ  
Морін Хатч, Національний інститут здоров'я США

12.00–12.15 ПЕРЕРВА НА КАВУ

April 26, 2026. Day 2.

### NEURO-PSYCHOLOGICAL CONSEQUENCES

Moderators: Vasiuta V.A., Bozhuk B.S.

- 10.00–10.15 THE BELLS OF CHERNOBYL HAVE ROUNDED LONG AGO: A MODERN LOOK AT THE PROBLEM OF NEUROLOGICAL PATHOLOGY IN CHILDREN FROM RADIATION-CONTAINED AREAS  
Tsymbaliuk V. I., Antypkin Yu.G., Kyrlyova L.G., Miroshnikov O., NAMS of Ukraine, The State Institution «All-Ukrainian Center for Motherhood and Childhood of the NNAMS of Ukraine»
- 10.15–10.30 PSYCHOLOGY OF CATASTROPHES: GLOBAL CONSEQUENCES FOR PUBLIC AND PSYCHOLOGICAL HEALTH  
Matyash M.M., Bogomolets National Medical University
- 10.30–10.40 FROM NUCLEAR DISASTER TO COLLECTIVE DISTRESS: 40 YEARS OF TRANSFORMATION OF THE CHORNOBYL CONSEQUENCES  
Bozhuk B.S., Strynadko-Kropatnytska Y.V., The State Institution «Kundiiev Institute of Occupational Health of the NAMS of Ukraine»
- 10.40–10.50 SUBSTANCE ABUSE DISORDERS IN CHORNOBYL CLEAN-UP WORKERS – 40 YEARS OF RESEARCH  
Postrelko V. M. et al., International Academy of Ecology and Medicine, NRCRMHO
- 10.50–11.00 EFFECTS OF RADIOLOGICAL AND NON-RADIOLOGICAL FACTORS ON THE DEVELOPMENT AND PROGRESSION OF CEREBROVASCULAR PATHOLOGY IN CHORNOBYL-AFFECTED POPULATIONS  
Kuts K.V., et al., NRCRMHO

### IMPACT ON THE HEMATOPOIETIC SYSTEM

Moderators: Diagil I.S., Klymenko S.V.

- 11.00–11.15 LONG-TERM CONSEQUENCES OF CHORNOBYL ON THE HEMATOPOIETIC SYSTEM  
Diagil I.S., NRCRMHO
- 11.15–11.25 HEMATOLOGICAL SYNDROME AND RESULTS OF BONE MARROW TRANSPLANTATION IN PATIENTS WITH ACUTE RADIATION SICKNESS  
Klymenko S.V., Feofaniya Clinical Hospital of the State Administration of Affairs of Ukraine
- 11.25–11.35 EUROPEAN APPROACH TO ARS MANAGEMENT  
Ray Powles, Icon Cancer Centre London
- 11.35–11.45 EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF CIRCULATING PROGENITOR CELLS IN THE PERIPHERAL BLOOD OF IRRADIATED LABORATORY ANIMALS  
Russu I. Z., Bilko N. M., National University of Kyiv-Mohyla Academy, Ukraine
- 11.45–12.00 CHORNOBYL RADIATION AND HEALTH EFFECTS IN CHILDREN AND CLEANUP WORKERS: COLLABORATIONS BETWEEN THE US AND UKRAINE  
Hatch M., U.S. Department of Health and Human Services Washington, D.C., USA

12.00–12.15 COFFEE BREAK

## ВПЛИВ НА ОРГАНИ ЧУТТЯ

Модератори: Заболотний Д.І., Шидловська Т.А.

- 12.15–12.30 СТАН СЛУХОВОЇ ТА ГОЛОСОУТВОРЮЮЧОЇ СИСТЕМ У ПОСТРАЖДАЛИХ ВНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧАЕС  
Шидловська Т.А., Шидловська Т.В., ДУ «Інститут отоларингології НАМН України»
- 12.30–12.45 ВЕСТИБУЛЯРНА ДИСФУНКЦІЯ У УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС. КЛІНІЧНИЙ ПРОГНОЗ, КРИТЕРІЇ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК  
Заболотний Д.І., Белякова І.А. і співавт. ДУ «Інститут отоларингології НАМН України»
- 12.45–13.00 ПРОМЕНЕВА КАТАРАКТА У ЛІКВІДАТОРІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС: УКРАЇНСЬКО-АМЕРИКАНСЬКИЙ ОФТАЛЬМОЛОГІЧНИЙ ПРОЄКТ ТА ЙОГО ТРИВАЛА НАУКОВА СПАДЩИНА  
Кундієва А.В., ДУ «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва НАМН України»

13.00–14.00 ОБІД

## РАДІОБІОЛОГІЯ. МОЛЕКУЛЯРНА БІОЛОГІЯ.

Модератори: Комісаренко С.В., Талько В.В.

- 14.00–14.15 РАДІОБІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АВАРІЇ НА ЧАЕС  
Талько В.В., ННЦРМГО
- 14.15–14.30 РАДІАЦІЙНИЙ ІМУНОДЕФІЦИТ, АБО «ЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ СНІД», У «ЛІКВІДАТОРІВ» ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ, ОПРОМІНЕНИХ ТАК ЗВАНИМИ ДОПУСТИМИМИ ДОЗАМИ РАДІАЦІЇ  
Комісаренко С.В., Інститут біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України
- 14.30–14.45 МОЛЕКУЛЯРНІ ОСОБЛИВОСТІ КАНЦЕРОГЕНЕЗУ СВІТЛОКЛІТИННОГО НИРКОВОКЛІТИННОГО РАКУ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ В УКРАЇНІ  
Базалицька С.В.<sup>1</sup>, Романенко А.М.<sup>1</sup>, Морелл-Квадрені Л.<sup>2</sup>, Лломбарт-Бош А.<sup>2</sup>, Весолі Ж.<sup>3</sup>, Возіанов С.О.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ДУ «Інститут урології ім. акад. О.Ф. Возіанова» НАМН України (Київ, Україна)  
<sup>2</sup>University of Valencia, Faculty of Medicine (Valencia, Spain)  
<sup>3</sup>Adam Mickiewicz University, Institute of Molecular Biology and Biotechnology (Poznan, Polska)
- 14.45–14.55 ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ ДОСВІДУ РАДІОБІОЛОГІЇ В НЕЙРООНКОЛОГІЮ  
Земськова О.В., ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова»
- 14.55–15.05 ІМУНОРАДІОБІОЛОГІЯ В РОЗРІЗІ ТРАНСЛЯЦІЙНОЇ МЕДИЦИНИ: ВІД ІСТОРИЧНИХ ПЕРЕДУМОВ ДО ПЕРСОНАЛІЗОВАНОЇ ТЕРАПІЇ  
Ключникова А.І., ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова»
- 15.05–15.15 ВІКОВІ ЗМІНИ КЛІТИННОЇ ЛАНКИ ІМУННОЇ СИСТЕМИ ЯК СКЛАДОВА ІНФЛАМЕЙДЖИНГУ В УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ  
Зварич Л.М., Бази́ка Д.А., Лясківська О.В., ННЦРМГО

## EFFECTS ON THE SENSE ORGANS

Moderators: Zabolotny D.I., Shydlovska T.A.

- 12.15–12.30 STATE OF AUDITORY AND VOICE-FORMING SYSTEMS IN CHORNOBYL POPULATIONS  
Shydlovska T.A., Shydlovska T.V., The State Institution «Institute of Otolaryngology named after Prof. O.S. Kolomiychenko of the NAMS of Ukraine»
- 12.30–12.45 VESTIBULAR DYSFUNCTION IN CHORNOBYL CLEAN-UP WORKERS: CLINICAL PROGNOSIS, CRITERIA FOR EXPERT ASSESSMENT  
Zabolotny D.I., Belyakova I.A. et al., The State Institution «Institute of Otolaryngology named after Professor O.S. Kolomiychenko of the NAMS of Ukraine»
- 12.45–13.00 RADIATION CATARACT IN THE CLEAN-UP WORKERS OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE: A UKRAINIAN-AMERICAN OPHTHALMOLOGICAL PROJECT AND ITS LONG-TERM SCIENTIFIC HERITAGE  
Kundiieva A.V., The State Institution «Kundiiev Institute of Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine»

13.00–14.00 LUNCH

## RADIOBIOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY

Moderator: Komisarenko S.V., Talko V.V.

- 14.00–14.15 RADIOBIOLOGICAL ASPECTS OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE  
Talko V. V., NRCRMHO
- 14.15–14.30 RADIATION IMMUNODEFICIENCY, OR «CHORNOBYL AIDS», IN CHORNOBYL CLEAN-UP WORKERS, EXPOSED TO PERMISSIBLE DOSES OF RADIATION  
Komisarenko S.V., Palladin Institute of Biochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine
- 14.30–14.45 MOLECULAR FEATURES OF CARCINOGENESIS OF CLEAR CELL RENAL CELL CARCINOMA AFTER THE CHORNOBYL CATASTROPHE IN UKRAINE  
Bazalitska S.V. et al., The SI «Institute of Urology named after Acad. O.F. Vozianov of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine; University of Valencia, Faculty of Medicine, Valencia, Spain; Adam Mickiewicz University, Institute of Molecular Biology and Biotechnology, Poznan, Poland
- 14.45–14.55 PROSPECTS FOR THE INTEGRATION OF RADIOBIOLOGY EXPERIENCE INTO NEURO-ONCOLOGY  
Zemskova O.V., The SI «Institute of Neurosurgery named after Acad. A.P. Romodanov of the NAMS of Ukraine»
- 14.55–15.05 IMMUNORADIOBIOLOGY IN THE CONTEXT OF TRANSLATIONAL MEDICINE: FROM HISTORICAL PREREQUISITES TO PERSONALIZED THERAPY  
Klyuchnikova A.I., The SI «Institute of Neurosurgery named after Acad. A.P. Romodanov of the NAMS of Ukraine»
- 15.05–15.15 AGE-RELATED CHANGES IN THE CELLULAR LINK OF THE IMMUNE SYSTEM AS A COMPONENT OF INFLAMMATION IN THE CLEAN-UP WORKERS OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE UNDER MARTIAL LAW  
Zvarych L.M., Bazyka D.A., Lyaskivska O.V., NRCRMHO

**ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ.  
ГОТОВНІСТЬ ДО НАДЗВИЧАЙНИХ РАДІАЦІЙНИХ АВАРІЙ.  
Модератори: Чумак А.А., Сушко В.О.**

- 15.15–15.25 ДОСВІД ТА РОЛЬ ННЦРМГО В ВИРІШЕННІ ПИТАНЬ РАННЬОЇ РАДІАЦІЙНОЇ ГОТОВНОСТІ ДЛЯ НАДАННЯ МЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ ПРИ РАДІАЦІЙНИХ АВАРІЯХ (REMPAN)  
Чумак А.А., ННЦРМГО
- 15.25–15.35 ДОСВІД БІОМЕДИЧНОЇ ПРОГРАМИ З ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я ПЕРСОНАЛУ З БУДІВНИЦТВА НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙМЕНТА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС  
Сушко В.О., Базика Д.А. і співавт., ННЦРМГО
- 15.35–15.45 ЖИТТЯ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ: ГЕНЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ДОВГОТРИВАЛОГО ОПРОМІНЕННЯ  
Мюссе Т., Університет Південної Кароліни, США
- 15.45–15.55 МЕДИКО-ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ В УКРАЇНІ: УРОКИ ЧОРНОБИЛЯ ТА СУЧАСНІ ВИКЛИКИ  
Андрусишина І.М., Дмитруха Н.М. ДУ «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва НАМН України»
- 15.55–16.05 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НА ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНОЇ ВОДИ В ОКОЛИЦЯХ ЧАЕС  
Бузинний М. і співавт., Інститут проблем безпеки АЕС Національної академії наук України, ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М.Марзєєва НАМН України», Державне спеціалізоване підприємство «Екоцентр»
- 16.05–16.15 ІНФОРМУВАННЯ ПРО РАДІАЦІЙНО-ЯДЕРНІ ІНЦИДЕНТИ ЯК ДЖЕРЕЛО НЕБЕЗПЕКИ: ТОТАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ, ЇЇ КОРЕНІ Й ШЛЯХИ ПОДОЛАННЯ  
Мирний С.В., Національний музей «Чорнобиль»

**16.15–16.35 ПЕРЕРВА НА КАВУ**

- 16.35–17.15 МАЙСТЕР-КЛАС.  
РАДІАЦІЙНА БЕЗПЕКА: ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ТА ПРАКТИЧНІ НАВИКИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ.  
Василенко В.В., ННЦРМГО

**17.15–17.40 ЗАГАЛЬНА ДИСКУСІЯ. ПІДВЕДЕННЯ ПІДСУМКІВ.  
ПРИЙНЯТТЯ РЕЗОЛЮЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ.**

- 16.45 Початок оцінювання набутих знань
- 23.59 Завершення тестування

**PREPAREDNESS FOR RADIATION EMERGENCIES.  
ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES.  
Moderators: Chumak A.A., Sushko V.O.**

- 15.15–15.25 THE ROLE OF NRCRMHO IN WHO-REMPAN NETWORK AND EXPERIENCE WITH EARLY MEDICAL RESPONSE TO RADIATION EMERGENCIES  
Chumak A.A., NRCRMHO
- 15.25–15.35 BIOMEDICAL HEALTH CARE PROGRAM FOR THE PERSONNEL OF A NEW SAFE CHORNOBYL NPP CONFINEMENT  
Sushko V.O., Bazyka D.A. et al., NRCRMHO
- 15.35–15.45 LIFE IN HOT ZONES: GENETIC AND ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF CHRONIC EXPOSURES TO ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY  
Mousseau T., University of South Carolina, USA
- 15.45–15.55 MEDICAL AND ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF THE IMPACT OF HEAVY METALS ON PUBLIC HEALTH IN UKRAINE: LESSONS OF CHORNOBYL AND MODERN CHALLENGES  
Andrusyshyna I.M., Dmytrukha N.M., State Institution «Kundiiev Institute of Occupational Health of the NAMS of Ukraine»
- 15.55–16.05 STUDY OF THE IMPACT OF FOREST FIRES ON GROUNDWATER POLLUTION IN THE VICINITY OF THE CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT  
Buzynnyi M.G. et al., The SI «Marzieiev Institute for Public of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Institute of Nuclear Power Plant Safety Problems, National Academy of Sciences of Ukraine, State Specialized Enterprise «Ecocenter»
- 16.05–16.15 INFORMING ABOUT NUCLEAR RADIATION INCIDENTS AS A SOURCE OF DANGER: TOTALITY OF THE PROBLEM, ITS ROOTS AND WAYS TO OVERCOME  
Myrnyi S.V., National Museum «Chornobyl», Ukraine

**16.15–16.35 COFFEE BREAK**

- 16.35–17.15 MASTER CLASS  
RADIATION SAFETY: PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT AND PRACTICAL SKILLS FOR ITS USE  
Vasylenko V.V., NRCRMHO

**17.15–17.40 GENERAL DISCUSSION. SUMMING UP.  
APPROVAL OF THE CONFERENCE RESOLUTION.**

## МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ХРОНІЧНОЇ ЛІМФОЦИТАРНОЇ ЛЕЙКЕМІЇ У ХВОРИХ, ПОСТРАЖДАЛИХ ВНАСЛІДОК ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Абраменко І. В. , Чумак А. А. , Дягіль І. С. , Мартіна З. В.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Ілленка, 53, м. Київ, 04050, Україна

## MOLECULAR-GENETIC FEATURES OF CHRONIC LYMPHOCYTIC LEUKEMIA IN PATIENTS WHO SUFFERED FROM THE CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL DISASTER

Abramenko I. V., Chumak A. A., Diagil I. S., Martina Z. V.

State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yuriy Illenko St., Kyiv, 04050, Ukraine

Хронічна лімфоцитарна лейкемія (ХЛЛ) належить до найбільш розповсюджених онкогематологічних захворювань дорослого населення України. Є епідеміологічні дані щодо підвищення ризику розвитку ХЛЛ за дії іонізуючого випромінювання (ІВ).

**Метою** дослідження було визначення молекулярно-генетичних особливостей ХЛЛ за дії ІВ.

**Матеріали і методи.** Обстежено 118 пацієнтів, опромінених внаслідок Чорнобильської катастрофи, які склали основну групу хворих. Серед них 95 учасників ліквідації наслідків аварії, 17 мешканців територій, забруднених радіонуклідами, 6 евакуйованих з м. Прип'ять. До групи порівняння входило 294 хворих, які не мали в анамнезі впливу іонізуючого випромінювання. Методи дослідження включали визначення поліморфізму генів системи репарації ДНК, гена *TP53*, дослідження експресії генів важких (*IGHV*) та легких (*IGK/LV*) ланцюгів імуноглобулінів за допомогою полімеразної ланцюгової реакції з наступним секвенуванням продуктів реакції.

**Результати.** Отримані дані щодо генетичних факторів ризику, які сприяють розвитку ХЛЛ. Встановлено підвищення частоти низькофункціонального гена *XRCC1* (поліморфний варіант з наявністю SNP rs25487) серед хворих на ХЛЛ основної групи, порівняно з неопроміненими хворими на ХЛЛ: 0,47 проти 0,33, OR = 1.83; 95% CI = 1,15 – 2,91; ( $p = 0,012$ ). Цей ген важливий для репарації розривів ДНК, які виникають під впливом ІВ. Також в групі опромінених хворих на ХЛЛ була збільшена частота низькофункціональних варіан-

Chronic lymphocytic leukemia (CLL) is one of the most common oncohematological diseases in the adult population of Ukraine. There is epidemiological data on the increased risk of developing CLL due to exposure to ionizing radiation (IR). The aim of the study was to determine the molecular genetic features of CLL under the influence of IR.

**Materials and methods.** 118 patients irradiated as a result of the Chernobyl disaster were examined, who constituted the main group of patients. Among them were 95 clean-up workers, 17 residents of territories contaminated with radionuclides, and 6 evacuated from the city of Pripyat. The comparison group included 294 patients having no history of exposure to ionizing radiation. The study methods included the determination of polymorphisms of the genes of the DNA repair system, the *TP53* gene, and the study of the expression of the genes of heavy (*IGHV*) and light (*IGK/LV*) chains of immunoglobulins using the polymerase chain reaction with subsequent sequencing of the reaction products.

**Results.** Data on genetic risk factors that contribute to the development of CLL were obtained. An increase in the frequency of the low-function gene *XRCC1* (polymorphic variant with the presence of SNP rs25487) was found among CLL patients of the main group, compared with non-irradiated CLL patients: 0.47 vs. 0.33, OR = 1.83; 95% CI = 1.15 – 2.91; ( $p = 0.012$ ). This gene is important for the repair of DNA breaks induced by IR. Also, in the group of irradiated CLL patients, the frequency of low-function variants of the *TP53* gene (T/T rs12947788, G/G rs12951053, rs146340390) was increased, which is a

тів гена *TP53* (T/T rs12947788, G/G rs12951053, rs146340390), який є ключовим регулятором клітинної відповіді на ІВ та інші генотоксичні стимули, викликаючи зупинку клітинного циклу та репарацію ушкоджень ДНК. Визначено певні особливості побудови В-клітинного рецептора (ВКР) за дії ІВ. Частота випадків зі стереотипними ВКР (однаковими або подібними за структурою у різних хворих) була високою (50,5 %) та не розрізнялась залежно від радіаційного аналізу. Водночас, на відміну від групи порівняння, в основній групі частота стереотипних випадків була однаковою серед хворих з мутованими і немутованими *IGHV* генами (в групі порівняння стереотипні випадки переважно мали немутовані *IGHV* гени,  $p = 0,557$ ); не виявлено відмінностей в спектрі *IGHV* генів між стереотипними і гетерогенними випадками ( $p = 0,508$ ). Якщо в групі порівняння ВКР лейкемічних клітин переважно мали гомологію з аутоантитілами (48,6 %) та суперантигенами бактеріального походження (11,1 %), то в основній групі частота ВКР подібної спрямованості була значно знижена (29,4 %,  $p = 0,018$ ; 0 %,  $p = 0,042$ ; відповідно). Натомість в основній групі була підвищена частота мутованих ВКР з ознаками позитивної антигенної селекції ( $\Sigma = 0.5452 \pm 0.187$ ), що відображає імунну відповідь на антигени вірусного і бактеріального походження. В групі неопромінених пацієнтів ознак позитивної селекції ВКР не знайдено:  $\Sigma = -0,0867 \pm 0,144$ ;  $p = 0,013$ .

**Висновки.** Отримані дані щодо певної генетичної схильності до розвитку ХЛЛ за дії ІВ. Виявлені особливості побудови ВКР у хворих, які зазнали впливу ІВ свідчать на користь вірогідного впливу ІВ на розвиток ХЛЛ.

key regulator of the cellular response to IR and other genotoxic stimuli, causing cell cycle arrest and DNA damage repair.

Certain features of the structure of the B-cell receptor (BCR) under the influence of IR were determined. The frequency of cases with stereotypical BCRs (identical or structurally similar across patients) was high (50.5%) and did not differ across radiation analyses. At the same time, unlike the comparison group, in the main group the frequency of stereotypical cases was the same among patients with mutated and unmutated *IGHV* genes (in the comparison group, stereotypical cases mainly had unmutated *IGHV* genes,  $p = 0.557$ ); no differences were found in the spectrum of *IGHV* genes between stereotypical and heterogeneous cases ( $p = 0.508$ ). If in the comparison group, the BCRs of leukemic cells mainly had homology with autoantibodies (48.6%) and superantigens of bacterial origin (11.1%), then in the main group, the frequency of BCRs of similar orientation was significantly reduced (29.4%,  $p = 0.018$ ; 0%,  $p = 0.042$ , respectively). In contrast, in the main group, the frequency of mutated BCRs with signs of positive antigenic selection was increased ( $\Sigma = 0.5452 \pm 0.187$ ), which reflects the immune response to antigens of viral and bacterial origin. In the group of non-irradiated patients, no signs of positive BCR selection were found:  $\Sigma = -0.0867 \pm 0.144$ ;  $p = 0.013$ .

**Conclusions.** The data obtained indicate a certain genetic predisposition to the development of CLL under the influence of IR. The identified features of the construction of the BCR in patients exposed to IR indicate a probable influence of IR on the development of CLL.

## ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ ГОСТРОГО ТА ХРОНІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ НА СТАН РЕПРОДУКТИВНОГО ЗДОРОВ'Я

Антипкін Ю.Г., Давидова Ю.В.

Державна установа «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України», м.Київ, Україна

## LONG-TERM CONSEQUENCES OF ACUTE AND CHRONIC IRRADIATION OF THE CHORNOBYL DISASTER ON REPRODUCTIVE HEALTH

Antipkin Yu.G., Davydova Yu.V.

State Institution «All-Ukrainian Center for Maternity and Childhood of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Довгострокові наслідки Чорнобильської катастрофи для репродуктивного здоров'я включають як прямі пошкодження, спричинені радіацією, так і значний психоемоційний, соціальний та економічний вплив, який змінював репродуктивну поведінку протягом десятиліть. Довготривалі дослідження на забруднених територіях показали вищі показники несприятливих наслідків для репродуктивного здоров'я.

**Мета.** Проаналізувати та узагальнити результати довготривалих багатофакторних досліджень про короткострокові та довгострокові наслідки впливу наслідків аварії на ЧАЕС на репродуктивне та соматичне здоров'я жінок.

**Результати досліджень.** За результатами досліджень, проведених в ДУ «ІПАГ НАМН України» (наразі ДУ «ВЦМД НАМН України») доведено негативний вплив гострого та хронічного опромінення на деякі аспекти реалізації репродуктивної функції жінок. Так, виявлено тенденції до зниження народжуваності та підвищення порушень настання вагітності у жінок на опроміненіх територіях. У жінок, які зазнали впливу Чорнобильської радіації у дитинстві або молодому віці, спостерігалася вища частота анемії після пологів. Також виявлено підвищену частоту акушерських ускладнень у жінок, опромінених внутрішньоутробно, в дитячому та підлітковому віці. У жінок, опромінених в дитячому та підлітковому віці, спостерігався підвищений рівень захворювань щитовидної залози, в тому числі раку, загрози переривання вагітності, невиношування. Проведено генетичні дослідження у нащадків ліквідаторів аварії на ЧАЕС, які виявили певні ознаки нестабільності в окремих локу-

**Actuality.** The long-term consequences of the Chernobyl disaster for reproductive health include both direct damage caused by radiation and significant psycho-emotional, social and economic impact, which changed reproductive behavior for decades. Long-term studies in contaminated areas have shown higher rates of adverse effects on reproductive health.

**Objective.** To analyze and summarize the results of long-term multifactorial studies on the short-term and long-term consequences of the impact of the consequences of the Chernobyl accident on the reproductive and somatic health of women.

**Research results.** According to the results of research conducted at the State Institution «IPOG NAMS of Ukraine» (currently the State Institution «ACMD NAMS of Ukraine»), the negative impact of acute and chronic radiation on some aspects of the reproductive function of women has been proven. Thus, trends towards a decrease in birth rate and an increase in disorders of pregnancy onset in women in irradiated territories have been identified. Women exposed to Chernobyl radiation in childhood or young adulthood have a higher incidence of anemia after childbirth. An increased incidence of obstetric complications has also been identified in women irradiated in utero, in childhood and adolescence. Women irradiated in childhood and adolescence have an increased incidence of thyroid diseases, including cancer, threats of abortion, and miscarriage. Genetic studies have been conducted on the descendants of the liquidators of the Chernobyl accident, which have revealed certain signs of instability in individual

сах. Особу увагу приділено жінкам, які на момент радіаційного опромінення перебували в віці 0–18 років та у яких діагностовано рак щитовидної залози (РЩЗ) через певний час після аварії. Враховуючи відсутність світового досвіду надання допомоги із захисту і них репродуктивного та соматичного здоров'я при РЩЗ у великій когорті постраждалих від дії гострого та хронічного опромінення, в ДУ «ІПАГ НАМН України» було створено систему надання допомоги таким жінкам з чітким визначенням маршруту пацієнтки, складу прегравідарної підготовки, медичного та психологічного супроводу вагітності, а також катамнезу розвитку народжених дітей та нагляду за станом здоров'я пацієнтки упродовж року після пологів. Ефективність такого підходу доведена зниженням частоти акушерських та перинатальних ускладнень у жінок з РЩЗ після ретельної прекоцепційного консультування та прегравідарної підготовки. Зміни паттерну медичного та психологічного супроводу дозволили знизити медикаментозне навантаження, покращити психоемоційний стан жінок з РЩЗ на етапі до настання вагітності, під час гестації та післяпологової реабілітації, знизити частоту оперативного розродження, післяпологових кровотеч та анемії.

**Висновки.** Доведено, що гостра фаза спричинила серйозні, негайні пошкодження, але, хронічне опромінення радіонуклідами, такими як стронцій-90 та цезій-137, у забруднених зонах пов'язане з довгостроковими негативними наслідками для репродуктивної функції жінок. На сьогодні слід вважати, що погіршення репродуктивного здоров'я пояснюється комбінованим ефектом екстремального психосоціального стресу в гостру фазу, довготривалої дії низьких доз опромінення, що потребує подальшого спостереження та проведення відповідних профілактичних заходів.

loci. Particular attention was paid to women who were aged 0–18 at the time of radiation exposure and who were diagnosed with thyroid cancer (TC) some time after the accident. Given the lack of global experience in providing assistance to protect their reproductive and somatic health in the case of TC in a large cohort of victims of acute and chronic radiation exposure, the State Institution «IPOG NAMS of Ukraine» created a system for providing assistance to such women with a clear definition of the patient's route, the composition of pre-pregnancy preparation, medical and psychological support for pregnancy, as well as a history of the development of born children and monitoring the patient's health for a year after childbirth. The effectiveness of this approach has been proven by a decrease in the frequency of obstetric and perinatal complications in women with TC after thorough pre-conception counseling and pre-pregnancy preparation. Changes in the pattern of medical and psychological support allowed to reduce the medication load, improve the psycho-emotional state of women with thyroid cancer at the stage before pregnancy, during gestation and postpartum rehabilitation, reduce the frequency of operative delivery, postpartum hemorrhage and anemia.

**Conclusions.** It has been proven that the acute phase caused serious, immediate damage, but chronic exposure to radionuclides, such as strontium-90 and cesium-137, in contaminated areas is associated with long-term negative consequences for the reproductive function of women. Today, it should be assumed that the deterioration of reproductive health is explained by the combined effect of extreme psychosocial stress in the acute phase, long-term exposure to low doses of radiation, which requires further observation and appropriate preventive measures.

## ОСОБЛИВОСТІ ПАТО- І МОРФОГЕНЕЗУ ЧОЛОВІЧОЇ НЕПЛІДНОСТІ В УКРАЇНІ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Базалицька С.В.<sup>1</sup>, Персидський Ю.В.<sup>2</sup>, Романенко А.М.<sup>1</sup>, Возіанов С.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Інститут урології ім. акад. О.Ф.Возіанова» НАМН України (Київ, Україна)

<sup>2</sup>Temple University, Lewis Katz School of Medicine (Philadelphia, USA)

**Актуальність.** Останніми десятиліттями ситуація із захворюваністю та репродуктивним здоров'ям населення України має стрімку вкрай негативну тенденцію та значно погіршилася і ускладнилася після аварії на Чорнобильській АЕС.

**Мета** дослідження. Вивчити закономірності порушень сперматогенезу при різних формах чоловічої неплідності, в тому числі, у хворих із забруднених радіонуклідами <sup>137</sup>Cs регіонів та у хворих на герміногенні пухлини яєчка (ГПЯ).

**Методи.** Використовувались клініко-лабораторні, цитологічні, електронномікроскопічні, морфометричні, гістологічні, імуногістохімічні (протеїни Ubiquitin, Ubiquitin SUMO, Occludin та Claudin 11, TGF-beta) з визначенням імуногістохімічного коефіцієнта (ІГХК), статистичні методи дослідження. Було обстежено та морфологічно досліджено матеріал 187 осіб із азооспермією, яким виконувалась біопсія яєчка. За результатами біопсії пацієнтів із азооспермією було розподілено на дві основні групи та дві підгрупи:

➤ I група – збережений сперматогенез – 67 осіб, у яких було встановлено діагноз екскреторно-обтураційної неплідності. Серед пацієнтів цієї групи 50 осіб – із «чистих» районів і 17 – мешканці забруднених радіонуклідами <sup>137</sup>Cs регіонів.

➤ II група – порушений сперматогенез (блок сперматогенезу, синдром «лише клітини Сертолі») – 120 пацієнтів, у яких встановлено діагноз секреторної неплідності. Серед хворих цієї групи 40 осіб – із «чистих» районів, і 80 – із забруднених радіонуклідами <sup>137</sup>Cs регіонів.

Для вивчення стану сперматогенезу у перитуморальній тканині яєчка досліджено операційний матеріал 40 пацієнтів з ГПЯ, яким була виконана орхіектомія.

**Результати.** При морфометричному дослідженні яєчка в осіб із забруднених радіонуклідами <sup>137</sup>Cs регіонів України встановлено достовірне зниження в 1,5 рази індексу інтенсивності сперматогенезу (IC/IL) та зростання в 1,4 рази індексу Лейдига (IL)

( $p < 0,001$ ). У мешканців забруднених радіонуклідами <sup>137</sup>Cs регіонів України визначено інтенсифікацію процесів убіквітинації та сумоїлації, порівняно з аналогічними спостереженнями із «чистих» регіонів. В осіб із забруднених радіонуклідами <sup>137</sup>Cs регіонів України при блоку сперматогенезу встановлено різку деградацію в 3–5 разів, аж до повного зникнення експресії протеїнів Occludin та Claudin 11, порівняно з аналогічними групами пацієнтів із «чистих» регіонів. Визначено участь убіквітин-протеолізної системи в ініціації канцерогенезу в яєчку: в перитуморальній тестикулярній тканині в сперматогенному епітелії відбуваються інтенсивні процеси убіквітинації, які корелюють із визначеними закономірностями експресії Ubiquitin при неплідності при загальних вищих показниках ІГХК. З'ясовано особливості імуногістохімічної експресії протеїну TGF-beta, які є характерними для прогресування порушень сперматогенезу і можуть бути ознакою підвищеного ризику малігнізації сперматогенного епітелію.

**Висновки.** Визначено структурні зміни яєчка та з'ясовані молекулярні та епігенетичні механізми, які лежать в основі порушень сперматогенезу: активізація процесів убіквітинації та сумоїлації, що призводить до посиленої модифікації білків, посилена деградація шляхом убіквітинації протеїнів гематотестикулярного бар'єру Occludin та Claudin 11, порушення регулюючого впливу TGF-beta на клітини сперматогенного епітелію та клітини Лейдига. Встановлено, що вплив іонізуючого опромінення є додатковим етіологічним фактором, що призводить до закономірних змін інтерстиційного, судинного та ендокринного компонентів тканини яєчка, а також до молекулярних, у тому числі – епігенетичних змін, які можна охарактеризувати як екологічний патоморфоз чоловічої неплідності, що призводить до порушень сперматогенезу та підвищує ризик малігнізації.

## МОЛЕКУЛЯРНІ ОСОБЛИВОСТІ КАНЦЕРОГЕНЕЗУ СВІТЛОКЛІТИННОГО НИРКОВОКЛІТИННОГО РАКУ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ В УКРАЇНІ

Базалицька С.В.<sup>1</sup>, Романенко А.М.<sup>1</sup>, Морелл-Квадрені Л.<sup>2</sup>, Лломбарт-Бош А.<sup>2</sup>, Весолі Ж.<sup>3</sup>, Возіанов С.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Інститут урології ім. акад. О.Ф.Возіанова» НАМН України (Київ, Україна)

<sup>2</sup>University of Valencia, Faculty of Medicine (Valencia, Spain)

<sup>3</sup>Adam Mickiewicz University, Institute of Molecular Biology and Biotechnology (Poznan, Polska)

**Актуальність.** Медичні наслідки аварії на Чорнобильській АЕС стали предметом багатьох досліджень і сьогодні вже не залишилось сумнівів щодо значного канцерогенного впливу низьких доз іонізуючого опромінення. Але, мало досліджені ефекти опромінення, відтерміновані у часі, які можуть бути ініційовані у вигляді змін молекулярних основ патогенезу захворювань, зокрема, світлоклітинних нирковоклітинних карцином.

**Мета** дослідження. Дослідити радіаційний патоморфоз світлоклітинного нирковоклітинного раку (НКТ) шляхом вивчення гістологічних, імуногістохімічних та молекулярно-біологічних особливостей патології з урахуванням стадії канцерогенезу та розробкою діагностичних і прогностичних маркерів.

**Методи.** Загально-клінічні, морфологічні, імуногістохімічні (протеїни ubiquitin, SUMO1, Ubc9, p53, mdm2, p14<sup>ARF</sup>), молекулярно-біологічні, статистичні. У роботі були проведені морфологічні та імуногістохімічні дослідження пухлинної та перитуморальної тканини нирки у 101 хворих на НКТ. До групи хворих з «чистих» регіонів (контрольної) увійшли 41 хворий на НКТ, які проживають у сільській місцевості. Хворі на НКТ, які проживають у сільських населених пунктах України, що підпали під радіаційне забруднення після Чорнобильської катастрофи, склали досліджувану групу із забруднених радіонуклідами регіонів – 41 пацієнт (рівень територіального забруднення <sup>137</sup>Cs 5–30 Ки/км<sup>2</sup>), в яку також увійшли 19 хворих на НКТ – мешканців м. Києва (територіальне забруднення м. Києва <sup>137</sup>Cs 0,5 – 5,0 Ки/км<sup>2</sup>) – усього 60 спостережень.

**Результати.** Встановлено, що частота НКТ високого гістологічного ступеня злоякісності з наявністю осередків саркомоподібного росту достовірно переважає у хворих із забруднених радіонуклідами регіонів України, порівняно до хворих

із «чистих» регіонів. Зміни перитуморальної тканини нирки у хворих на НКТ із забруднених радіонуклідами регіонів відрізняються статистично вірогідним зростанням частоти вогнищового потовщення гломерулярної базальної мембрани, а також частоти епітеліальної ядерної атипії та карциноми in situ, порівняно до хворих із «чистих» регіонів. Встановлено, що частота випадків НКТ з виразною експресією протеїну ubiquitin, регулятору клітинного циклу p53, інгібіторів клітинного циклу mdm2, p14<sup>ARF</sup> достовірно вище у хворих із забруднених радіонуклідами регіонів України ( $p < 0,01$ ). Отримані дані дозволять використовувати протеїни ubiquitin, p53, mdm2 та p14<sup>ARF</sup> для майбутньої розробки діагностичних і прогностичних маркерів при НКТ. Попередній молекулярно-біологічний аналіз з використанням: cutadapt для обрізки адаптера та STAR для вирівнювання даних секвенування чотирьох бібліотек показав, що 79,9–82,5% зчитувань вирівняно за геномом людини, а якість даних достатня для глибокого секвенування, що дозволяє провести аналіз експресії.

**Висновки.** У групі хворих на НКТ із забруднених радіонуклідами регіонів України визначені гістологічні та імуногістохімічні прогностичні ознаки агресивного перебігу НКТ. Встановлені достовірні діагностичні та прогностичні імуногістохімічні маркери, що дозволять вдосконалити діагностику, прогнозування перебігу і лікування НКТ. Результати дослідження забезпечують основу для використання таргетної терапії НКТ та заходів профілактики у осіб, які проживають в забруднених радіонуклідами районах. В результаті молекулярно-біологічних досліджень вперше встановлено, що зразки РНК та мікро-РНК, виділені із парафінових блоків НКТ, придатні для глибокого секвенування.

## ГОСТРА ПРОМЕНЕВА ХВОРОБА: ПУХЛИННІ І НЕПУХЛИННІ ЗАХВОРЮВАННЯ ТА ОСНОВНІ ПРИЧИНИ СМЕРТІ У ВІДДІЛЕНОМУ ПЕРІОДІ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ

Білий Д.О., Бази́ка Д.А., Сушко В.О.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

## ACUTE RADIATION SICKNESS: CANCER AND NON-CANCER DISEASES AND THE MAIN DEATH CAUSES IN THE LONG-TERM PERIOD AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT

Belyi D.A., Bazyka D.A., Sushko V.O.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Гостра променева хвороба (ГПХ) є одним із найважчих наслідків опромінення, яка може не тільки закінчитися летальним результатом, але і після одужання бути причиною високого ризику розвитку пухлинної та непухлинної патології, причому цей ризик не залежить від того, наскільки успішним було лікування в гострому періоді.

**Мета** дослідження. Провести аналіз розвитку пухлинної і непухлинної патології за 40-річний період після Чорнобильської аварії в осіб з первинним діагнозом ГПХ та визначити основні причини їх смерті.

**Методи.** Поведено статистичний аналіз розвитку пухлинних та непухлинних хвороб у 190 осіб- мешканців України (13 жінок і 177 чоловіків), яким в 1986 році діагностували ГПХ. У 1989 році після ретельного вивчення медичної документації у 99 осіб цей діагноз не був підтверджений (ГПХ0), незважаючи на факт опромінення, у 38 пацієнтів підтвердили ГПХ I ступеня, у 41 – ГПХ II ст. і у 12 – ГПХ III ст. Пацієнти проходили обстеження та лікування в клініці ННЦРМГО.

**Результати.** Аналіз стану здоров'я обстежених хворих показав, що впродовж всього післяаварійного періоду найбільш розповсюдженими захворюваннями у них були гіпертонічна (ГХ) та ішемічна хвороба серця (ІХС) порівняно з іншою непухлинною патологією. За 40-річний період ГХ розвилась у 132 осіб (69,5%), а ІХС у 68 пацієнтів (35,8%) з початковим діагнозом ГПХ без достовірної різниці між групами ГПХ0 і ГПХ I–III ст. Темп розвитку ГХ був досить швидким: за методом Каплана-Мейера, половина осіб групи ГПХ0 захворіло на ГХ через

**Background.** Acute radiation sickness (ARS) is one of the most important consequences of irradiation, which may not only have a fatal result, but also after a survival being the cause of high risk of cancer and non-cancer pathology development, and this risk does not depend of how successful a treatment was during the acute period.

**Objectives** are to analyze cancer and non-cancer pathology development over the 40-year period after the Chernobyl accident in persons with the initial diagnosis of ARS and identify the main causes of their death.

**Methods.** A statistical analysis of cancer and non-cancer pathology development was carried out in 190 Ukrainian residents (13 women and 177 men), for whom ARS was diagnosed in 1986. In 1989 after careful examination of medical documentation, in 99 patients this diagnosis was not confirmed (ARS0), regardless of the fact of their irradiation, in 38 patients it was confirmed ARS I grade, in 41 – ARS II grade and 12 – ARS III grade. The patients underwent medical examination and treatment at the NRCRMHO clinic.

**Results.** An analysis of patients' health showed that throughout the entire post-accident period hypertensive (HHD) and coronary heart disease (CHD) were the most common illnesses if compare with other non-cancer pathology. Over the 40-year period, HHD and CHD correspondingly developed in 132 patients (69.5%) and 68 patients (35.8%) with an initial ARS diagnosis without a significant difference between the groups ARS0 and ARS I–III grade. The rate of HHD development was very fast: according to the Kaplan-Meier method, half per-

4,7 ± 0,1 років після аварії, ГПХ I–III ст. через 6,7 ± 1,7 років ( $p = 0,026$  за лог-ранговим тестом). ІХС розвивалась повільніше: відповідний термін був 22,2 ± 3,0 і 29,7 ± 3,1 ( $p = 0,083$ ). Захворювання крові були виявлені у 4-х пацієнтів ГПХ0 (гіпоплазія кровотворення, істинна поліцитемія, гостра мієлоїдна лейкемія, В-великоклітинна дифузна лімфома) та 6-ти хворих ГПХ I–III ст. (три випадки мієлодиспластичного синдрому, хронічна мієлоїдна лейкемія, неходжінська В-клітинна лімфома, гостра мієломобластна лейкемія). Топографія пухлин відрізнялася великою різноманітністю: в групі ГПХ0 – рак нирки (1), товстої кишки (4), шлунку (3), передміхурової залози (1), легень (1), гортані (1), саркома м'яких тканин стегна (1) і пухлина без чітко визначеного генезу (2); серед пацієнтів після ГПХ I–III ст. – рак верхньощелепної пазухи (1), сечового міхура (1), товстої кишки (1), печінки (1), мозку (1), передміхурової залози (2), меланома (1), базаліома (2), малігнізована невринома нижньої щелепи (1) і пухлина без чітко визначеного генезу (3). Аналіз випадків смерті пацієнтів показав, що домінували дві причини: серцево-судинні і цереброваскулярні захворювання (16 осіб ГПХ0 та 19 ГПХ I–III ст.) і онкологічна патологія (15 осіб ГПХ0 та 15 ГПХ I–III ст.). Після них слідували соматична і неврологічна патологія, або тяжкі інфекційні захворювання (3 осіб ГПХ0 та 9 ГПХ I–III ст.), нещасні випадки і травми (2 особи ГПХ0 та 4 ГПХ I–III ст.). Серед кардіо- та цереброваскулярних подій летальний кінець був обумовлений раптовою серцевою смертю у 4-х осіб ГПХ0 і 6 осіб ГПХ I–III ст., хронічною серцевою недостатністю у 7 та 13 пацієнтів відповідно, ще 4 хворих із групи ГПХ0 померли від гострого порушення мозкового кровообігу.

**Висновки.** Результати проведеного аналізу показали, що не тільки пухлинна патологія робить внесок в загальні показники смертності пацієнтів, які перенесли ГПХ або були опромінені в підпорогових дозах, але й непухлинні захворювання. Насамперед це серцево-судинні і цереброваскулярні, а також соматичні та інфекційні хвороби, які потребують постійного або тривалого лікування та ще є причиною смерті більшого числа пацієнтів ніж з причини наявності раку.

sons of ARS0 group fell ill with HHD in 4.7 ± 0.1 years after the accident, ARS I–III grade in 6.7 ± 1.7 years ( $p = 0.026$  by log-rank test). The CHD developed more slowly: the relevant deadlines was 22.2 ± 3.0 and 29.7 ± 3.1 ( $p = 0.083$  by log-rank test). Blood diseases were diagnosed in 4 patients with ARS0 (hypoplasia of hematopoiesis, polycythemia vera, acute myeloid leukemia, B-cell diffuse lymphoma) and in 6 ARS I–III grade. (three cases of myelodysplastic syndrome, chronic myeloid leukemia, non-Hodgkin's B-cell lymphoma, acute myelomonoblastic leukemia). The topography of tumors showed great diversity: in ARS0 group – cancer of kidney (1), colon (4), stomach (3), prostate (1), lung (1), larynx (1), sarcoma of thigh soft tissues (1) and tumor without a clearly identified genesis (2); among patients after ARS I–III grade – cancer of the superior sinus (1), urinary bladder (1), colon (1), liver (1), cerebrum (1), prostate (2), melanoma (1), basal cell carcinoma (2), malignant neuroma of the lower jaw (1) and tumor without a clearly identified genesis (3). Analysis of deaths cases amongst the patients showed that two causes were the dominants: cardiovascular and cerebrovascular disease (16 cases of ARS0 and 19 ARS I–III grade and oncological pathology (15 cases of ARS0 and 15 ARS I–III grade). They were followed by somatic and neurological pathology, or severe infectious diseases (3 patients ARS0 and 9 ARS I–III grade), accidents and injuries (2 patients ARS0 and 4 ARS I–III grade). Among the cardio- and cerebrovascular cases the lethal end of sudden cardiac death in 4 patients of ARS0 and 6 patients with ARS I–III grade, chronic heart failure in 7 and 13 patients, accordingly, another 4 patients from ARS0 group died due to stroke.

**Conclusions.** The results of the analysis showed that not only cancer pathology contributes to the overall mortality rates of patients who survived ARS or were irradiated in subthreshold doses, but also non-cancer diseases. First of all, there are cardiovascular and cerebrovascular diseases, as well as somatic and infectious diseases that require constant or protracted treatment and are also the cause of death in a more large number of patients comparing with cancer.

## УЧАСТЬ В РОБОТАХ З ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ ЯК ОДИН ІЗ ФАКТОРІВ РИЗИКУ РОЗВИТКУ ГІПЕРТОНІЧНОЇ ТА ІШЕМІЧНОЇ ХВОРОБИ СЕРЦЯ

Білий Д.О., Настіна О.М., Курсіна Н.В., Сидоренко Г.В., Бази́ка О.Д.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

### PARTICIPATION IN WORKS TO ELIMINATE THE CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL ACCIDENT AS ONE OF THE RISK FACTORS FOR THE DEVELOPMENT OF HYPERTENSIVE AND ISCHEMIC HEART DISEASE

Belyi D.A., Nastina O.M., Kursina N.V., G.V. Sydorenko, O.D. Bazyka

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Вплив радіації на розвиток захворювань серцево-судинної системи (ССС) вивчається вже багато десятиків років, але проблема не втрачає актуальності дотепер, незважаючи на чисельні наукові дослідження відомих вчених зі США, Європи та Японії.

**Мета** дослідження. Провести аналіз ризик-факторів, які впливають на розвиток гіпертонічної хвороби (ГХ) та ішемічної хвороби серця (ІХС) в учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на Чорнобильській АЕС.

**Методи.** Поведено статистичний аналіз в динаміці 40-річного спостереження стану ССС у 674 УЛНА і 241 неопроміненої особи (НО), всі чоловічої статі. Жодна людина з обох груп не зверталась до 26.04.1986 року за медичною допомогою з приводу кардіальної патології. На момент аварії майбутні УЛНА були небагато старше НО (36,8 ± 8,6 проти 35,1 ± 9,2 років,  $p = 0,008$ ). Під участю в аварійних роботах (АР) на ЧАЕС розуміли вплив на людину низки факторів: радіації, хронічного стресу, теплового, хімічного тощо.

**Результати.** Наприкінці 40-річного періоду після аварії (ГХ) розвинулась у 91,0% УЛНА і 87,2% НО, а ІХС у 85,8% і 92,6% відповідно. Аналіз накопиченої захворюваності на ГХ в динаміці післяаварійних років методом Каплана-Мейера показав, що УЛНА були достовірно молодше НО на момент вперше діагностованої ГХ: їх середній вік складав 49,5 ± 0,5 років проти 55,5 ± 1,0 років (лог-ранговий тест:  $\chi^2 = 25,0$  при  $p = 0,000$ ). Аналогічна закономірність була виявлена стосовно

**Background.** The impact of radiation on the development of cardiovascular diseases (CVD) has been studied for many decades, but the problem has not lost its relevance to this day, despite numerous scientific studies by famous scientists from the USA, Europe, and Japan.

**Objectives** are to analyze risk factors that influence the development of hypertension heart disease (HHD) and coronary heart disease (CHD) in emergency workers (EW) who took part in elimination of the accident at the Chernobyl NPP.

**Methods.** A statistical analysis was conducted in the dynamics of 40-years observation of cardiovascular system in male 674 EW and 241 non-irradiated persons (NIP). No one person from both groups had sought for medical help due to cardiac pathology before April 26, 1986. At the time of the accident, future EW were slightly older than NIP (36.8 ± 8.6 versus 35.1 ± 9.2 years,  $p = 0.008$ ). Participation in emergency operations (EO) at the Chernobyl NPP was understood as the impact on a person of a number of factors: radiation, chronic stress, thermal, chemical, etc.

**Results.** At the end of the 40-years period after the accident HHD developed in 91.0% of EW and 87.2% of NIP, and CHD in 85.8% and 92.6%, respectively. Analysis of HHD accumulated incidence in the dynamics of the post-accident years by the Kaplan-Meier method showed that EW were significantly younger than NIP at the time of firstly diagnosed HHD: their average age was 49.5 ± 0.5 years versus 55.5 ± 1.0 years (log-rank test:  $\chi^2 = 25.0$ ,  $p = 0.000$ ). A similar pattern was found for CHD: the age of EW and NIP was 56.0 ± 0.4 and 60.2 ± 0.6 years (log-rank

test:  $\chi^2 = 28.2$ ,  $p = 0.000$ ). To analyze the impact of various risk factors on the development of HHD and CHD, the proportional hazards method or Cox regression was used. The study included 201 EW and 43 NIP. The following indicators were analyzed, which were obtained 1–2 years before the onset of the above-mentioned diseases: the fact of participation in EO, smoking, patient's age when HHD was diagnosed, the presence of diabetes mellitus (DM) type 2 and other diseases that preceded HHD or CHD, content of total cholesterol (TC) and body mass index (BMI). It was found that the development of HHD was significantly influenced by the fact of participation in EO (odds ratio – OR – 3.60 with a 95% confidence interval [1.84 – 7.04],  $p = 0.000$ ), the patient's age (OR – 0.93 [0.91 – 0.95],  $p = 0.000$ ), BMI (OR – 1.07 [1.02 – 1.12],  $p = 0.008$ ) and the presence of CHD that developed before HHD (OR – 0.57 [0.38 – 0.85],  $p = 0.008$ ). This meant that the risk of HHD developing in EW was 3.60 times higher than in NIP, in both groups the risk decreased by 7% with each year of residence, by 30.4% if 5 years passed, an increase of BMI in EW and NIP on 1 kg/m<sup>2</sup> made the risk higher by 7%, and on 5 kg/m<sup>2</sup> – by 16.8%), the presence of CHD reduced the risk of HHD developing by 1.76 times in both groups. The risk of CHD developing was determined by the following factors: participation in EO (OR – 2.31 [1.56 – 3.41],  $p = 0.000$ ), patient age at the time of CHD onset (OR – 0.95 [0.93 – 0.975],  $p = 0.000$ ), presence of HHD (OR – 0.43 [0.30 – 0.63],  $p = 0.000$ ) and previous DM (OR – 0.60 [0.36 – 0.99],  $p = 0.047$ ). That is, in EW, the risk of CHD onset was 2.31 times higher than in NIP, in both groups, the risk decreased by 5% with each year of residence, by 22.6% after 5 years passed, the presence of previous HHD reduced the risk of CHD by 2.3 times, and DM by 1.67 times for both groups. The results obtained contain unexpected data regarding the influence of diseases that preceded the HHD and CHD onset. We can explain this by that after the diagnosis of DM, HHD without the presence of CHD and CHD without HHD, the patient immediately received pharmacological therapy with glucose-lowering and antihypertensive drugs, statins,  $\beta$ -blockers, etc., which inhibited the development of other cardiovascular pathology.

**Conclusions.** The results of the analysis using the Kaplan-Meier and Cox regression methods showed that participation in emergency operations is a risk factor for HHD and CHD development, which is realized over time and in combination with other risk factors.

**Висновки.** Результати проведеного аналізу за методами Каплана-Мейера та регресії Кокса показали, що участь в аварійних роботах є фактором ризику розвитку ГХ та ІХС, які реалізуються у часі та в поєднанні з іншими факторами ризику.

## СТАН ПЕРВІСНИХ ВІДДІЛІВ ГЕМОПОЕЗУ В ОСІБ, ЯКІ БРАЛИ УЧАСТЬ У ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС

Білько Д. І., Руссу І. З., Білько Н. М.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології і онкології НАМН України», Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ, Україна

## STATE OF THE INITIAL HEMATOPOIESIS DEPARTMENTS IN PERSONS WHO PARTICIPATED IN THE LIQUIDATION OF THE CONSEQUENCES OF THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT

Bilko D. I., Russu I. Z., Bilko N. M.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of NAMS of Ukraine», National University of Kyiv-Mohyla Academy, Kyiv, Ukraine

Чорнобильська катастрофа стала поштовхом для дослідження гемопоезу на рівні стовбурових клітин. Їхня висока радіаційна чутливість та здатність накопичувати сублетальні радіаційні пошкодження стали підставою для дослідження стовбурових клітин і їхніх найближчих нащадків, гемопоетичних клітин-попередників.

**Мета** дослідження. Оцінка стану первісних відділів гемопоезу у осіб, які брали участь у ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, за допомогою культури клітин *in vivo*.

**Методи.** Унікальний біологічний матеріал (периферійна кров та кістковий мозок), отриманий від осіб, залучених до ліквідації аварії на ЧАЕС, був досліджений у культурі клітин *in vivo* у гелевих дифузійних камерах, імплантованих у черевну порожнину лабораторних тварин.

**Результати.** Показано, що кількість циркулюючих CD34+ клітин у периферійній крові 18 з 46 обстежених осіб у ранній період після аварії була суттєво вища у порівнянні з нормою; у наступні роки ці показники поверталися до нормального рівня. Відповідно, колонієутворююча активність (КУО-ГМ) клітин периферійної крові опромінених осіб сягала  $35,6 \pm 1,8$ , тоді як у контрольній групі у неопромінених осіб цей показник дорівнював лише  $1,25 \pm 0,5$  ( $p \leq 0,05$ ). Через віддалений проміжок часу дослідження продемонструвало нормалізацію показника кількості КУО-ГМ у опромінених осіб ( $1,5 \pm 0,5$ ). Цей феномен може розглядатися як результат мобілізації гемопоетичних стовбурових клітин із кісткового мозку у відповідь на дію іонізу-

The Chernobyl nuclear disaster served as a major impetus for investigating hematopoiesis at the level of stem cells. Their high radiation sensitivity and the capacity to accumulate sublethal radiation damage provided a basis for studying stem cells and their closest progeny, hematopoietic progenitor cells.

**Aim** of the study. Assessment of the state of the initial hematopoiesis departments in persons who participated in the liquidation of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant, using cell culture *in vivo*.

**Methods.** Unique biological material (peripheral blood and bone marrow), obtained from the individuals involved in the liquidation of the Chernobyl accident, was analyzed using *in vivo* cell culture in gel diffusion chambers implanted into the abdominal cavity of laboratory animals.

**Results.** The number of circulating CD34+ cells in peripheral blood of 18 out of 46 examined individuals in the early period following the accident was significantly higher compared to norm; in subsequent years these levels returned to baseline. Correspondingly, the colony-forming activity (CFU-GM) of peripheral blood cells from exposed individuals reached  $35.6 \pm 1.8$ , whereas in non-irradiated controls it was only  $1.25 \pm 0.5$  ( $p \leq 0.05$ ). Long-term follow-up demonstrated normalization of CFU-GM values in irradiated persons ( $1.5 \pm 0.5$ ). This phenomenon can be considered as a result of the mobilization of hematopoietic stem cells from the bone marrow in response to the action of ionizing radia-

ючого випромінювання і їхньої циркуляції у периферійній крові опромінених осіб. Морфологічний і функціональний аналіз гемопоетичних клітин-попередників з периферійної крові і кісткового мозку у ранній період після аварії (1986–1987 рр.) свідчив про переважаючий ріст еозинофільних колоній, гіперсегментацію і фрагментацію клітин у нейтрофільних колоніях у культурі клітин *in vivo*. Через тривалий період часу ці зміни у морфології клітин не спостерігалися, що свідчило про відновлення та регенеративні процеси у компартменті гемопоетичних стовбурових клітин.

**Висновки.** Проведені дослідження дозволили оцінити стан первісних відділів гемопоезу опромінених осіб у ранні терміни після аварії на ЧАЕС та за наступні роки. Було виявлено, що кількість циркулюючих у периферійній крові CD34+ клітин була значно вища в опромінених осіб у порівнянні з нормою, а через віддалений проміжок часу після аварії цей показник повертався до норми, що свідчило про відновлювальні процеси у компартменті стовбурових кровотворних клітин кісткового мозку.

tion and their circulation in the peripheral blood of irradiated individuals. Morphological and functional analysis of hematopoietic progenitor cells from peripheral blood and bone marrow during the early post-accident period (1986–1987) revealed predominant growth of eosinophilic colonies, as well as hypersegmentation and fragmentation of the cells within neutrophilic colonies in cell culture *in vivo*. These morphological abnormalities were no longer observed during long-term follow-up, indicating recovery and regenerative processes within the compartment of hematopoietic stem cells.

**Conclusions.** Performed investigations allowed assessing the state of the initial hematopoiesis departments of the irradiated individuals in the early period after the Chernobyl accident and in the subsequent years. It was determined that the number of CD34+ cells circulating in the peripheral blood was significantly higher in irradiated individuals compared to the norm, and in a remote period after the accident this indicator returned to normal, which revealed regenerative processes in the hematopoietic stem cell compartment of the bone marrow.

## СПАЙКОВИЙ БІЛОК SARS-COV-2 ІНДУКОВАВ ЗАТРИМКУ S-ФАЗИ В ОПРОМІНЕНИХ КЛІТИНАХ РАКУ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ

Бриченко В.<sup>1</sup>, Шлапацька Л.<sup>2</sup>, Завелевич М.<sup>2</sup>, Абраменко І.<sup>1</sup>, Чумак А.<sup>1</sup>

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології, Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

<sup>2</sup>Інститут експериментальної патології, онкології та радіобіології ім. Р.Є. Кавецького Національної академії наук України, Київ, Україна

## SPIKE PROTEIN OF SARS-COV-2 INDUCED S-PHASE DELAY IN IRRADIATED BREAST CANCER CELLS

Brichenko V.<sup>1</sup>, Shlapatska L.<sup>2</sup>, Zavelevich M.<sup>2</sup>, Abramenko I.<sup>1</sup>, Chumak A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology, National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>R.E. Kavetsky Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Вступ.** Рак молочної залози (PMЗ) є найпоширенішим онкологічним захворюванням у жінок у світі, включаючи Україну. Променева терапія широко застосовується в лікуванні пацієнтів з PMЗ. Клітинні лінії PMЗ можуть бути використані як модель для вивчення механізмів радіаційно-індукованого апоптозу з метою пошуку шляхів підвищення радіочутливості злоякісних клітин. Після пандемії, спричиненої коронавірусом SARS-CoV-2 (коронавірус 2, пов'язаний з тяжким гострим респіраторним синдромом), є деякі дані про те, що ця інфекція може сприяти прогресуванню PMЗ.

**Мета:** вивчити вплив шипоподібного білка (SP) SARS-Cov-2 на чутливість до радіаційно-індукованого апоптозу клітинних ліній раку молочної залози різного походження (MDA-MB-231 та MCF-7).

**Методи.** Лінії клітин раку молочної залози людини MDA-MB-231 та MCF-7 були отримані з Банку клітинних ліній тканин людини та тварин Інституту експериментальної патології, онкології та радіобіології імені Р.Є. Кавецького Національної академії наук України (Київ). Клітини обробляли специфічним SP (Sino Biological, N 40592-V08H121) у концентрації 60 пмоль/мл. Опромінення клітин проводили за допомогою рентгенівського опроміювача RADGIL2 (Gilardoni, Італія) після 24 годин інкубації з SP та без нього. Клітини MDA-MB-231 та MCF-7 опромінювали в дозах 15 Гр при потужності дози 0,89 Гр/хв за кімнатної температури. Життєздатність клітин оцінювали за допомогою фарбування трипановим синім. Апоптоз та розподіл клітинного циклу аналізували за допомогою проточної цитометрії з йодидом пропідію (PI).

**Introduction.** Breast cancer (BC) is the most common cancer in women in the world, including Ukraine. Radiotherapy is widely applied in the treatment of BC patients. BC cell lines can be used as a model for studying the mechanisms of radiation-induced apoptosis for finding ways to increase radiosensitivity of malignant cells. After the pandemic caused by coronavirus SARS-CoV-2 (Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus 2) there are some data that this infection may facilitate progression of BC.

**Aim:** to study the effect of SARS-Cov-2 spike protein (SP) on the sensitivity to radiation-induced apoptosis of BC cell lines of different origin (MDA-MB-231 and MCF-7).

**Methods.** MDA-MB-231 and MCF-7 human BC cell lines were obtained from the Bank of Cell Lines from Human and Animal Tissues of the R.E. Kavetsky Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology, National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv). Cells were treated with SP (Sino Biological, N 40592-V08H121) at a concentration of 60 pmol/ml. Irradiation of cells was performed using RADGIL2 X-Ray irradiator (Gilardoni, Italy) after 24 h of incubation with and without SP. MDA-MB-231 and MCF-7 cells were irradiated at the doses 15 Gy at a dose rate 0.89 Gy/min at room temperature. Viability of cells was evaluated by trypan blue staining Apoptosis and cell cycle distribution were analyzed by the propidium iodide (PI) flow cytometric assay.

**Результати.** Сам по собі SP не впливав на життєздатність та проходження циклу в клітинах MDA-MB-231. Після 48 годин опромінення виживання клітин MDA-MB-231 зменшилося (з  $92,4 \pm 1,7\%$  до  $83,3 \pm 3,4\%$  у клітинах без обробки SP та з  $90,4 \pm 1,9\%$  до  $80,7 \pm 2,1\%$  у клітинах, оброблених SP). У всіх експериментах (n=5) кількість мертвих/апоптотичних клітин MDA-MB-231 була дещо вищою в культурах, оброблених SP (на 15–25% у різних експериментах). Вплив опромінення призвів до затримки клітинного циклу з накопиченням клітин у фазі G2/M (від 18% у контролі до 66% в опромінені клітинах). Тим часом у клітинах MDA-MB-231, попередньо оброблених SP, спостерігався різкий зсув у розподілі фаз клітинного циклу. А саме: S-фаза збільшилася з 17% в опромінені клітинах, культивованих без SP, до 39% в опромінені клітинах, попередньо оброблених SP. Аналогічна картина спостерігалася для проходження клітинного циклу клітин MCF-7. Подібно до клітин MDA-MB-231, сам SP білок не впливав на розподіл за фазами клітинного циклу та життєздатність клітин. В опромінені клітинах MCF-7 помітне накопичення клітин у фазі G2/M було очевидним. У клітинах, попередньо оброблених SP, S-фаза збільшилася з 27% в опромінені клітинах, культивованих без SP, до 45% в опромінені клітинах, попередньо оброблених SP, що свідчить про уповільнення прогресування клітинного циклу.

**Висновок.** Опромінення в дозі 15 Гр призводить до незначного збільшення відсотка гіподиплоїдних клітин в обох досліджуваних клітинних лініях. SP мав певний проапоптотичний ефект на обидві клітинні лінії, але він не був вираженим. Важливим ефектом обробки SP, продемонстрованим у нашому дослідженні, було значне збільшення кількості клітин у S-фазі в опромінені клітинах MDA-MB-231 та MCF-7. Відомо, що зупинка клітинного циклу в S-фазі є критичним контрольним пунктом, який дозволяє клітинам відновлювати генетичні пошкодження. Отримані дані свідчать про те, що шипоподібний білок може сприяти відновленню пошкоджень ДНК.

**Results.** SP alone did not affect viability and cycle traverse in MDA-MB-231 cells. After 48 h of irradiation the survival of MDA-MB-231 cells decreased (from  $92,4 \pm 1,7\%$  to  $83,3 \pm 3,4\%$  in cells without SP treatment and from  $90,4 \pm 1,9\%$  to  $80,7 \pm 2,1\%$  in SP-treated cells). In all experiments (n=5), the number of dead/apoptotic MDA-MB-231 cells was slightly higher in SP-treated cultures (by 15–25 % in various experiments). The exposure to radiation resulted in the delay of cell cycle with the accumulation of cells in G2/M phase (from 18 % in control to 66 % in irradiated cells). Meanwhile, in SP-pretreated MDA-MB-231 cells, the drastic shift in cell cycle phase distribution was evident. Namely, S phase increased from 17 % in irradiated cells cultured without SP to 39 % in irradiated cells pretreated with SP. The analogous pattern was evident for cell cycle traverse of MCF-7 cells. Similarly to MDA-MB-231 cells, SP protein alone did not affect the distribution by cell cycle phases and viability of cells. In irradiated MCF-7 cells, the noticeable cell accumulation in G2/M phase was obvious. In SP-pretreated cells, S phase increased from 27 % in irradiated cells cultured without SP to 45 % in irradiated cells pretreated with SP suggesting the slow-down of cell cycle progression.

**Conclusion.** Irradiation at a dose of 15 Gy results in a slight increase in the percent of hypodiploid cells in both cell lines under study. SP had some pro-apoptotic effect on both cell lines, but it was not pronounced. An important effect of SP treatment demonstrated in our study was the significant increase in cells in S-phase in irradiated MDA-MB-231 and MCF-7 cells. It is known that cell cycle arrest in the S-phase is a critical checkpoint that allow cells to repair genetic damage. The findings suggest that the spike protein may promote DNA damage repair.

## ВИВЧЕННЯ ДОБОВОГО НАДХОДЖЕННЯ <sup>137</sup>Cs З ЇЖИ У ВИБРАНІЙ КОГОРТІ СЕЛА НАРОДИЧІ ЧЕРЕЗ 30 РОКІВ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ

Бузинний М.<sup>1</sup>, Кімура Ш.<sup>2</sup>, Дідух М.<sup>3</sup>, Комаса Ю.<sup>2</sup>, Михайлова Л.<sup>1</sup>, Такеучі Т.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ, Україна

<sup>2</sup>Медичний університет Доккіо, Тогічі, Японія

<sup>3</sup>Житомирський національний агроекологічний університет, Житомир, Україна

## STUDYING THE DAILY INTAKE OF <sup>137</sup>Cs FROM FOOD IN THE SELECTED COHORT OF THE VILLAGE OF NARODYCHI, 30 YEARS AFTER THE CHORNOBYL ACCIDENT

Buzynnyi M.<sup>1</sup>, Kimura S.<sup>2</sup>, Didukh M.<sup>3</sup>, Komasa Y.<sup>2</sup>, Mykhailova L.<sup>1</sup>, Takeuchi T.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Institution «O.M. Marzjeiev Institute of Public Health NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Dokkyo Medical University, Tochigi, Japan

<sup>3</sup>Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine

Радіаційна аварія на Чорнобильській атомній електростанції 26 квітня 1986 року призвела до масштабних викидів радіоактивності в навколишнє середовище. Її наслідки — забруднення радіонуклідами ґрунтів, сільськогосподарської продукції, лісових грибів і ягід — тривають десятиліттями. Одним із регіонів, найбільше постраждалих від Чорнобильської аварії, була Житомирська область (Полісся).

**Метою** дворічного дослідження було обчислення та аналіз індивідуального щоденного надходження <sup>137</sup>Cs у групі сільських мешканців на основі щомісячного збору зразків продуктів харчування кожної сім'ї, лабораторного визначення питомої активності цих зразків, а також врахування кількості відповідних продуктів за спеціально розробленою анкетною, спожитих кожним членом сім'ї у той самий день, включаючи три прийоми їжі. До складу досліджуваної когорти входили 11 сімей від 2 до 6 членів у кожній, загалом 34 особи, які проживали в селі Народичі Житомирської області з листопада 2015 року по жовтень 2017 року. Індивідуальні оцінки річної дози опромінення проводилися на основі відповідних статистичних оцінок надходження <sup>137</sup>Cs із раціону та вік-залежних дозових коефіцієнтів.

**Результати.** Вимірювання вмісту <sup>137</sup>Cs у харчових продуктах показали, що місцеві овочі, фрукти та ягоди містять від одного до десятків Бк/кг. Молоко та молочні страви містять від десятків до

The radiation accident at the Chornobyl nuclear power plant on April 26, 1986, caused extensive environmental radioactivity releases. Its effects — radioactive contamination of soils, agricultural products, wild mushrooms, and berries — continue to persist for decades. One of the most affected areas by the Chornobyl accident was the Zhytomyr region (Polissya).

The current study **aimed** to calculate and analyze the individual daily dietary intake of <sup>137</sup>Cs among a cohort of rural residents, based on regular sampling and radioactivity measurements of each family's daily food rations and on each cohort member's quantitative food consumption indicators over two years. Monthly measurements of <sup>137</sup>Cs activity concentration in food were collected from November 2015 to October 2017 to analyze dietary radioactivity and estimate its impact on daily intake for the selected group (11 families, 2 to 6 members each, totaling 34 people) living in the village of Narodychi, Zhytomyr region. The study included detailed quantitative recording of each family member's diet on one chosen day each month, using a specially designed questionnaire, along with gamma-spectroscopy measurements of <sup>137</sup>Cs activity concentration in food samples collected that same day, covering all three meals. Daily intake of <sup>137</sup>Cs was determined by combining the daily family questionnaire data with individual <sup>137</sup>Cs activity concentration measurements for the same family on the same day. Individual annual exposure doses were estimated based on the corresponding dietary <sup>137</sup>Cs intake estimates and age-dependent dose coefficients.

кількох сотень, а готові перші й другі страви з м'яса, у тому числі з додаванням лісових грибів, іноді містять до кількох сотень Бк/кг. Розрахунки показують, що добове надходження <sup>137</sup>Cs із раціону для різних членів когорти коливалося від 0,1 до 704 Бк. Надходження <sup>137</sup>Cs залежить від змін радіоактивності в продуктовому кошику сім'ї протягом року та індивідуальних уподобань кожного члена сім'ї у споживанні продуктів харчування, особливо молока та продуктів, приготованих із молока, а також і більшою мірою — продуктів лісового походження: лісових ягід і грибів, причому у чоловіків воно було вищим. Консервативні оцінки максимальної дози опромінення у когорті кожен рік сягали 0,33 мЗв/рік, тоді як за більш реалістичною оцінкою відповідне значення було вдвічі нижче. Показано, що річна ефективна доза опромінення людини визначається структурою продуктового кошика сім'ї та індивідуальними харчовими звичками. Освітня робота щодо уникнення вживання певних продуктів харчування має бути важливою для запобігання високому надходженню <sup>137</sup>Cs з їжею.

**Results.** Measurements of <sup>137</sup>Cs radioactivity in food items revealed that domestic vegetables, fruits, and berries contain one to several Bq/kg. Milk and dairy products hold tens to several hundred Bq/kg, and ready-made first and second courses of meat, including those with forest mushrooms, sometimes reach several hundred Bq/kg. Calculations show that the daily dietary intake of <sup>137</sup>Cs for different groups ranges from 0.1 to 704 Bq. This intake varies based on changes in radioactivity within the family food basket throughout the year and individual preferences in food consumption among family members, especially for milk and milk-based products, and more significantly, for forest-origin foods like wild berries and mushrooms. It tends to be higher in males. Statistical data on daily <sup>137</sup>Cs intake vary widely among group members and families. Conservative estimates of the cohort's annual irradiation dose are below 0.33 mSv/year, while the average nearly doubles in the second year. It has been shown that an individual's annual effective irradiation dose is influenced by the family's food choices and eating habits. Educational efforts to avoid specific foods should be a key part of preventing high <sup>137</sup>Cs intake from food.

## СИСТЕМА ІНДИВІДУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ ННЦРМГО З САНІТАРНИМ ПРОПУСКНИКОМ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА ГОТОВНОСТІ ДО НЕБЕЗПЕК РАДІАЦІЙНОГО ХАРАКТЕРУ

Василенко В.<sup>1</sup>, Акбаров К.<sup>2</sup>, Литвинець Л.<sup>1</sup>, Курята М.<sup>1</sup>, Морозов В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

<sup>2</sup>Бюро ВООЗ в Україні, ХБРЯ безпека, Київ, Україна

## NRCRMHO INTERNAL EXPOSURE INDIVIDUAL MONITORING SYSTEM WITH A SANITARY CHECKPOINT AS A COMPONENT OF PREPAREDNESS FOR RADIOLOGICAL HAZARDS

Vasylenko V.<sup>1</sup>, Akbarov K.<sup>2</sup>, Lytvynets L.<sup>1</sup>, Kuriata M.<sup>1</sup>, Morozov V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>WHO Country Office in Ukraine, CBRN Safety, Kyiv, Ukraine

На базі відділу дозиметрії Державної установи «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України» (ННЦРМГО) функціонує єдиний комплекс моніторингу внутрішнього опромінення, реалізований в двоступеневу систему з використанням лічильників випромінювання людини (ЛВЛ) оперативного класу, які призначені для поточного масового скринінгу населення та унікального експертного ЛВЛ (ЕЛВЛ), для поглибленого моніторингу критичних груп населення, вирішення експертних і метрологічних задач. Забезпечує роботу системи санітарний пропускник експертного ЛВЛ, призначений для проведення радіаційного сортування та деконтамінації. Він складається із:

- накопичувача, у якому може бути розміщено одночасно до 30 осіб;
- приміщення для визначення поверхневого забруднення шкіряних покривів людини;
- 2 душових кімнат для деконтамінації забруднених осіб;
- підготовчої дозиметрії (оперативний контроль інкорпорованих гамма-радіонуклідів);
- експертного лічильника випромінювання людини, високочутливого до всіх видів випромінювання радіонуклідів.

Основні функції санпропускника: оцінка ступеню зовнішнього забруднення постраждалих осіб; сортування на основі інформації про забруднення; деконтамінація забруднених радіонуклідами осіб; оцінка внутрішнього опромінення.

At the Dosimetry Department of the State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (NRCRMHO), a unique internal exposure monitoring complex operates as a two-level system using operational-class whole body counters (WBC), intended for current large-scale population screening, and a unique expert whole body counter (EWBC) for in-depth monitoring of critical population groups and for addressing expert and metrological tasks. The operation of the system is supported by the sanitary checkpoint of the EWBC, designed for radiation triage and decontamination. It consists of:

- a waiting area (room) that can accommodate up to 30 people simultaneously;
- a room for determining surface contamination of human skin;
- two shower rooms for decontamination of contaminated persons;
- a preliminary dosimetry (operational monitoring of incorporated gamma-emitting radionuclides);
- an expert whole body counter highly sensitive to all types of radionuclide radiation.

The main functions of the sanitary checkpoint are: assessment of the degree of external contamination of affected individuals; triage based on contamination information; decontamination of persons contaminated with radionuclides; and assessment of internal exposure.

Санпропускник було задіяно при проведенні індивідуального контролю внутрішнього опромінення персоналу об'єкту «Укриття» та персоналу підрядних організацій, залучених до побудови нового безпечного конфайменту об'єкту «Укриття» у 2004–2018 рр. Прикладом оперативного реагування на надзвичайні ситуації і ефективної роботи системи моніторингу є індивідуальний моніторинг особового складу Державної служби з надзвичайних ситуацій України (ДСНС), який був залучений до ліквідації лісової пожежі у зоні відчуження ЧАЕС з 04 квітня по 05 травня 2020 року. Обстежено 470 рятувальників (виконано 523 виміри) особового складу ДСНС. Розраховані значення індивідуальних ефективних доз внутрішнього опромінення, обумовлені надходженням радіоцезію в організм при гасінні пожежі. У 2024–2025 рр. при сприянні міжнародних організацій – ВООЗ, МАГАТЕ, Міністерство енергетики США, санпропускник оснащено новітніми приладами радіаційного контролю. На базі санітарного пропускника ЕЛВЛ створено «Навчальний центр радіаційної дозиметрії ВООЗ» для навчання персоналу медичних закладів України роботі з приладами радіаційного контролю. ВООЗ забезпечила ННЦРМГО зразками обладнання, наданого медичним установам України для реагування на надзвичайні ситуації радіаційного характеру. У 2023–2025 рр. проведено 33 тренінги. Близько 500 фахівців отримали практичні навички роботи з приладами радіаційного контролю.

**Висновки.** Таким чином, функціонування дворівневої системи індивідуального моніторингу внутрішнього опромінення та санітарного пропускника ННЦРМГО дає можливість здійснювати контроль великих груп осіб, постраждалих від небезпечних радіаційних ситуацій та/або задіяних у їх ліквідації, оцінити значення отриманої індивідуальної ефективної дози внутрішнього опромінення від такої ситуації та здійснювати освітню роль у підготовці до надзвичайних ситуацій радіаційного характеру.

The sanitary checkpoint was used during individual monitoring of internal exposure among personnel of the Shelter Object and employees of contractor organizations involved in the construction of the New Safe Confinement over the Shelter Object during 2004–2018. An example of rapid emergency response and the effective functioning of the two-level monitoring system was the individual monitoring of personnel of the State Emergency Service of Ukraine (SESU) involved in extinguishing the forest fires in the Chernobyl Exclusion Zone from 4 April to 5 May 2020. A total of 470 rescuers (523 measurements) from SESU were examined. Individual effective internal exposure doses caused by the intake of radiocesium during firefighting activities were calculated. In 2024–2025, with the support of international organizations—including WHO, IAEA, and the United States Department of Energy — the sanitary checkpoint was equipped with modern radiation monitoring instruments. On the basis of the EWBC sanitary checkpoint, the «WHO Radiation Dosimetry Training Center» was established to train staff of Ukrainian medical institutions in the use of radiation monitoring instruments. WHO provided NRCRMHO with samples of the equipment supplied to medical institutions in Ukraine for response to radiological emergencies. In 2023–2025, 33 training sessions were conducted, and approximately 500 specialists acquired practical skills in working with radiation monitoring instruments.

**Conclusions.** Thus, the operation of the two-level individual internal exposure monitoring system and the NRCRMHO sanitary checkpoint makes it possible to monitor large groups of persons affected by hazardous radiological situations and/or involved in their mitigation, assess the individual effective internal exposure dose received as a result of such situations, and perform an educational role in preparedness for radiological emergencies.

## РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ОКРЕМИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ НА ПОТОЧНОМУ ЕТАПІ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АТОМНІЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Василенко В.В., Курята М.С., Морозов В.В., Литвинець Л.О., Крамаренко М.С., Міщенко Л.П., Іскра Н.І., Білоник А.Б., Мань З.С., Боровков С.І.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

## RADIATION AND HYGIENIC MONITORING OF SELECTED SETTLEMENTS IN RADIOACTIVELY CONTAMINATED TERRITORIES OF UKRAINE AT THE CURRENT STAGE OF THE CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

Vasylenko V.V., Kuriata M.S., Morozov V.V., Lytvynets L.O., Kramarenko M.S., Mishchenko L.P., Iskra N.I., Bilonyk A.B., Man Z.S., Borovkov S.I.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

Факівці Державної установи «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України» (ННЦРМГО) починаючи з 1986 року проводять постійний масовий моніторинг рівнів внутрішнього опромінення населення територій, забруднених внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС за допомогою лічильників випромінювання людини (ЛВЛ). Сформована за післяаварійний період база даних результатів ЛВЛ-вимірювань мешканців України включає близько 1,5 млн записів. Отримані дані дозволили встановити статево-вікові, сезонні, професійні особливості формування доз внутрішнього опромінення населення радіоактивно забруднених територій (РЗТ) України та відслідкувати динаміку доз впродовж після аварійного періоду. З 2008 р. призупиняється виконання Державної програми «Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України», а відтак і обсяги радіаційного моніторингу. З 2010 р. ННЦРМГО започаткував вибірково комплексний радіаційно-гігієнічний моніторинг в окремих НП.

**Мета** дослідження: визначення основних радіаційно-гігієнічних чинників формування доз опромінення населення радіоактивно забруднених територій на поточному етапі аварії та дослідження їх динаміки.

Since 1986, specialists of the State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (NRCRMHO) have been conducting continuous large-scale monitoring of internal exposure levels in populations residing in territories affected by the Chernobyl NPP accident using whole body counters (WBC). The database of WBC measurement results collected during the post-accident period includes approximately 1.5 million records of residents of Ukraine. These data made it possible to identify age-, sex-, seasonal-, and occupation-related patterns in the formation of internal exposure doses among populations of radioactively contaminated territories (RCT) in Ukraine, as well as to track dose dynamics throughout the post-accident period. Since 2008, the implementation of the State Program «General Dosimetric passportization of Ukrainian Settlements» has been suspended, leading to a reduction in the scope of radiation monitoring. In 2010, NRCRMHO initiated a selective comprehensive radiation and hygienic monitoring program in selected settlements.

**Objective** of the study: to determine the main radiation and hygienic factors contributing to the formation of radiation doses in populations of radioactively contaminated territories at the current stage of the accident and to assess their dynamics.

**Методи.** Для дослідження було обрано 23 НП РЗТ Київської, Рівненської, Житомирської областей, в яких у післяаварійні роки реєструвалися найвищі рівні опромінення населення. Раз на 3 роки в цих НП проводиться комплексний радіаційно-гігієнічний моніторинг, який включає:

- > виїзний ЛВЛ-моніторинг для визначення дози внутрішнього опромінення;
- > збір проб основних продуктів харчування та їх аналіз на вміст радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$ ;
- > вимірювання потужності експозиційної дози зовнішнього опромінення (ПЕД) для дослідження компоненти зовнішнього опромінення у цих НП;
- > опитування мешканців щодо обсягів споживання продуктів харчування як місцевих із власного домогосподарства, так і придбаних у торговій мережі.

**Результати** проведених у 2010–2024 рр. досліджень показали, що річні ефективні дози опромінення населення в обстежених населених пунктах на поточному етапі аварії формуються в основному за рахунок доз внутрішнього опромінення, обумовлених інкорпорацією  $^{137}\text{Cs}$ , які поступово знижуються на тлі суттєвої сезонної нестабільності (накопичення інкорпорованого радіоцезію збільшуються від весни до осені до 2 разів). Основним чинником формування дози внутрішнього опромінення мешканців РЗТ Київської та Житомирської областей на поточному етапі аварії на Чорнобильській АЕС, є надходження  $^{137}\text{Cs}$  в організм з лісовими продуктами, насамперед, грибами, які в Поліському регіоні традиційно займають суттєву частину харчового раціону, а в Рівненській та Житомирській областях з молоком та лісовими продуктами.

**Висновки.** Нинішня радіаційно-екологічна ситуація в місцевостях, які зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, потребує продовження моніторингу за рівнями радіоактивного забруднення продуктів харчування, особливо лісового походження, й доз опромінення населення.

**Methods.** For the study, 23 settlements in the radioactively contaminated territories of Kyiv, Rivne, and Zhytomyr regions were selected, where the highest levels of population exposure had been recorded in the post-accident period. Every three years, comprehensive radiation and hygienic monitoring is conducted in these settlements, including:

- > field WBC monitoring to determine internal exposure doses;
- > sampling of major food products and analysis of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  content;
- > measurement of external exposure dose rate (EDR) to assess the external exposure component;
- > surveys of residents regarding consumption of locally produced food (from private households) and food purchased through retail networks.

The **results** of studies conducted in 2010–2024 showed that, at the current stage of the accident, annual effective doses to the population in the surveyed settlements are mainly formed by internal exposure doses due to incorporation of  $^{137}\text{Cs}$ , which are gradually decreasing against a background of significant seasonal variability (accumulation of incorporated radiocesium increases up to twofold from spring to autumn). The main factor contributing to internal exposure doses in residents of radioactively contaminated territories in Kyiv and Zhytomyr regions is the intake of  $^{137}\text{Cs}$  through forest products, primarily mushrooms, which traditionally constitute a significant part of the diet in the Polissia region. In Rivne and Zhytomyr regions, internal exposure is mainly formed through both milk consumption and forest products.

**Conclusions.** The current radiation and environmental situation in areas contaminated because of the Chernobyl disaster requires continued monitoring of radioactive contamination levels in food products especially those of forest origin as well as continued assessment of population exposure doses.

## МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ У ДІТЕЙ, ЯКІ ПРОЖИВАЮТЬ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ: БАГАТОФАКТОРНА МОДЕЛЬ У ВІДДАЛЕНИЙ ПІСЛЯЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ ПЕРІОД

Вдовенко В. Ю., Колпаков І. Є., Кондрашова В. Г., Позниш В. А., Чумак А. А.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

## MEDICAL AND BIOLOGICAL EFFECTS IN CHILDREN LIVING IN RADIOACTIVELY CONTAMINATED TERRITORIES: A MULTIFACTORIAL MODEL IN THE REMOTE POST-CHORNOBYL PERIOD

Vdovenko V. Yu., Kolpakov I. Ye., Kondrashova V. H., Poznysh V. A., Chumak A. A.

State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Haematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Через сорок років після Чорнобильської катастрофи проблема збереження здоров'я дітей, які проживають на радіоактивно забруднених територіях, залишається невирішеною, а віддалені медико-біологічні ефекти у цих популяціях не можуть бути пояснені лише хронічним низькодозовим радіаційним впливом.

**Мета.** Окреслити сучасну багатофакторну модель формування медико-біологічних ефектів у дітей із радіоактивно забруднених територій з урахуванням радіаційних, психосоціальних, воєнних і генетичних чинників.

**Матеріали та методи.** Проведено аналітичний огляд публікацій авторів і партнерів за 2008–2025 роки.

**Результати.** У віддалений післяаварійний період провідним джерелом опромінення дітей залишається інкорпорація  $^{137}\text{Cs}$ , а накопичені дані вказують на стійкі функціональні зміни з боку респіраторної, імунної, гематологічної та психоемоційної систем, асоційовані з хронічним низькодозовим радіаційним впливом. Їх формування пов'язане з оксидативним стресом, нейроендокринною та імунною дисрегуляцією, тоді як індивідуальна варіабельність реактивності значною мірою визначається поліморфізмами генів регуляторних, антиоксидантних і нейромедіаторних систем. На сучасному етапі медико-біологічні ефекти у цих дітей визначаються вже не окремими чинниками, а конфігурацією поєданого стресового навантаження, у якій радіаційний, психосоціальний і воєнний компоненти мають різну вагу та потенціюють один одного. У цій конфігурації механізми GxE-взаємодій набувають ключового значення для формування індивідуальних траєкторій реактивності, а радіаційна складова в ба-

**Background.** Forty years after the Chernobyl disaster, the problem of preserving the health of children living in radioactively contaminated territories remains unresolved, and the remote medical and biological effects observed in these populations cannot be explained solely by chronic low-dose radiation exposure.

**Objective.** To outline a contemporary multifactorial model of the formation of medical and biological effects in children from radioactively contaminated territories, taking into account radiation-related, psychosocial, war-related and genetic factors.

**Materials and methods.** An analytical review of publications by the authors and their collaborators published in 2008–2025 was carried out.

**Results.** In the remote post-accident period, the leading source of children's exposure remains  $^{137}\text{Cs}$  incorporation, and accumulated evidence indicates persistent functional changes in the respiratory, immune, haematological and psychoemotional systems associated with chronic low-dose radiation exposure. Their development is linked to oxidative stress, neuroendocrine and immune dysregulation, whereas individual variability in reactivity is largely determined by polymorphisms in genes of regulatory, antioxidant and neurotransmitter systems. At the present stage, the medical and biological effects in these children are determined not by isolated factors alone, but by the configuration of a combined stress burden in which radiation-related, psychosocial and war-related components carry different weights and potentiate one another. Within this configuration, GxE interaction mechanisms acquire key importance in shaping individual trajectories of reactivity,

гатофакторних моделях не має самостійної пояснювальної сили щодо варіабельності показників здоров'я.

**Висновки.** Поєднання радіаційних, психосоціальних і воєнних стресорів у сучасних умовах формує нову структуру детермінант здоров'я дітей із радіоактивно забруднених територій, що обґрунтовує перегляд традиційних радіаційно-центричних підходів і перехід до інтегрованих багатофакторних моделей оцінки ризику, моніторингу та прогнозування.

while the radiation component in multifactorial models has no independent explanatory power with regard to variability in health indicators.

**Conclusions.** In current conditions, the combination of radiation-related, psychosocial and war-related stressors forms a new structure of determinants of health in children from radioactively contaminated territories, which justifies reconsideration of traditional radiation-centred approaches and a transition to integrated multifactorial models of risk assessment, monitoring and prediction.

## СТРЕСОРИ ВІЙНИ ТА ПОЛІМОРФІЗМ 5-HTTLPR ЯК МОДИФІКАТОРИ ОСОБИСТІСНОЇ ТРИВОЖНОСТІ У ДІТЕЙ ІЗ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ У ВІДДАЛЕНИЙ ПІСЛЯЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ ПЕРІОД

Вдовенко В. Ю., Позниш В. А., Колпаков І. Є., Гуртавцова М. В., Чумак А. А.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна*

## WAR-RELATED STRESSORS AND THE 5-HTTLPR POLYMORPHISM AS MODIFIERS OF TRAIT ANXIETY IN CHILDREN FROM RADIOACTIVELY CONTAMINATED TERRITORIES IN THE REMOTE POST-CHORNOBYL PERIOD

Vdovenko V. Yu., Poznysh V. A., Kolpakov I. Ye., Hurtavtsova M. V., Chumak A. A.

*State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Haematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine*

**Актуальність.** Через 40 років після Чорнобильської катастрофи оцінка стану здоров'я дітей, які проживають на радіоактивно забруднених територіях, має враховувати не лише віддалені наслідки хронічного радіаційного впливу, а й нові потужні психосоціальні виклики воєнного часу, здатні модифікувати психоемоційний стан і прояви індивідуальної вразливості.

**Мета.** Оцінити, як воєнні стресори та поліморфізм 5-HTTLPR гена транспортера серотоніну (*SLC6A4*) впливають на рівень особистісної тривожності у дітей шкільного віку, зокрема у дітей, які проживають на радіоактивно забруднених територіях у віддалений післячорнобильський період.

**Матеріали та методи.** Проведено крос-секційне клініко-психологічне дослідження 231 дитини віком 10–17 років із трьох регіонів України, постраждалих від воєнних дій; частина учасників постійно проживала на радіоактивно забруднених територіях. Програма обстеження включала анкетування щодо структурних воєнних стресорів і частоти повітряних тривог, оцінку особистісної тривожності за STAI та генотипування 5-HTTLPR методом алель-специфічної ПЛР; статистичний аналіз виконували з використанням регресійних моделей для оцінки асоціацій та G×E-взаємодій.

**Результати.** Діти, які зазнали інтенсивних воєнних стресорів або регулярно перебували під впливом повітряних тривог, мали достовірно вищий рівень особистісної тривожності. Найсильнішим предиктором високої тривожності виявився виражений

**Background.** Forty years after the Chernobyl disaster, assessment of the health status of children living in radioactively contaminated territories should take into account not only the remote effects of chronic radiation exposure, but also new powerful psychosocial challenges of wartime that may modify psychoemotional status and manifestations of individual vulnerability.

**Objective.** To assess how war-related stressors and the 5-HTTLPR polymorphism of the serotonin transporter gene (*SLC6A4*) influence the level of trait anxiety in school-aged children, particularly in those living in radioactively contaminated territories in the remote post-Chernobyl period.

**Materials and methods.** A cross-sectional clinical and psychological study was conducted in 231 children aged 10–17 years from three regions of Ukraine affected by military hostilities; some participants were permanent residents of radioactively contaminated territories. The assessment programme included a questionnaire on structural war-related stressors and the frequency of air-raid alarms, evaluation of trait anxiety using the STAI, and 5-HTTLPR genotyping by allele-specific PCR; statistical analysis was performed using regression models to assess associations and G×E interactions.

**Results.** Children exposed to intense war-related stressors or regularly affected by air-raid alarms had significantly higher levels of trait anxiety. The strongest predictor of high anxiety was a pronounced

рівень реагування на повітряні тривоги (OR ≈ 31;  $p < 0,001$ ). Водночас проживання у зоні радіаційного контролю не мало незалежного впливу на рівень тривожності ( $p = 0,48$ ), що свідчить про домінування актуальних воєнних стресорів у структурі психоемоційного ризику. Встановлено також значущу G×E-взаємодію: у носіїв короткого S-алеля 5-HTTLPR вплив сукупного стресу на рівень тривожності був майже вдвічі сильнішим, ніж у дітей з генотипом L/L ( $p < 0,001$ ), що вказує на генетично модульовану вразливість до хронічного стресового навантаження.

**Висновки.** У віддалений післячорнобильський період психоемоційний стан дітей із радіоактивно забруднених територій формується не лише під впливом традиційно враховуваних радіаційних чинників, а й під дією потужних воєнних стресорів, ефект яких модифікується генетичною вразливістю; це обґрунтовує необхідність інтеграції психосоціальних і молекулярно-генетичних маркерів у систему моніторингу та профілактики тривожних розладів у дитячих післячорнобильських контингентах.

ed level of response to air-raid alarms (OR ≈ 31;  $p < 0.001$ ). At the same time, residence in a radiation-control zone had no independent effect on anxiety level ( $p = 0.48$ ), indicating the predominance of current war-related stressors in the structure of psychoemotional risk. A significant G×E interaction was also established: in carriers of the short S allele of 5-HTTLPR, the effect of cumulative stress on anxiety level was almost twice as strong as in children with the L/L genotype ( $p < 0.001$ ), indicating genetically mediated vulnerability to chronic stress burden.

**Conclusions.** In the remote post-Chernobyl period, the psychoemotional status of children from radioactively contaminated territories is shaped not only by traditionally considered radiation-related factors, but also by powerful war-related stressors, the effects of which are modified by genetic vulnerability; this justifies the integration of psychosocial and molecular genetic markers into the system of monitoring and prevention of anxiety disorders in paediatric post-Chernobyl cohorts.

## ПСИХОЛОГІЧНИЙ СТРЕС У ДІТЕЙ ІЗ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ У ВІДДАЛЕНИЙ ПІСЛЯ-ЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ ПЕРІОД: КВАРТИЛЬНА СТРАТИФІКАЦІЯ PSM-25 ТА ПІЛОТНА ОЦІНКА РОЛІ ПОЛІМОРФІЗМУ *SOD2*

Вдовенко В. Ю.<sup>1</sup>, Сушко В. О.<sup>1</sup>, Анопрієнко О. В.<sup>2</sup>, Колпаков І. Є.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

<sup>2</sup>Центр медико-психологічної, соціально-реабілітаційної допомоги НДСЛ «Охматдит» МОЗ України, Київ, Україна

## PSYCHOLOGICAL STRESS IN CHILDREN FROM RADIOACTIVELY CONTAMINATED TERRITORIES IN THE REMOTE POST-CHORNOBYL PERIOD: QUARTILE STRATIFICATION OF PSM-25 AND A PILOT ASSESSMENT OF THE ROLE OF THE *SOD2* POLYMORPHISM

Vdovenko V. Yu.<sup>1</sup>, Sushko V. O.<sup>1</sup>, Anoprienko O. V.<sup>2</sup>, Kolpakov I. Ye.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Haematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Centre for Medical, Psychological and Social Rehabilitation, National Children's Specialised Hospital «Okhmatdyt» of the Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Через 40 років після Чорнобильської катастрофи психоемоційний стан дітей, які проживають на радіоактивно забруднених територіях, формується під впливом не лише хронічного радіоекологічного навантаження, а й потужних воєнних стресорів, що зумовлює потребу в пошуку нових підходів до стратифікації індивідуальної вразливості.

**Мета.** Оцінити рівень психологічного стресу у дітей, які зазнали впливу війни та проживають, зокрема, на радіоактивно забруднених територіях у віддалений післячорнобильський період, а також визначити можливі асоціації з поліморфізмом *SOD2* (Val16Ala, rs4880) із використанням квартильної стратифікації шкали PSM-25.

**Матеріали та методи.** У крос-секційне клініко-психологічне дослідження включено 42 дитини віком 10–17 років, які проживали в регіонах із різним рівнем радіаційного навантаження та зазнали впливу воєнних подій; психоемоційний стан оцінювали за шкалою PSM-25, рівень стресу стратифікували квартильним методом, генотипування rs4880 гена *SOD2* виконували методом PCR-RFLP, статистичний аналіз проводили з використанням непараметричних критеріїв і логістичних регресійних моделей.

**Background.** Forty years after the Chornobyl disaster, the psychoemotional status of children living in radioactively contaminated territories is shaped not only by chronic radioecological burden, but also by powerful war-related stressors, which necessitates the search for new approaches to stratifying individual vulnerability.

**Objective.** To assess the level of psychological stress in children exposed to war and living, in particular, in radioactively contaminated territories in the remote post-Chornobyl period, and to determine possible associations with the *SOD2* polymorphism (Val16Ala, rs4880) using quartile stratification of the PSM-25 scale.

**Materials and methods.** A cross-sectional clinical and psychological study included 42 children aged 10–17 years who lived in regions with different levels of radiation burden and had been exposed to war-related events; psychoemotional status was assessed using the PSM-25 scale, stress level was stratified by the quartile method, genotyping of rs4880 in the *SOD2* gene was performed using PCR-RFLP, and statistical analysis was carried out using non-parametric tests and logistic regression models.

**Результати.** Рівень психологічного стресу у вибірці варіював від 29 до 182 балів за PSM-25, середнє значення становило  $96,7 \pm 37,7$  бала, медіана – 102,5 бала, що відображало виражену гетерогенність індивідуальних реакцій. Понад чверть дітей мали показники, які перевищували умовні клінічні порогові, а квартильна стратифікація дозволила виокремити три клінічно релевантні підгрупи: умовно низький (< 67,3 бала), проміжний (67,4–122,7 бала) та умовно високий (> 122,8 бала) рівні стресу. До групи з найвищим рівнем стресу увійшли 11 дітей (26,2 %) із середнім показником  $142,7 \pm 19,4$  бала, що вказує на наявність підгрупи з вираженим дистресом. Статистично значущу асоціацію встановлено між статтю та рівнем стресу: дівчата мали вищі показники, ніж хлопці ( $p = 0,041$ ), а бінарна логістична модель підтвердила захисний ефект чоловічої статі щодо високого рівня стресу (OR = 0,05; 95 % CI: 0,01–0,89). Проживання на радіоактивно забруднених територіях не супроводжувалося достовірними відмінностями за непараметричними тестами, однак у регресійній моделі виявлено тенденцію до підвищеного ризику високого стресу в цій групі (OR = 21,34; 95 % CI: 0,84–539,34;  $p = 0,063$ ), що може відображати фоновий ефект хронічного соціоекологічного навантаження. Генетичний аналіз не показав достовірних міжгрупових відмінностей за  $\chi^2$ -критерієм, проте і бінарна, і порядкова логістична регресія продемонстрували узгоджену тенденцію до протективної ролі Ala-алеля rs4880: носії Val/Ala та Ala/Ala мали нижчу ймовірність формування високого рівня стресу порівняно з референтною групою Val/Val. Сукупність цих даних дає підстави розглядати квартильну стратифікацію PSM-25 як адаптивний інструмент внутрішньої клінічної типологізації стресу в дитячій популяції за відсутності валідованих нормативів, а поліморфізм *SOD2* – як перспективний генетичний модифікатор індивідуальної стрес-реактивності.

**Висновки.** У віддалений післячорнобильський період психологічний стрес у дітей із радіоактивно забруднених територій доцільно розглядати як результат накладання воєнних і соціоекологічних чинників, а квартильну стратифікацію PSM-25 – як практичний інструмент виокремлення груп підвищеної вразливості; пілотні дані щодо протективної ролі Ala-алеля *SOD2* обґрунтовують подальше вивчення молекулярно-генетичних маркерів у системі післячорнобильського психоемоційного моніторингу дітей.

**Results.** The level of psychological stress in the sample ranged from 29 to 182 points on the PSM-25 scale, with a mean of  $96.7 \pm 37.7$  points and a median of 102.5 points, reflecting pronounced heterogeneity of individual responses. More than a quarter of children had scores exceeding conditional clinical thresholds, and quartile stratification made it possible to distinguish three clinically relevant subgroups: conditionally low (< 67.3 points), intermediate (67.4–122.7 points), and conditionally high (> 122.8 points) stress levels. The group with the highest stress level included 11 children (26.2%) with a mean score of  $142.7 \pm 19.4$  points, indicating the presence of a subgroup with pronounced distress. A statistically significant association was established between sex and stress level: girls had higher scores than boys ( $p = 0.041$ ), and the binary logistic model confirmed a protective effect of male sex against a high level of stress (OR = 0.05; 95% CI: 0.01–0.89). Residence in radioactively contaminated territories was not associated with significant differences in non-parametric tests; however, the regression model revealed a tendency towards an increased risk of high stress in this group (OR = 21.34; 95% CI: 0.84–539.34;  $p = 0.063$ ), which may reflect a background effect of chronic socioecological burden. Genetic analysis did not show significant between-group differences by the  $\chi^2$  test; however, both binary and ordinal logistic regression demonstrated a consistent tendency towards a protective role of the Ala allele of rs4880: carriers of the Val/Ala and Ala/Ala genotypes had a lower probability of developing a high level of stress compared with the reference Val/Val group. Taken together, these findings support consideration of quartile stratification of the PSM-25 as an adaptive tool for the internal clinical typology of stress in the paediatric population in the absence of validated norms, and the *SOD2* polymorphism as a promising genetic modifier of individual stress reactivity.

**Conclusions.** In the remote post-Chornobyl period, psychological stress in children from radioactively contaminated territories should be regarded as the result of the combined influence of war-related and socioecological factors, while quartile stratification of the PSM-25 may serve as a practical tool for identifying groups of increased vulnerability; pilot data on the protective role of the Ala allele of *SOD2* justify further study of molecular genetic markers within the system of post-Chornobyl psychoemotional monitoring of children.

## ВРОДЖЕНІ ВАДИ РОЗВИТКУ (2000–2019) ТА ЧОРНОБИЛЬСЬКА КАТАСТРОФА

Вертелецький В., Євтушок Л. та Програма OMNI-мережі

Рівненський обласний клінічний лікувально-діагностичний центр, Рівне, Україна

## CHORNOBYL-RELATED DEVELOPMENTAL ANOMALIES (2000–2019)

Wertelecki W., Yevtushok L. and OMNI-Net Program

Rivne Provincial Medical Diagnostic Center, Rivne, Ukraine

**Актуальність.** Результати 20-річного популяційного нагляду за частотою вроджених вад розвитку (ВВР) та моніторингу пренатального впливу іонізуючого опромінення у Рівненській області продемонстрували ймовірний причинно-наслідковий зв'язок.

**Мета.** Оцінити тератогенний ризик впливу інкорпорованих радіонуклідів для населення забруднених внаслідок Чорнобильської катастрофи районів Рівненської області.

**Методи.** Вимірювання інкорпорованого Cs-137 серед вагітних жінок та популяційний моніторинг ВВР здійснювались за міжнародними стандартами, в тому числі, Європейської мережі популяційних реєстрів ВВР (EUROCAT). Будучи членами Спільної ініціативи з питань розладів фетального алкогольного спектру (CIFASD) Національного інституту зловживання алкоголем та алкоголізму (NAAA), при моніторингу тератогенезу алкоголем було дотримано тих самих стандартів.

**Результати.** Аналіз даних підтверджує і поглиблює отримані раніше результати досліджень, які висвітлені у понад 50 наукових статтях, опублікованих в національних і міжнародних журналах. У Рівненській області внутрішньоутробний вплив інкорпорованих радіонуклідів статистично значуще вищий в поліських районах, ніж за межами Полісся. Найбільш частими порушеннями розвитку були ВВР центральної нервової системи та ранніх стадій розвитку шлунково-кишкового тракту. Зниження із часом рівнів інкорпорованих радіонуклідів серед вагітних відбувалося одночасно зі зменшенням частоти ВВР, що спостерігалось лише в поліських районах. Причому зниження цих показників впродовж 2010–2019 років узгоджується з 30-річним періодом напіврозпаду радіонуклідів Cs-137 та Sr-90, що потрапили внаслідок Чорнобильської аварії. Проте відсоток вагітних жінок з рівнями інкорпорованого Cs-137, що перевищують 100 Бк/кг, є значним і становить тератогенний, му-

**Relevance.** An ongoing surveillance since 2000 in Rivne province of *in-utero* exposures to ionizing radiation and a population-based surveillance of prevalence of developmental anomalies demonstrated a likely cause-effect association. This observation calls for further investigations, public health policies, and implementations to reduce *in-utero* exposures, prevalence, and impact of developmental anomalies in Ukraine.

**Goals.** Determine whether Chornobyl radionuclides had and continue to represent teratogenic risk to exposed populations.

**Methods.** Measurement of whole-body counts of Cs-137 incorporated by pregnant women and population-based surveillance of developmental anomalies relying on international methods implemented as a member of the consortia belonging to the European network of population-based registries for the epidemiological surveillance of congenital anomalies (EUROCAT). As members of the Collaborative Initiative on Fetal Alcohol Spectrum Disorders (CIFASD) of the National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism (NAAA), the monitoring of alcohol teratogenesis adhered to the same standards.

**Results.** The reported results confirm and expand those of 50 scientific reports published by international journals. In the Polissia region of Rivne, *in-utero* exposures to ionizing radiation from cell-bound radionuclides are statistically significantly higher than in not Polissia. Prevalent developmental disruptions were those the central nervous system and early stages of development of the gastro-enteric tube. A temporal decrement of the prevalence of high *in-utero* exposures was concurrent with a decrement of prevalence of developmental disruptions observed only in Polissia. The decrement evident during the 2010–2019 decade, is concordant with the 30-year half-life of Chornobyl-released Cs-137 and Sr-90 radionuclides. Nonetheless, the percent-

тагенний та онкогенний ризик. Причому при вимірюванні накопичення в тілі Cs-137 не враховувався Sr-90 та інші інкорпоровані радіонукліди. Отримані результати також звертають увагу на необхідність оцінки можливого впливу джерел іонізуючого випромінювання, пов'язаних з атомними електростанціями.

**Висновки.** Характер впливу іонізуючого опромінення в поліських районах вказував на ймовірний зв'язок з ВВР, тоді як вплив алкоголю його не продемонстрував. Тератогенні дизрупції, спричинені іонізуючою радіацією, були найбільш вираженими під час розвитку центральної нервової системи (краніоракхішизис, розщелина хребта – spina bifida, мікрофтальмія). Зареєстрована популяційна частота spina bifida є найвищою в Європі. Наскільки ці спостереження відображають синергійний тератогенний вплив іонізуючої радіації та алкоголю ще належить підтвердити. Іонізуюча радіація впливає на розвиток всіх систем організму. Досліджувалися 15 аномалій розвитку, діагностовані до досягнення дитиною однорічного віку. Подальші дослідження ВВР та постійного впливу іонізуючої радіації під час внутрішньоутробного розвитку дітей у Рівненському Поліссі та поблизу атомних електростанцій є необхідними. Також рекомендовані заходи із запобігання споживання забруднених радіонуклідами продуктів харчування і води вагітними жінками та дітьми. Важливим є доступ до превентивної та ранньої медичної допомоги, а також стратегій первинної профілактики ВВР і запобігання рекурентним випадкам ВВР. Крім того, наявні частоти дефектів нервової трубки, які є найвищими в Європі, можна значно знизити шляхом впровадження ефективної програми збагачення борошна фолієвою кислотою, яка, до певної міри, не потребує додаткового законодавства, хоча законодавчі ініціативи були подані, але їх розгляд було відкладено.

age of pregnant women with incorporated levels of Cs-137 exceeding 100 Bq/kg may represent teratogenic, mutagenic, and cancerogenic risks. The Cs-137 recordings do not account for *in-utero* exposures to Sr-90 of other radionuclides incorporated by pregnant women. Preliminary analyses also indicate the possibility of additional sources of ionizing radiation *in-utero* exposures related to local power plants to be further investigated.

**Conclusions.** Exposures to ionizing radiation in Polissia indicated a likely association with developmental anomalies and those with alcohol did not. Teratogenic disruptions of central nervous system (craniorachischisis, spina bifida, microphthalmia) were most evident. The population-based prevalence rates of spina bifida were the highest in Europe. To what extent the observations represent synergistic-ionizing radiation and alcohol teratogenic impacts remain to be investigated. Radiogenic disruptions impact all developing systems. Those investigated were limited to 15 developmental anomalies ascertained up to the age of one year. Degrees of microcephaly vary and become more evident with child growth. Further investigations of child development and microcephaly are indicated. Likewise, ongoing exposures of gestations to ionizing radiation in Rivne Polissia and in proximities to nuclear power plants are also indicated. Furthermore, strengthening of prevention of pregnant women and children consumption of contaminated nutrients, access to anticipatory and early health care, and prevention of occurrence and recurrence policies are indicated. The ongoing prevalence rates of Neural Tube Defects, the highest in Europe, can be significantly reduced by implementation of effective folic acid fortification programs and to some degree can be partially achieved without legislative support. Legislative initiatives were submitted and their implementation was delayed.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОВГОСТРОКОВОГО МОНІТОРИНГУ ЗАХВОРЮВАНOSTI НА ЗЛОЯКІСНІ НОВОУТВОРЕННЯ В ОСНОВНИХ ГРУПАХ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ, ЯКЕ ПОСТРАЖДАЛО ВНАСЛІДОК ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Гудзенко Н.А.<sup>1</sup>, Присяжнюк А.Є.<sup>1</sup>, Фузік М.М.<sup>1</sup>, Сумкіна О.В.<sup>2</sup>, Бабкіна Н.Г.<sup>1</sup>, Хухрянська О.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Ілленка, 53, м. Київ, 04050, Україна

<sup>2</sup>Державне некомерційне підприємство «Національний інститут раку», вул. Юлії Здановської, 33/43, м. Київ, 03022, Україна

## RESULTS OF LONG-TERM MONITORING OF CANCER INCIDENCE IN THE MAIN POPULATION GROUPS OF UKRAINE AFFECTED BY THE CHORNOBYL DISASTER

Gudzenko N.A.<sup>1</sup>, Prisyazhnyuk A.Ye.<sup>1</sup>, Fuzik M.M.<sup>1</sup>, Soumkina O.V.<sup>2</sup>, Babkina N.G.<sup>1</sup>, Khukhrianska O.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yuriia Illienka Str., Kyiv 04050, Ukraine

<sup>2</sup>Non-profit Institution «National Cancer Institute», 33/43 Zdanovska Julia Str., Kyiv 03022, Ukraine

Серед віддалених ефектів опромінення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС найбільші негативні очікування були пов'язані з можливим надлишком злоякісних новоутворень (ЗН): лейкемій, раку щитоподібної залози (РЩЗ) та інших солідних пухлин, про який зокрема свідчив попередній досвід спостереження за опроміненими популяціями.

**Метою** роботи було узагальнити результати дескриптивних і аналітичних епідеміологічних досліджень, проведених після катастрофи в ННЦРМГО НАМН України, щодо моніторингу захворюваності на ЗН в критичних групах населення України.

**Методи.** Дескриптивні та екологічні дослідження онкологічних ефектів у рамках національних програм проведено в основних групах населення, що постраждало внаслідок Чорнобильської аварії: мешканців найбільш забруднених радіонуклідами територій України (РЗТ) – 162 тис. осіб у 2023 році; учасників ліквідації наслідків аварії 1986–1987 рр. участі (УЛНА) – 73,3 тис. осіб у 2023 р.; евакуйованих із зони відчуження – 65,3 тис. осіб.

**Результати.** Військові події суттєво вплинули на величину досліджуваних когорт, в тому числі у зв'язку із інтенсивними міграційними процесами.

Among the long-term effects of radiation exposure resulting from the Chornobyl disaster, the greatest concerns were associated with a possible excess of malignant neoplasms: leukemias, thyroid cancer, and other solid tumors, as evidenced by previous experience in observing irradiated populations.

The **aim** of this study was to summarize the results of descriptive and analytical epidemiological studies conducted after the disaster at the National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, concerning the monitoring of cancer incidence in critical population groups of Ukraine.

**Methods.** Descriptive and ecological studies of oncological effects within the framework of national programs were carried out in the main population groups affected by the Chornobyl disaster: residents of the most radionuclide-contaminated territories of Ukraine (RCT) – 162 thousand persons in 2023; cleanup workers involved in the liquidation of the consequences of the accident in 1986–1987 (liquidators) – 73.3 thousand persons in 2023; and evacuees from the exclusion zone – 65.3 thousand persons.

**Results.** Military events have significantly affected the size of the studied cohorts, including due to intensive migration processes. The number of residents in the

ми. Чисельність когорти мешканців РЗТ зменшилась на 11,2 %, УЛНА на 41,1 %, евакуйованих на 23,3 %. Захворюваність на усі форми ЗН статистично достовірно перевищувала середні показники в Україні тільки в групі УЛНА 1986–1987 рр. обох статей. За весь період спостереження (1994–2023 ррр) вона склала – SIR=106,7 (95 % ДІ: 105,0–108,4). Найбільша реалізація РЩЗ відмічена в УЛНА SIR = 452,8 % (95 % ДІ: 411,6–493,9). Показники в евакуйованих були нижчими – SIR = 383,0 % (95 % ДІ: 344,9–421,8). Найнижчий рівень захворюваності мав місце серед мешканців РЗТ – SIR = 130,0 % (95 % ДІ: 119,4–140,6). В спільному з Національним інститутом раку США епідеміологічному дослідженні за дизайном випадок-контроль визначено дозозалежний надлишковий, ризик виникнення РЩЗ в УЛНА (ERR/Gy=0,40 (95 % ДІ: -0,05–1,48,  $p = 0,12$ ). В іншому спільному аналітичному дослідженні встановлено значення надлишкового відносного ризику виникнення лейкемії в УЛНА, який за 15 років після опромінення склав 3,44/Gy (95 % ДІ: 0,47–9,78,  $p < 0,01$ ), а за 20 років – 2,38/Gy (95 % ДІ: 0,49–5,87,  $p = 0,004$ ). Залежність «доза-ефект» була подібною як для хронічної лімфоцитарної лейкемії (ХЛЛ), так і для випадків лейкемії, об'єднаних в групу «не-ХЛЛ» (ERR/Gy = 2,21; 95 % ДІ: 0,05–7,61,  $p = 0,039$ ). Показники захворюваності на рак молочної залози (РМЗ) достовірно перевищували національні рівні тільки у жінок-УЛНА. В 1994–2023 рр. величина SIR склала 152,7 % (95 % ДІ: 138,1–167,4). У мешканок РЗТ захворюваність на РМЗ впродовж 2011–2023 рр. характеризувалась високими темпами зростання і досягла національного рівня. В той же час до аварії рівень захворюваності на РМЗ на цих територіях був одним з найнижчих в Україні.

**Висновки.** Дослідження в групах осіб, які постраждали внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, допоможуть, уточнити ефекти впливу тривалого або фракційного опромінення у малих чи високих дозах на величини ризику лейкемії та інших ЗН реалізація яких може здійснитися повною мірою в наступні роки.

RCT cohort decreased by 11.2 %, the number of liquidators by 41.1 %, and the number of evacuees by 23.3 %. The incidence of all forms of cancer was statistically significant higher than the national average in Ukraine only in the group of cleanup workers who participated in the liquidation of the consequences of the Chornobyl disaster in 1986–1987, in both sexes. Over the entire observation period (1994–2023), it amounted to SIR = 106.7 (95% CI: 105.0–108.4). The highest incidence of thyroid cancer was observed among the cleanup workers, SIR = 452.8% (95 % CI: 411.6–493.9). The rates among evacuees were lower – SIR = 383.0 % (95 % CI: 344.9–421.8). The lowest incidence was recorded among residents of radionuclide-contaminated territories – SIR = 130.0 % (95 % CI: 119.4–140.6). In a joint epidemiological case-control study conducted with the National Cancer Institute of the United States, a dose-dependent excess risk of thyroid cancer among the cleanup workers was identified (ERR/Gy = 0.40; 95 % CI: -0.05–1.48;  $p = 0.12$ ). In another joint analytical study, the value of the excess relative risk of leukemia among cleanup workers involved in the liquidation of the consequences of the Chornobyl disaster was estimated. Fifteen years after exposure it was 3.44/Gy (95 % CI: 0.47–9.78,  $p < 0.01$ ), and after 20 years – 2.38/Gy (95 % CI: 0.49–5.87,  $p = 0.004$ ). The dose-response relationship was similar both for Chronic lymphocytic leukemia and for leukemia cases combined into the group of «non-CLL». The incidence rates of breast cancer significantly exceeded national levels only among female cleanup workers. In 1994–2023, the SIR value was 152.7 % (95 % CI: 138.1–167.4). Among women residing in radionuclide-contaminated territories, the incidence of breast cancer during 2011–2023 was characterized by high growth rates and reached the national level. At the same time, prior to the accident, the incidence of breast cancer in these territories had been among the lowest in Ukraine.

**Conclusions.** Studies in groups of individuals affected by the Chornobyl disaster will help to clarify the effects of prolonged or fractionated radiation exposure at different doses on the risk estimates for leukemia and other malignant neoplasms, the full manifestation of which may occur in the coming years.

## ПСИХОБІХЕВІОРАЛЬНІ ПРОФІЛІ РЕАГУВАННЯ НА ВОЄННІ СТРЕСОРИ ТА РІВЕНЬ ІНКОРПОРАЦІЇ ЦЕЗІЮ-137 У ДІТЕЙ, ЯКІ ПОСТІЙНО ПРОЖИВАЮТЬ НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Гуртавцова М. В., Вдовенко В. Ю.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна*

## PSYCHOBEHAVIOURAL RESPONSE PROFILES TO WAR-RELATED STRESSORS AND LEVEL OF CAESIUM-137 INCORPORATION IN CHILDREN PERMANENTLY RESIDING IN RADIOACTIVELY CONTAMINATED TERRITORIES

Hurtavtsova M. V., Vdovenko V. Yu.

*State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Haematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine*

**Актуальність.** Повітряні тривоги в умовах війни є повторюваним гострим стресором і дають змогу описати типові стилі реагування дітей на загрозу. Водночас для дитячого населення України зберігається актуальність проблеми інкорпорації радіоцезію, що значною мірою залежить від поведінкових і побутових практик.

**Мета** дослідження. Виокремити психобіхевіоральні типи реагування дітей на стресові сигнали воєнного походження та оцінити їхній зв'язок із рівнем інкорпорації цезію-137.

**Методи.** Опитано 231 дитину віком 10–17 років за анкетною щодо реагування на повітряні тривоги, яка охоплювала сприйняття сигналів, моніторинг інформації, поведінкові реакції та батьківський контроль. Типи реагування виокремлювали методом кластерного аналізу за усередненими балами чотирьох блоків анкети. Статистичні порівняння виконували за критеріями  $\chi^2$  та Краскела–Волліса, попарні – за критерієм Манна–Вітні з поправкою Холма. Рівень інкорпорації  $^{137}\text{Cs}$  визначали у 152 дітей – мешканців радіоактивно забруднених територій – у лабораторії лічильників випромінювання людини відділу дозиметрії; результати виражали у беккерелях (Бк). Для оцінки незалежного зв'язку типу реагування з рівнем  $^{137}\text{Cs}$  використовували лінійну регресійну модель із контролем віку.

**Результати.** Анкетування показало, що сигнали повітряної тривоги по-різному сприймаються дітьми та супроводжуються неоднорідними по-

**Background.** Air-raid alarms during wartime represent a recurrent acute stressor and provide an opportunity to characterise typical patterns of children's responses to threat. At the same time, the problem of radiocaesium incorporation remains relevant for the paediatric population of Ukraine and largely depends on behavioural and everyday practices.

**Objective.** To identify psychobehavioural types of children's responses to war-related stress signals and to assess their association with the level of caesium-137 incorporation.

**Methods.** A total of 231 children aged 10–17 years were surveyed using a questionnaire on responses to air-raid alarms, covering perception of warning signals, information monitoring, behavioural reactions and parental control. Response types were identified using cluster analysis based on the mean scores of four questionnaire domains. Statistical comparisons were performed using the  $\chi^2$  and Kruskal–Wallis tests; pairwise comparisons were conducted using the Mann–Whitney test with Holm correction. The level of  $^{137}\text{Cs}$  incorporation was measured in 152 children residing in radioactively contaminated territories at the Whole-Body Counter Laboratory of the Dosimetry Department; results were expressed in becquerels (Bq). To evaluate the independent association between response type and  $^{137}\text{Cs}$  level, a linear regression model with age adjustment was applied.

**Results.** The survey showed that air-raid warning signals are perceived differently by children and are accompanied by heterogeneous behavioural responses.

ведінковими реакціями. Так, звуковий сигнал мобільного телефону вдень сприймали 74,9 % дітей, уночі – 42,9 %; сирени з гучномовців – 64,1 % та 35,9 % відповідно. Самостійний моніторинг ситуації за допомогою гаджетів здійснювали 54,1 % дітей удень і 26,8 % уночі, а до укриття переходили 52,4 % і 44,2 % відповідно. Це свідчить, що частина дітей демонструє високу чутливість до сигналів та активне включення в моніторинг і захисну поведінку, тоді як інші реагують стримано, вибірково або дистанціюються від стресового подразника. Виявлені відмінності у сприйнятті сигналів і поведінковій відповіді стали підставою для подальшої типологізації реакцій. Кластерний аналіз поведінкових характеристик дозволив виділити три типи реагування на стресові сигнали воєнного походження. Це стабільні патерни, що відображають інтеграцію темпераменту та копінг-стратегій: «Гіперреагуючі» (44,2 %) – висока сенситивність до загроз, швидка мобілізація, висока емоційна реактивність і виражена емоційна напруженість; «Цифрові сторожі» (20,8 %) – активний моніторинг, помірна емоційність, раціональне реагування; «Ігноруючі» (35,1 %) – низька реактивність, емоційне дистанціювання. Такі типи реагування відображають загальні особливості поведінкової адаптації до стресових тригерів і індивідуальні шляхи пристосування до хронічного стресу. Встановлена типологія дала змогу оцінити, чи супроводжується ця поведінкова неоднорідність відмінностями у рівні інкорпорації  $^{137}\text{Cs}$ . Рівень інкорпорації  $^{137}\text{Cs}$  суттєво відрізнявся між типами: «Ігноруючі» – 1460 Бк (IQR: 925–2398), «Цифрові сторожі» – 1332 Бк (IQR: 685–2126), «Гіперреагуючі» – 703 Бк (IQR: 358–1293);  $H = 22,24$ ;  $p = 1,48 \times 10^{-5}$ . У лінійній моделі «Гіперреагуючі» мали на 862 Бк нижчий рівень  $^{137}\text{Cs}$  порівняно з «Ігноруючими» ( $p < 0,001$ ), тоді як вік не пояснював виявлених відмінностей ( $p = 0,79$ ).

**Висновок.** Реакції дітей на стресові тригери групуються у три типи, що відрізняються за характером поведінкової відповіді та асоціюються з різним рівнем інкорпорації  $^{137}\text{Cs}$ . Активніші поведінкові моделі, пов'язані з моніторингом ситуації та захисною поведінкою, можуть розглядатися як чинник, що потенційно сприяє зниженню радіаційних ризиків.

Thus, the sound signal from a mobile phone was perceived by 74.9% of children during the day and by 42.9% at night, while sirens from loudspeakers were perceived by 64.1% and 35.9%, respectively. Independent monitoring of the situation using digital devices was reported by 54.1% of children during the day and 26.8% at night, whereas 52.4% and 44.2%, respectively, moved to shelters. These findings indicate that some children demonstrate high sensitivity to warning signals and active engagement in monitoring and protective behaviour, whereas others respond more restrainedly, selectively, or distance themselves from the stressor. The observed differences in signal perception and behavioural responses provided the basis for further typologisation of reactions. Cluster analysis of behavioural characteristics identified three types of responses to war-related stress signals. These represent stable patterns reflecting the integration of temperament and coping strategies: «Hyper-reactive» (44.2%) – high sensitivity to threats, rapid mobilisation, high emotional reactivity and pronounced emotional tension; «Digital sentinels» (20.8%) – active monitoring, moderate emotionality and rational response; and «Ignoring» (35.1%) – low reactivity and emotional distancing. These response types reflect general patterns of behavioural adaptation to stress triggers and individual pathways of adjustment to chronic stress. The identified typology allowed assessment of whether this behavioural heterogeneity was associated with differences in the level of  $^{137}\text{Cs}$  incorporation. The level of  $^{137}\text{Cs}$  incorporation differed significantly between the types: «Ignoring» – 1460 Bq (IQR: 925–2398), «Digital sentinels» – 1332 Bq (IQR: 685–2126), «Hyper-reactive» – 703 Bq (IQR: 358–1293);  $H = 22.24$ ;  $p = 1.48 \times 10^{-5}$ . In the linear model, «Hyper-reactive» children had a 862 Bq lower  $^{137}\text{Cs}$  level compared with the «Ignoring» group ( $p < 0.001$ ), while age did not explain the observed differences ( $p = 0.79$ ).

**Conclusion.** Children's responses to stress triggers cluster into three types differing in behavioural patterns and associated with different levels of  $^{137}\text{Cs}$  incorporation. More active behavioural models, involving situation monitoring and protective actions, may be considered a factor potentially contributing to reduced radiation risk.

## ВПЛИВ ОПРОМІНЕННЯ НА РІВЕНЬ МЕТИЛУВАННЯ ДНК В ЛІМФОЦИТАХ ЛЮДИНИ: ОЦІНКА ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТИЛЧУТЛИВОГО «КОМЕТНОГО» ЕЛЕКТРОФОРЕЗУ

Демченко О.М.<sup>1</sup>, Неумержицька Л.В.<sup>1</sup>, Курінний Д.А.<sup>1</sup>, Чопей М.І.<sup>2</sup>, Рушковський С.Р.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Іллєнка, 53, м. Київ, 04050, Україна.

<sup>2</sup>Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, 01601, Україна

## IMPACT OF IRRADIATION ON DNA METHYLATION LEVEL IN HUMAN LYMPHOCYTES: ASSESSMENT BY METHYLATION-SENSITIVE COMET ASSAY

Demchenko O.M.<sup>1</sup>, Neumerzhitska L.V.<sup>1</sup>, Kurinnyi D.A.<sup>1</sup>, Chohey M.I.<sup>2</sup>, 1,2Rushkovsky S.R.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>State Institution «National Scientific Centre for Radiation Medicine, Haematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yuri Illenko Street, Kyiv, 04050, Ukraine

<sup>2</sup>Educational and Research Centre «Institute of Biology and Medicine», Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13 Volodymyrska Street, Kyiv, 01601, Ukraine

**Актуальність.** Радіаційно-індуковані епігенетичні зміни впливають на нормальну регуляцію експресії генів, диференціацію клітин та стабільність геному, що грає суттєву роль у реалізації довгострокових генетичних ефектів іонізуючого випромінювання (ІВ), зокрема розвитку онкологічних захворювань у віддалений термін після опромінення. Дослідження змін профілів метилування ДНК у відповідь на дію ІВ є важливими як для поглиблення розуміння механізмів дії радіації, так й для оцінки ризику віддалених наслідків ІВ.

**Мета** дослідження: за допомогою метилчутливого «кометного» електрофорезу оцінити зміни рівня глобального метилування ДНК лімфоцитів периферичної крові (ЛПК) людини за умов дії ІВ *in vitro*.

**Методи.** Культивування ЛПК умовно здорових волонтерів проводили за стандартним мікрометодом 48 годин. Частина зразків була опромінена  $\gamma$ -променями (доза 1,0 Гр, потужність 2,34 Гр/хв). Оцінка стану глобального метилування ДНК в ЛПК проводили з використанням модифікованого методу «кометного» електрофорезу (Comet assay) в нейтральних умовах з використанням метилчутливих ферментів рестрикції *MspI* та *HpaII* (ізошизомери, що впізнають сайт рестрикції CCGG). Виділення лімфоцитів, приготування слайдів, лізис клітин та «кометний» електрофорез здійснювали за загальноприйнятою методикою. Для кількісної оцінки міграції ДНК в агарозний гель використовували показники % ДНК у хвостовій частині «комети» та Tail Moment (ТМ).

**Background.** Radiation-induced epigenetic alterations affect the normal regulation of gene expression, cellular differentiation, and genomic stability. These changes play a critical role in the manifestation of long-term genetic effects of ionizing radiation (IR), particularly the development of malignancies in the years following exposure. Investigating shifts in DNA methylation profiles in response to IR is essential for both clarifying the mechanisms of radiation action and improving risk assessment for late-term consequences.

**Objective.** To evaluate changes in global DNA methylation level in human peripheral blood lymphocytes (PBLs) following *in vitro* IR exposure using a methylation-sensitive comet assay.

**Methods.** PBLs from healthy volunteers were cultured for 48 hours using a standard micromethod. Samples were irradiated with  $\gamma$ -rays at a dose of 1.0 Gy (dose rate: 2.34 Gy/min). Global DNA methylation status was assessed via a modified comet assay under neutral conditions employing the methylation-sensitive restriction endonucleases *MspI* and *HpaII* (isoschizomers targeting the CCGG site). Lymphocyte isolation, slide preparation, cell lysis, and electrophoresis were conducted according to standard protocols. DNA migration into the agarose gel was quantified using the percentage of DNA in the comet tail (% DNA) and Tail Moment (TM).

**Результати.** Відносний рівень виходу ДНК після електрофорезу лізованих ЛПК, які були оброблених ферментом рестрикції *MspI*, був статистично значуще вищий у опроміненних лімфоцитів порівняно з інтактними (% ДНК — 79,63±1,16% порівняно з 61,67±2,02%,  $p < 0,05$ ; ТМ — 59,72±2,16 мкм порівняно з 52,57±2,88 мкм,  $p < 0,05$ ). Це свідчить про збільшення сайтів рестрикції *MspI* в результаті їх глобального гіпометилування. При використанні рестриктази *HpaII* навпаки спостерігали вірогідне зменшення показника ТМ після електрофорезу опроміненних клітин порівняно з неопроміненними: з 47,06±2,30 мкм до 37,77±1,22 мкм,  $p < 0,05$ , а % ДНК у хвостовій частині «комети» суттєво не змінювався: 64,15±1,56% для неопроміненних лімфоцитів порівняно з 62,78±1,03%,  $p > 0,05$ . Це вказує на збільшення рівня метилування чутливих до *HpaII* сайтів. Протилежні результати стосовно зміни глобального рівня метилування, отримані при використанні різних рестриктаз, можна пояснити різною чутливістю рестриктаз до патернів метилування послідовності CCGG: *MspI* є чутливою до метилування цитозину у межах динуклеотиду CpG (CpG-метилування), а *HpaII* — до метилування цитозину поза CpG контексту (не-CpG метилування). Співвідношення рівнів CpG та не-CpG метилування в неопроміненних лімфоцитах склав 0,94, а в опроміненних ЛПК збільшився до 1,27 ( $p < 0,05$ ).

**Висновки.** Іонізуюче випромінювання у дозі 1 Гр призводить до зміни глобального метилування ДНК в опроміненних лімфоцитах периферичної крові людини внаслідок збільшення CpG метилування.

**Results.** Following electrophoresis of lysed PBLs treated with *MspI*, DNA migration was significantly higher in irradiated lymphocytes compared to controls (% DNA: 79.63±1.16% compared with 61.67±2.02%,  $p < 0.05$ ; TM: 59.72±2.16  $\mu\text{m}$  vs. 52.57±2.88  $\mu\text{m}$ ,  $p < 0.05$ ). This indicates an increase in available *MspI* restriction sites due to global hypomethylation. Conversely, treatment with *HpaII* resulted in a significant decrease in TM for irradiated cells compared to non-irradiated ones (from 47.06±2.30  $\mu\text{m}$  to 37.77±1.22  $\mu\text{m}$ ,  $p < 0.05$ ), while the % DNA in the comet tails showed no significant change (64.15 ± 1.56% for non-irradiated lymphocytes compared with 62.78 ± 1.03%,  $p > 0.05$ ). This indicates an increase in methylation level at *HpaII*-sensitive sites. The divergent results regarding global methylation changes can be attributed to the differing sensitivities of the endonucleases to CCGG sequence methylation patterns: *MspI* is sensitive to cytosine methylation within the CpG dinucleotide (CpG methylation), whereas *HpaII* is sensitive to cytosine methylation outside the CpG context (non-CpG methylation). The ratio of CpG to non-CpG methylation levels was 0.94 in control lymphocytes and increased to 1.27 in irradiated PBLs ( $p < 0.05$ ).

**Conclusions.** Ionizing radiation at a dose of 1 Gy induces shifts in global DNA methylation in human peripheral blood lymphocytes due to an increase in CpG methylation.

## ЩЕ РАЗ ПРО АВАРІЮ

Дрозд І. П., Павловський В. В.

Інститут ядерних досліджень національної академії наук України, Київ, Україна

## ONCE AGAIN ABOUT THE ACCIDENT

Drozd I. P., Pavlovskiy V. V.

Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** У день 40-річчя аварії з'явилась можливість переосмислити її причини.

**Мета** – проаналізувати новітні дані.

**Методи** – аналітичні.

**Результати.** 26 квітня 1986 року о 1:23:50 на четвертому енергоблоці Чорнобильської АЕС сталася найбільша у світі ядерна техногенна катастрофа з повним руйнуванням ядерного реактора внаслідок двох надпотужних теплових вибухів і викидом у довкілля усіх напрацьованих за більш ніж дворічну кампанію продуктів поділу, а також непрореагованого ядерного палива,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  та деяких інших трансуранив. Внаслідок ядерної реакції поділу  $^{235}\text{U}$  тепловими нейтронами, яка вийшла з-під контролю, відбулося повне розплавлення активної зони і горіння графітових блоків реактора, що викликало велику пожежу у деяких приміщеннях 4-го енергоблоку та на залишках покрівлі, яка також була зруйнована вибухами. Неконтрольовані ядерні і хімічні процеси з горінням графіту тривали протягом багатьох діб і припинились наприкінці першої декади травня після розтікання розплавленої маси палива по прилеглих приміщеннях, коридорах і у підреакторному просторі у вигляді потоків лави, що після охолодження отримало назву «нога слона». В результаті цієї ядерної катастрофи величезна кількість радіоактивних речовин потрапила в атмосферу на висоту до декількох кілометрів і через процеси повітряного переносу була осаджена на земну поверхню, утворивши радіоактивні сліди і забруднивши радіоактивними речовинами безпрецедентно великі території. Ця катастрофа є найбільшою техногенною ядерною аварією у світі. Віднесена до 7-го рівня за шкалою INES (Міжнародна шкала ядерних подій) лише тому, що у цій шкалі відсутнє поняття катастрофи. У сучасному баченні причини аварії такі:

➤ реактор був неправильно спроектований і небезпечний;

**Relevance.** On the 40<sup>th</sup> anniversary of the accident, an opportunity has arisen to reconsider its causes.

**Objective** – to analyze the latest facts.

**Methods** – analytical.

**Results.** On April 26, 1986, at 1:23:50 a.m., the world's largest nuclear technological disaster occurred at the Reactor № 4 of the Chornobyl Nuclear Power Plant. The accident involved the complete destruction of the nuclear reactor as a result of two extremely powerful thermal explosions and the release into the environment of all fission products accumulated during more than a two-year operating campaign, as well as unreacted nuclear fuel,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ , and several other transuranic elements. As a result of the nuclear fission reaction of  $^{235}\text{U}$  by thermal neutrons, which went out of control, the reactor core completely melted and the graphite blocks of the reactor ignited. This caused a large fire in some of the premises of Reactor № 4 and on the remnants of the roof, which had also been destroyed by the explosions. Uncontrolled nuclear and chemical processes involving graphite combustion continued for many days and ceased only at the end of the first decade of May, after the molten fuel mass had spread through adjacent rooms, corridors, and into the under-reactor space in the form of lava-like flows. After cooling, this formation became known as «the Elephant's Foot». As a result of this nuclear catastrophe, enormous quantities of radioactive substances were released into the atmosphere to heights of several kilometers and, through atmospheric transport processes, were deposited on the Earth's surface, forming radioactive fallout traces and contaminating unprecedentedly large territories. This catastrophe remains the largest man-made nuclear accident in the world. It was classified as Level 7 on the International Nuclear Event Scale only because the scale itself does not contain a separate category for a catastrophe. In the modern view, the causes of the accident are considered to be the following:

➤ the reactor was improperly designed and unsafe;  
➤ the personnel were not informed about its flaws;

➤ персонал не був поінформований про його недоліки;

➤ персонал допустив низку помилок і навмисно чи ненавмисно порушував регламент.

Проаналізувавши всі офіційні та неофіційні версії аварії, ми дійшли таких **висновків**. На сьогодні в жодній країні світу, включаючи найбільш розвинені, немає абсолютно досконалого і безпечного ядерного реактора. Та його і не може бути, виходячи з того, що такі реактори являють собою реалізацію новітніх, часто піонерних розробок, що використовують порівняно нові, не до кінця досліджені та зрозумілі фізичні процеси. Тому легко звинувачувати конструкторів, інженерів пост-фактум у некомпетентності, помилках, недосконалості їхніх дітищ. Безумовно, недоліки слід постійно виявляти, і реактори (насамперед їх автоматичний захист) необхідно весь час удосконалювати. З цих причин слід чітко пам'ятати, що промисловий ядерний реактор – це не лабораторний макет, тому про жодні експерименти (без виключення) на таких об'єктах мови не може бути категорично. Регламенти управління реактором і дій персоналу у будь-яких теоретично можливих випадках мають бути ретельно розроблені і вписані у відповідних покрокових інструкціях. У цих регламентуючих документах слід категорично заборонити в ручному режимі відключати будь-які системи автоматичного захисту реактора (а краще – конструктивно зробити це неможливим). Ядерний енергетичний реактор є дуже інерційною системою, тому всі операції з ним, особливо запуск і зупинку, необхідно здійснювати без будь-яких відхилень від регламенту. Можна стверджувати, що за чіткого виконання вище перерахованих пунктів, навіть на такому недосконалomu реакторі як РВПК-1000, аварія не трапилась би. При цьому персоналу необхідно бездоганно дотримуватись принципів культури ядерної безпеки.

➤ the personnel made a number of mistakes and intentionally or unintentionally violated operational regulations.

Having analyzed all official and unofficial versions of the accident, we arrived at the following **conclusions**. Today, in no country in the world, including the most technologically advanced, does there exist an absolutely perfect and completely safe nuclear reactor. Such a reactor cannot exist, since these systems represent implementations of advanced, often pioneering, developments that rely on relatively new physical processes that are not yet fully studied or completely understood. Therefore, it is easy to accuse designers and engineers post factum of incompetence, errors, or imperfections in their creations. Nevertheless, flaws must continuously be identified, and reactors (especially their automatic protection systems) must be constantly improved. For these reasons, it must be clearly remembered that an industrial nuclear reactor is not a laboratory prototype; therefore, no experiments (without any exceptions) should ever be conducted at such facilities. Operating regulations for reactor control and personnel actions in any theoretically possible situation must be carefully developed and described in detailed step-by-step instructions. These regulatory documents should categorically prohibit the manual shutdown of any reactor automatic protection systems (or even better yet – make it structurally impossible). A nuclear power reactor is a highly inertial system; therefore, all operations involving it, especially start-up and shutdown, must be carried out strictly in accordance with the regulations, without any deviations. It can be argued that with strict compliance with the above statements, even on such an imperfect reactor as the RBMK-1000, the accident would not have occurred. At the same time, personnel must strictly adhere to the principles of nuclear safety culture.

## МАЛІ ДОЗИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ІНДИВІДУАЛЬНА РАДІОЧУТЛИВІСТЬ КЛІТИН: ДОВГОТРИВАЛІ НАСЛІДКИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Дьоміна Е.А., Михайленко В.М., Главін О.А., Маковецька Л.І., Думанський Ю.В., Прокопенко І.В.

*Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології імені Р.Є. Кавецького Національної академії наук України, Київ, Україна*

## LOW-DOSE IONIZING RADIATION AND INDIVIDUAL CELL RADIOSENSITIVITY: LONG-TERM CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE

Domina E.A., Mykhailenko V.M., Glavin O.A., Makovetska L.I., Dumansky Y.V., Prokopenko I.V.

*R.E. Kavetsky Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Однією з найбільш актуальних проблем сучасної радіобіології та радіаційної медицини залишається вивчення біологічної дії малих доз іонізуючого випромінювання. Хронічне опромінення малими дозами стало довготривалим екологічним фактором на територіях, забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на Чорнобильській атомній електростанції. Тривалий вплив підвищеного радіаційного фону може призводити до дестабілізації геному клітин та формування генетичної нестабільності, що розглядається як один із факторів розвитку стохастичних захворювань.

**Метою** роботи є аналіз біологічних наслідків Чорнобильської катастрофи у контексті хронічного впливу малих доз іонізуючого випромінювання та оцінка ролі індивідуальної радіочутливості клітин у формуванні віддалених радіогенних ефектів.

**Результати.** Чорнобильська аварія супроводжувалася масштабним викидом радіонуклідів у навколишнє середовище, що оцінюється приблизно у  $2 \times 10^{18}$  Бк, і призвела до радіоактивного забруднення територій різних держав. Значні контингенти населення, включаючи критичні групи та нащадків опромінених батьків, протягом десятиліть перебувають у умовах підвищеного радіаційного фону. Радіаційне навантаження формується як за рахунок зовнішнього гамма-випромінювання, так і внаслідок внутрішнього опромінення, зумовленого надходженням радіонуклідів інгаляційним шляхом та з харчовими продуктами. Особливістю раннього періоду після аварії був так званий «йодний удар», який спричинив значне зростання патології щитоподібної залози, передусім раку щитоподібної

One of the most important challenges of modern radiobiology and radiation medicine is the study of the biological effects of low doses of ionizing radiation. Chronic exposure to low doses has become a long-term environmental factor in territories contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl nuclear power plant accident. Prolonged exposure to elevated radiation background may lead to destabilization of the cellular genome and genomic instability, which is considered a contributing factor in the development of stochastic diseases.

The **aim** of this work was to analyze the biological consequences of the Chernobyl catastrophe in the context of chronic exposure to low doses of ionizing radiation and to evaluate the role of individual cellular radiosensitivity in the development of long-term radiation-induced effects.

**Results.** The Chernobyl accident was accompanied by a large-scale release of radionuclides into the environment estimated at approximately  $2 \times 10^{18}$  Bq, which resulted in radioactive contamination of territories in several countries. Large population groups, including critical groups and descendants of irradiated parents, have been living for decades under conditions of elevated radiation background. Radiation exposure is formed both by external gamma radiation and by internal irradiation caused by radionuclides entering the human body through inhalation and food intake. A distinctive feature of the early post-accident period was the so-called «iodine shock», which resulted in a significant increase in thyroid disorders, particularly thyroid

залози. У подальшому основним джерелом опромінення стали ізотопи цезію та стронцію, вплив яких зберігається протягом усього постчорнобильського періоду. Вплив трансураничних елементів може тривати протягом сотень років. Серед віддалених наслідків Чорнобильської катастрофи особливе занепокоєння викликає підвищення рівня онкологічної захворюваності серед опромінених контингентів порівняно зі спонтанним рівнем. Дослідження свідчать про зростання кількості осіб з підвищеною радіочутливістю клітин, зокрема лімфоцитів периферичної крові, що обґрунтовує необхідність подальшого вивчення механізмів індивідуальної радіочутливості та розробки профілактичних підходів до зниження радіогенних ризиків. Відомі українські науковці у галузі радіаційної медицини та радіобіології відзначають зростання кількості осіб з підвищеною індивідуальною радіочутливістю клітин, зокрема лімфоцитів периферичної крові. Це свідчить про необхідність розробки та впровадження підходів до первинної індивідуальної профілактики радіогенних захворювань, спрямованих на підвищення радіорезистентності геному людини.

Subsequently, the main sources of exposure became cesium and strontium isotopes, whose impact persists throughout the entire post-Chernobyl period. Exposure to transuranium elements may last for hundreds of years. Among the long-term consequences of the Chernobyl catastrophe, particular concern is the increased incidence of cancer among exposed populations compared with the spontaneous level. Research indicates a growing number of individuals with increased cellular radiosensitivity, particularly radiosensitivity of peripheral blood lymphocytes, which highlights the need for further investigation of individual radiosensitivity mechanisms and the development of preventive approaches aimed at reducing radiation-related risks. Ukrainian researchers in the field of radiation medicine and radiobiology report an increasing number of individuals with elevated cellular radiosensitivity, including peripheral blood lymphocytes. This highlights the need for the development and implementation of primary individual preventive strategies aimed at increasing the radioresistance of the human genome and reducing the risk of radiation-induced diseases.

## ЕВОЛЮЦІЯ РОЗВИТКУ ПОРУШЕНЬ В КРОВОТВОРНІЙ СИСТЕМІ ЗА 40 РОКІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Дягіль І.С., Бази́ка, Д.А., Чума́к А.А., Шоло́йко В.В., Марти́на З.В., Сива́к Л.А., Бала́н В.В., Сілаєв Ю.О., Кіреєва І.В., Абраменко І.В.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна*

## EVOLUTION OF THE DISORDERS DEVELOPMENT IN THE HEMATOPOIETIC SYSTEM IN 40 YEARS OF OBSERVATION AFTER THE CHORNOBYL DISASTER

Dyagil I.S., Bazyka, D.A., Chumak A.A., Sholoyko V.V., Martina Z.V., Syvak L.A., Balan V.V., Silaev Yu.O., Kireeva I.V., Abramenko I.V.

*State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Haematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine*

**Вступ.** Однією з найбільш чутливих тканин до іонізуючого опромінення є кровотворна тканина, її моніторинг впродовж 40 років після дії радіації продемонстрував еволюцію розвитку порушень гемопоезу від функціональних до органічних.

**Результати.** Перші 10 років спостереження (1986–1996 рр.) характеризувалися опромінення нетривалими кількісними та якісними змінами елементів периферичної крові, а також розвитком періодичних лейкопеній, тромбоцитопеній з досить швидким відновленням. В той же час, зростання кількості злоякісних захворювань системи крові не спостерігалось [1]. Програма АЙФІКА, ініційована ВООЗ 1998 року, вивчала вплив опромінення в учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС на найбільш постраждалих територіях довкола станції і продемонструвала підвищену частоту функціональних та реактивних змін [2]. У період з 2007 по 2016 роки було збільшення кількості онкогематологічних захворювань: МДС, хронічної лімфоїдної лейкемії (ХЛЛ) [3], множинної мієломи (ММ) [4]. У пацієнтів з ХЛЛ, які зазнали впливу іонізуючого опромінення в молодому віці, був більш агресивний перебіг захворювання, короткий латентний період та коротша загальна виживаність [3]. В рамках проекту (США-Україна), вперше в Україні була проведена міжнародна гематологічна експертиза за певним алгоритмом [5], що дозволило підвищити рівень ідентифікації достовірності випадку, пов'язаного з радіаційним фактором. Секвенування методом NGS гену BCR/ABL1 при хронічній мієлоїдній лейкемії (ХМЛ) виявило численні му-

**Introduction.** One of the most sensitive tissues to ionizing radiation is hematopoietic tissue, its monitoring for 40 years after radiation exposure demonstrated the evolution of hematopoietic disorders from functional to organic.

**Results.** The first 10 years of observation (1986–1996) were characterized by short-term quantitative and qualitative changes in peripheral blood elements, as well as the development of periodic leukopenia, thrombocytopenia with fairly rapid recovery. At the same time, an increase in the number of malignant diseases of the blood system was not observed [1]. The AIFICA program, initiated by WHO in 1998, studied the impact of radiation on participants in the liquidation of the Chernobyl accident consequences in the most affected areas around the station and demonstrated an increased frequency of functional and reactive changes [2]. In the period from 2007 to 2016, there was an increase in the number of oncohematological diseases: MDS, chronic lymphocytic leukemia (CLL) [3], multiple myeloma (MM) [4]. Patients with CLL who were exposed to ionizing radiation at a young age had a more aggressive course of the disease, a short latency period, and a shorter overall survival [3]. Within the framework of the project (USA-Ukraine), for the first time in Ukraine, an international hematological examination was conducted using a specific algorithm [5], which allowed to increase the level of identification of a case associated with a radiation factor. NGS sequencing of the BCR/ABL1 gene in chronic myeloid leukemia (CML) revealed multiple mutations in the studied

тації в досліджуваних генах: у 15 з 22 (68,2 %) пацієнтів та радіаційною складовою, у 9 осіб зареєстровано більше однієї мутації [6]. Визначався тренд до збільшення частоти мутацій у пацієнтів з більш високими дозами опромінення (ліквідаторів наслідків аварії на ЧАЕС).

**Висновки.** Дія іонізуючого опромінення на кровотворну тканину має як короткострокові, так і віддалені ефекти. Слід продовжувати відслідковувати вплив опромінення у більш віддалені періоди часу після аварії на ЧАЕС.

genes: in 15 out of 22 (68.2%) patients and the radiation component, in 9 people more than one mutation was registered [6]. A trend towards an increase in the frequency of mutations was identified in patients with higher doses of radiation (liquidators of the consequences of the Chernobyl accident).

**Conclusions.** The effects of ionizing radiation on hematopoietic tissue have both short-term and long-term effects. It is necessary to continue to monitor the radiation effects in more distant periods of time after the Chernobyl accident.

## МЕХАНІЗМИ РОЗВИТКУ ГОСТРИХ ЛІМФОБЛАСТНИХ ЛЕЙКЕМІЙ У ДІТЕЙ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АВАРІЇ

Жовнір В. А., Бази́ка Д. А., Бруслова К. М., Ляшенко Л. О., Галкіна С. Г., Кондрашова В. Г., Пушкарєва Т. І., Цветкова Н. М., Панченко Л. М., Ярошенко Ж. С., Зайцева А. Л., Гончар Л. О., Трихліб І. В., Іванова О. М., Черниш Т. О.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Ілленка, 53, м. Київ, 04050, Україна*

## MECHANISMS OF THE DEVELOPMENT OF ACUTE LYMPHOBLASTIC LEUKEMIA IN CHILDREN AFTER THE CHORNOBYL ACCIDENT

Zhovnir V. A., Bazyka D. A., Bruslova K. M., Lyashenko L. O., Galkina S. G., Kondrashova V. G., Pushkareva T. I., Tsvetkova N. M., Panchenko L. M., Yaroshenko Zh. S., Zaitseva A. L., Gonchar L. O., Trykhlіb I. V., Ivanova O. M., Chernysh T. O.

*State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yuriy Illenko St., Kyiv, 04050, Ukraine*

**Актуальність.** Зміни в структурі кісток, стромальному мікрооточенні кісткового мозку та їхньої регуляції є одним з механізмів лейкемогенеза.

**Мета** дослідження. Оцінити процеси остеоутворення у дітей з гострими лімфобластними лейкеміями (ГЛЛ) та дітей без онкогематологічної патології, жителів радіоактивно забруднених територій (РЗТ), залежно від обміну заліза та гормональної регуляції.

**Методи.** Обстежено 145 дітей віком від 6 до 18 років з ГЛЛ (1998–2023 рр.). Вивчали проліферативну активність кісткового мозку (КМ), ланки гемопоезу на етапах хіміотерапії (ХТ), культуру фібробластів КМ. Оцінювали амінокислотний склад колагену, лужну фосфатазу та кальцій сироватки, вітамін D, щільність кісткової тканини (ЩКТ), вміст кортизолу та тиреотропного гормону гіпофізу (ТТГ), обмін заліза (сироваткове залізо (СЗ), феритин (СФ), трансферин (СТФ), коефіцієнт насичення трансферину (КНТ)). У 124 дітей аналогічного віку загальної популяції зі скаргами на оссалгії та артралгії протягом 2–3-х років вивчали біохімічні показники сироватки крові та ЩКТ (2024–2026 рр.). Дози опромінення на КМ у дітей з ГЛЛ становили  $(4,67 \pm 0,19)$  мЗв; індивідуалізовані дози внутрішнього опромінення у дітей загальної популяції –  $(1,48 \pm 0,32)$  мЗв. Застосовували методи математичної статистики (коефіцієнти кореляції Ст'юдента, Пірсона, U-test,  $\chi^2$ ).

**Relevance.** Changes in the bone structure, bone marrow stromal microenvironment and their regulation are among the mechanisms of leukemogenesis.

**Objective.** To assess the processes of bone formation in children with acute lymphoblastic leukemia (ALL) and children having no oncohematological disease from those resident in radiologically contaminated areas (RCAs), depending on the parameters of iron metabolism and hormonal regulation.

**Methods.** The pediatric ALL patients ( $n = 145$ ) aged 6 to 18 years were examined (1998–2023). The proliferative activity of bone marrow (BM), indices of hematopoietic branches at the stages of chemotherapy (CT), and culture of BM fibroblasts were studied. The amino acid composition of collagen, serum alkaline phosphatase and calcium, vitamin D, cortisol and pituitary thyroid-stimulating hormone (TSH) were assayed both with the parameters of iron metabolism i.e. serum iron (SI), ferritin (SF), transferrin (STF), and transferrin saturation coefficient (TSC). Bone mineral density (BMD) was measured too. Serum biochemical parameters and BMD were studied for 2–3 years (2024–2026) in the children of a similar age ( $n = 124$ ) from the general population with complaints of ossalgia and arthralgia. Radiation doses to the BM in children with ALL were  $(4.67 \pm 0.19)$  mSv; individualized internal radiation doses in children from the general population were  $(1.48 \pm 0.32)$  mSv. Mathematical statistics methods were applied (Student's, Pearson's correlation coefficients, U-test,  $\chi^2$ ).

**Результати.** В ініціальний період до початку ХТ у 41,3 % дітей з ГЛЛ були зміни в структурі кісткової тканини. Кількість колонієутворюючих одиниць фібробластів КМ була знижена в 3,5 рази порівняно з контролем. Зміни у вмісті амінокислот в сечі хворих свідчили про порушення у синтезі колагену та остеоні, що впливало на структуру кісткової тканини, її щільність і функціонування стромального мікрооточення КМ. У 26,2 % дітей спостерігались прояви гіпокортицизму, у 6,0 % – гіпофункція щитоподібної залози. Відновлення КМ на етапах ХТ у 85,0 % хворих на ГЛЛ відбувалось за гранулоцитарно-моноцитарним типом. При проведенні ХТ посилювалися зміни в органічній та мінеральній компоненті кісткових структур та ЩКТ. Вміст СЗ та СФ у дітей підвищувався, у 24,6 % після ХТ був надлишок СФ ( $(345,3 \pm 16,4)$  нг/мл). Встановлено зворотний зв'язок між СЗ і СФ та прогнозом ГЛЛ у хворих ( $r = -1,0$  і  $r = -0,44$ , відповідно) ( $p < 0,001$ ). У 50,3 % дітей підвищувався рівень ТТГ ( $7,23 \pm 0,61$  мОд/л). Результати обстеження дітей без онкогематологічної патології показали, що у 46,0 % ЩКТ була нормативною, незважаючи на скарги, притаманні для змін в кістках. У 36,3 % дітей ЩКТ була знижена на 25–30 % за рахунок дефіциту органічної компоненти кісток та процесів мінералізації. У 17,7 % ЩКТ нижче 30 % сполучалась з дефіцитом білкової структури, надлишком заліза в організмі та дисфункцією щитоподібної залози. Дози опромінення дітей не впливали на показники остеоутворення.

**Висновки.** Механізми змін в кісткових структурах, стромальному мікрооточенні КМ обумовлені порушеннями, починаючи з колагеноутворення, процесів мінералізації кісток, надлишком заліза в організмі та змінами в гормональній регуляції. Діти з порушеннями в компартментах кісток становлять групу ризику з онкогематологічної патології.

**Results.** There were changes in the structure of bone tissue in the 41.3% of children with ALL before the start of CT. The number of colony-forming units of BM fibroblasts was reduced by 3.5 times compared to the control. Changes in the content of amino acids in urine of patients indicated the abnormal synthesis of collagen and osteon, affecting the structure of bone tissue, its density and functioning of the BM stromal microenvironment. The 26.2% of children had manifestations of hypocorticism, and 6.0% had hypothyroidism. Restoration of BM at the stages of CT in 85.0% of patients occurred by the granulocytic-monocytic type. There was an intensification of changes in the organic and mineral components of bone structures and BMD during the CT. The SZ and SF contents in children were increasing. There was an excess of SF ( $(345.3 \pm 16.4)$  ng/ml) upon CT in the 24.6% of cases. An inverse relationship was established between the SZ and SF serum content and ALL prognosis ( $r = -1.0$  and  $r = -0.44$ , respectively) ( $p < 0.001$ ). There was the increased serum level of TSH ( $7.23 \pm 0.61$  mU/l) in the 50.3% of children. Examination of children having no oncohematological disease showed normal values of BMD in the 46.0% of cases despite complaints due to the bone disorders. The BMD was reduced by 25–30% in the 36.3% of children due to the deficiency of bone organic component and abnormal mineralization processes. In the 17.7% of cases, BMD below 30% was associated with the protein structure deficiency, iron excess in the body and thyroid dysfunction. There was no association of the radiation doses and parameters of bone formation.

**Conclusions.** The mechanisms of changes in bone structures and BM stromal microenvironment are caused by disorders, starting with abnormal collagen formation, bone mineralization processes, body iron excess and hormonal dysregulation. Children with disorders in the bone compartments constitute a risk group for oncohematological disease.

## МОРФОЛОГІЧНІ, ІМУНОГІСТОЛОГІЧНІ ТА УЛЬТРАСТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ФЕТОПЛАЦЕНТАРНОГО КОМПЛЕКСУ ПРОТЯГОМ 40 РОКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Задорожна Т.Д., Бондаренко Ю.М., Антипкін Ю.Г., Воробйова І.І., Носо Й., Дейнега М.І.

Державна установа «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України», Київ, Україна

Міжнародний університет Хіросіма, Хіросіма, Японія

## MORPHOLOGICAL, IMMUNOHISTOLOGICAL AND ULTRASTRUCTURAL FEATURES OF THE FETOPLACENTAR COMPLEX DURING 40 YEARS OF THE CHORNOBYL DISASTER

Zadorozhna T.D., Bondarenko Y.M., Antypkin Y.G., Vorobyova I.I., Noso Y., Deynega M.I.

State Institution «Ukrainian Center for Motherhood and Childhood of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

Hiroshima International University, Hiroshima, Japan

Актуальність. В Державній установі «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України» (далі – Центр) співробітниками лабораторії патоморфології у співпраці з відділенням сучасних медичних технологій в акушерстві та перинатології (професор Воробйова І.І., професор Скрипченко Н.Я., доктор філософії Лозова Л.А.), відділення медичних проблем планування сім'ї та відділення реабілітації репродуктивної функції жінок (д.мед.н. Трохимович О.В., д.мед.н. Ревенько О.О., д.мед.н., проф. Корнацька А.Г.) та ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України» (Віктор Морозов, Микола Курьята, Валентина Василенко) проведені унікальні дослідження фетоплацентарного комплексу з урахуванням показників внутрішнього опромінення, в результаті Чорнобильської катастрофи з 1986 року протягом 40 років, за даними «Сертифікату плаценти» (авторське право № 77266), котрий був створений в лабораторії патоморфології для здійснення моніторингу змін плаценти. Оскільки плацента розвивається з ендометріальних структур, за останні 5 років, нами було проведено дослідження структури ендометрію до настання вагітності. Особливу увагу приділено дослідженню морфологічних та імуногістохімічних особливостей гіперпластичних процесів в ендометрії.

**Мета.** Дослідити морфологічні та імуногістохімічні особливості репродуктивних структур з урахуванням змін в плаценті та тканинах ендометрію в динаміці 40 років чорнобильської катастрофи з визначенням впливу маркерів інкорпорування радіо-

Relevance. At the State Institution «All-Ukrainian Center for Maternity and Childhood of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (hereinafter referred to as the Center), the employees of the Pathomorphology Laboratory in cooperation with the Department of Modern Medical Technologies in Obstetrics and Perinatology (Professor Vorobyova I.I., Professor Skrypchenko N.Ya., Doctor of Philosophy Lozova L.A.), the Department of Medical Problems of Family Planning and the Department of Rehabilitation of Women's Reproductive Function (Dr. Trokhymovych O.V., Dr. Revenko O.O., Dr. Kornatska A.G.) and the State Institution «National Scientific Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (Viktor Morozov, Mykola Kuryata, Valentina Vasilenko) conducted unique studies of the fetoplacental complex, taking into account indicators of internal radiation, as a result of the Chernobyl disaster since 1986 for 40 years, according to the «Placenta Certificate» (copyright No. 77266), which was created in the pathomorphology laboratory to monitor placental changes. Since the placenta develops from endometrial structures, over the past 5 years, we have conducted a study of the structure of the endometrium before pregnancy. Particular attention was paid to the study of morphological and immunohistochemical features of hyperplastic processes in the endometrium.

**Objective.** To study the morphological and immunohistochemical features of reproductive structures, taking into account changes in the placenta and endometrial tissues in the dynamics of 40 years of the Chernobyl dis-

нукліду цезій-137 в плаценті на репродуктивне здоров'я жінок. Та порівняти їх з особливостями змін в ендометрії при передчасних пологах.

**Методи.** Патоморфологічний та імуногістохімічний (CD-31, CD-105, VEGF, PCNA, Ki-67, TUNEL, CEA, CD-44, CD-117) аналіз, виявлення вмісту солей важких металів та поліциклічних ароматичних гідрокарбонатів, електронно-мікроскопічне дослідження та радіометричне дослідження

**Результати.** Рівень інкорпорування радіонуклідів Цезію-137, що достовірно призводив до патоморфологічних змін плаценти становив > 4,8 Бк/кг, було вперше в світі виявлено імуногістохімічну експресію Карциноембріонального антигену CEA. З 2021 було виявлено підвищення інкорпорування радіонуклідами до 9 Бк/кг, на початок 2026 року доходить до 19 Бк/кг. При накопиченні більше 10 Бк/кг виникають ураження плаценти, що збільшує ризик передчасних пологів. Патоморфологічне дослідження при передчасних пологах, виявило часткове чи повне зниження судинної перфузії в материнській та плодовій структурах плаценти, збільшення маркерів стресу (синцитіальних вузликів (авторське право № 112811) та материнських внутрішніх інфарктів) в плаценті, ворсини хоріона переважно незрілі та деформовані. Імуногістохімічно спостерігається виражена експресія карциноембріонального антигену CEA в 25% спостережень (фізіологічно не зустрічається в структурах плаценти), проліферативного маркеру Ki-67 та мезенхімального маркеру vimentin. Імуногістохімічно доведена деструкція 46% стовбурових клітин на тлі збільшення їх загальної кількості в 2–3 рази (авторське право № 126778). Для визначення тяжкості стресу паралельно було проведено імуноферментний аналіз Saliva-test, що виявив підвищення рівня маркеру стресу до верхньої межі норми у жінок з передчасними пологами, котрі мали високі показники інкорпорування радіонуклідів.

**Висновки.** Таким чином, плацента є органом біологічного моніторингу (що є підтвердженням нашим пролонгованим 40-річним дослідженням), приймає участь в органогенезі плоду, онкогенезі (позитивна експресія імуногістохімічного маркеру CEA, деструкція стовбурових клітин маркеру CD-44 та CD-117) при накопиченні радіонуклідів (цезій-137) > 4,8 – 19 Бк/кг. Достовірно встановлено збільшення маркерів стресу (синцитіальні вузлики та їх ядра, відшарування децидуальної оболонки), які приводять до репродуктивної патології (встановлено по даним «Сертифікату плаценти»).

aster, with the determination of the influence of markers of incorporation of the radionuclide cesium-137 in the placenta on the reproductive health of women. And to compare them with the features of changes in the endometrium in premature birth.

**Methods.** Pathomorphological and immunohistochemical (CD-31, CD-105, VEGF, PCNA, Ki-67, TUNEL, CEA, CD-44, CD-117) analysis, detection content of heavy metal salts and polycyclic aromatic hydrocarbons, electron microscopic examination and radiometric examination

**Results.** The level of incorporation of radionuclides Cesium-137, which reliably led to pathomorphological changes in the placenta, was > 4.8 Bq/kg, immunohistochemical expression of Carcinoembryonic antigen CEA was detected for the first time in the world. Since 2021, an increase in radionuclide incorporation to 9 Bq/kg has been detected, and by the beginning of 2026 it reaches 19 Bq/kg. With the accumulation of more than 10 Bq/kg, placental lesions occur, which increases the risk of premature birth. Pathomorphological examination in premature birth revealed a partial or complete decrease in vascular perfusion in the maternal and fetal structures of the placenta, an increase in stress markers (syncytial nodules (copyright No. 112811) and maternal internal infarctions) in the placenta, the chorionic villi are mostly immature and deformed. Immunohistochemically, a distinct expression of the carcinoembryonic antigen CEA is observed in 25% of observations (physiologically not found in the structures of the placenta), the proliferative marker Ki-67 and the mesenchymal marker vimentin. Immunohistochemically, the destruction of 46% of stem cells was proven against the background of an increase in their total number by 2–3 times (copyright No. 126778). To determine the severity of stress, an enzyme-linked immunosorbent assay Saliva-test was performed in parallel, which revealed an increase in the level of the stress marker to the upper limit of normal in women with premature births who had high rates of radionuclide incorporation. **Conclusions.** Thus, the placenta is an organ of biological monitoring (which is confirmed by our prolonged 40-year study), participates in organogenesis fetus, oncogenesis (positive expression of the immunohistochemical marker CEA, destruction of stem cells markers CD-44 and CD-117) with the accumulation of radionuclides (cesium-137) > 4.8 – 19 Bq/kg. An increase in stress markers (syncytial nodules and their nuclei, detachment of the decidual membrane) has been reliably established, which lead to reproductive pathology (established according to the data of the «Placenta Certificate»).

## МАРКЕРИ АКТИВАЦІЇ ЛІМФОЦИТІВ ПЕРИФЕРИЧНОЇ КРОВІ В УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС

Зварич Л.М., Лясківська О.В., Базика Д.А.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

## THE ACTIVATION MARKERS OF PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES OF THE CLEAN-UP WORKERS OF THE CHORNOBYL ACCIDENT

Zvarych L. M., Lyaskivska O. V., Bazyka D. A.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Одними з довгострокових наслідків радіаційного опромінення є стійкі порушення імунного статусу (включаючи дисбаланс субпопуляцій лімфоцитів та ознаки прискореної імуносенесценції) осіб, постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС. Тому дослідження маркерів активації лімфоцитів дозволить глибше зрозуміти механізми та ризик розвитку імунопатологічних станів після опромінення.

**Мета** дослідження. Визначити маркери активації лімфоцитів периферичної крові в учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на ЧАЕС.

**Методи.** Імунологічні (проточна цитометрія) та статистичні.

**Результати.** Основна група – 72 УЛНА на ЧАЕС, віком 56–64 (60,63 ± 1,89) роки. Контрольна група – 23 пацієнти, віком 51–77 (65,85 ± 7,65) років з відсутністю онкологічного захворювання, хронічної патології у стані загострення та радіаційного анамнезу. При дослідженні основних субпопуляцій лімфоцитів не виявлено відмінностей між середньогруповими показниками CD3<sup>+</sup> Т-лімфоцитів, зокрема CD4<sup>+</sup> Т-хелперів і CD8<sup>+</sup> цитотоксичних Т-лімфоцитів, TCRαβ<sup>+</sup> і TCRγδ<sup>+</sup> Т-лімфоцитів, та CD19<sup>+</sup> В-лімфоцитів в осіб груп обстеження. Відносна кількість загальної субпопуляції CD45<sup>+</sup>14<sup>-</sup> лімфоцитів також була подібною. Лише середньогруповий показник незрілих CD4<sup>+</sup>8<sup>+</sup> Т-лімфоцитів характеризувався тенденцією до зниження в УЛНА на ЧАЕС. Серед цитотоксичних лімфоцитів, середньогрупові показники CD16<sup>+</sup>CD56<sup>+</sup> натуральних кілерів (НК) та натуральних кілерних Т-лімфоцитів (НКТ) були подібними в осіб груп обстеження, натомість відносна кількість CD3<sup>+</sup>57<sup>+</sup> НКТ характеризувалася

**Background.** Persistent radiation-induced alterations of immune homeostasis, including dysregulation of lymphocyte subpopulations and features of accelerated immunosenescence, represent significant long-term consequences of exposure in individuals affected by the Chernobyl accident. Therefore, investigation of lymphocyte activation markers may provide deeper insight into the mechanisms and risks of radiation-induced immunopathological conditions.

**Aim** of the study. To determine activation markers of peripheral blood lymphocytes of the clean-up workers of the Chernobyl accident.

**Methods.** Immunological methods (flow cytometry) and statistical analysis.

**Results.** The study group included 72 clean-up workers of the Chernobyl accident aged 56–64 (60.63 ± 1.89) years. The control group included 23 patients aged 51–77 (65.85 ± 7.65) years with no history of cancer, acute chronic disease or radiation exposure. Analysis of the main lymphocyte subsets revealed no differences between the mean group values of CD3<sup>+</sup> T-lymphocytes, particularly CD4<sup>+</sup> T-helper and CD8<sup>+</sup> cytotoxic T-lymphocytes, TCRαβ<sup>+</sup> and TCRγδ<sup>+</sup> T-lymphocytes, and CD19<sup>+</sup> B-lymphocytes in the study groups. The relative abundance of the total CD45<sup>+</sup>14<sup>-</sup> lymphocytes was similar. Only the mean group values of immature CD4<sup>+</sup>8<sup>+</sup> T-lymphocytes showed a decreasing trend in the clean-up workers of the Chernobyl accident. Among cytotoxic lymphocytes, the mean group values of CD16<sup>+</sup>CD56<sup>+</sup> natural killer (NK) and natural killer T-lymphocytes (NKT) were similar in the study groups, and the relative number of CD3<sup>+</sup>57<sup>+</sup> NKT showed a decreasing trend in the clean-up workers of the Chernobyl accident. The relative number of CD3<sup>+</sup>25<sup>+</sup> T-lympho-

тенденцією до зниження в УЛНА на ЧАЕС. Відносна кількість CD3<sup>+</sup>25<sup>+</sup> Т-лімфоцитів була вища в УЛНА на ЧАЕС, ніж в осіб контрольної групи ( $p < 0,05$ ), за рахунок вищої кількості CD4<sup>+</sup>25<sup>+</sup> Т-лімфоцитів. Не було виявлено відмінностей показників Т-лімфоцитів та НК, які експресують HLA-DR, в осіб груп обстеження. Середньогруповий показник CD19<sup>+</sup>25<sup>+</sup> В-лімфоцитів був нижчим ( $p < 0,01$ ), а CD3<sup>-</sup>HLA-DR<sup>+</sup> В-лімфоцитів – вищим ( $p < 0,01$ ) в УЛНА на ЧАЕС. При цьому не виявлено змін відносної кількості CD38<sup>+</sup> Т- і В-лімфоцитів. Спостерігалось різке зниження показника наївних Т-лімфоцитів ( $p < 0,05$ ) без змін показників субпопуляцій Т-лімфоцитів пам'яті (термінально диференційованих, стовбурових, ефекторних і Т-лімфоцитів центральної пам'яті) в УЛНА на ЧАЕС.

**Висновки.** Отримані результати вказують на відносне збереження загальної структури основних субпопуляцій лімфоцитів у віддаленому періоді після опромінення, що свідчить про відсутність вираженого імунодефіцитного стану або дизрегуляції. Разом з цим, виявлені зміни перерозподілу активаційних і диференційних маркерів відображають функціональну перебудову імунної системи. Тенденція до зниження незрілих CD4<sup>+</sup>8<sup>+</sup> Т-лімфоцитів та CD3<sup>+</sup>57<sup>+</sup> НКТ разом з різким зменшенням наївних Т-лімфоцитів при збереженні субпопуляцій Т-лімфоцитів пам'яті може свідчити про виснаження тимус-залежної ланки, зниження регенераторного потенціалу Т-клітинного пулу, ознаки прискореної імуносенесценції та обмеження можливості формування первинної імунної відповіді на нові антигени. Підвищення відносної кількості CD4<sup>+</sup>25<sup>+</sup> Т-лімфоцитів відображає наявність хронічної антигенної стимуляції та компенсаторної активації Т-хелперів. Збільшення HLA-DR<sup>+</sup> В-лімфоцитів на тлі зниження CD19<sup>+</sup>25<sup>+</sup> В-лімфоцитів може вказувати на дисбаланс активації В-клітинної ланки з можливим порушенням гуморального імунітету. Відсутність змін експресії HLA-DR<sup>+</sup> Т-лімфоцитів і НК разом з CD38 на лімфоцитах свідчить про відсутність системної гіперактивації імунітету. Отже, виявлений імунофенотип може відображати радіаційно-індуковане прискорення імуносенесценції із втратою адаптивного потенціалу імунної системи, але без декомпенсації, що підвищує сприйнятливості до інфекцій та ризик активації аутоімунних процесів і канцерогенезу в УЛНА на ЧАЕС.

cytes was higher in the clean-up workers of the Chernobyl accident than in persons of the control group ( $p < 0.05$ ) due to the higher number of CD4<sup>+</sup>25<sup>+</sup> T-lymphocytes. No differences were found in the indices of HLA-DR<sup>+</sup> T-lymphocytes and HLA-DR<sup>+</sup> NK in the study groups. The mean group values of CD19<sup>+</sup>25<sup>+</sup> B-lymphocytes were lower ( $p < 0.01$ ), while the indices of CD3<sup>-</sup>HLA-DR<sup>+</sup> B-lymphocytes were higher ( $p < 0.01$ ) in the clean-up workers of the Chernobyl accident. No changes were detected in the relative number of CD38<sup>+</sup> T- and B-lymphocytes. A marked reduction in the relative number of naive T-lymphocytes ( $p < 0.05$ ) was observed, with no changes in the memory T-lymphocyte subsets (terminally differentiated, stem, effector, and central memory T-lymphocytes) in the clean-up workers of the Chernobyl accident.

**Conclusions.** The obtained results indicate a relative preservation of the overall structure of major lymphocyte subsets in the late period after radiation exposure, suggesting the absence of pronounced immunodeficiency or immune dysregulation. Furthermore, the observed redistribution of activation and differentiation markers reflects functional remodeling of the immune system. A tendency toward a decrease in immature CD4<sup>+</sup>8<sup>+</sup> T-lymphocytes and CD3<sup>+</sup>57<sup>+</sup> NKT, together with a marked reduction in naive T-lymphocytes accompanied by preservation of memory T-cell subsets, may indicate depletion of the thymus-dependent component, reduced regenerative capacity of the T-cell pool, features of accelerated immunosenescence, and limited ability to mount primary immune responses to novel antigens. An increase in the relative number of CD4<sup>+</sup>25<sup>+</sup> T-lymphocytes reflects the presence of chronic antigenic stimulation and compensatory activation of T-helpers. An increase in HLA-DR<sup>+</sup> B-lymphocytes against a background of decreased CD19<sup>+</sup>25<sup>+</sup> B-lymphocytes may indicate an imbalance in B-cell activation with potential impairment of humoral immunity. The absence of changes in HLA-DR expression on T-lymphocytes and NK cells, as well as CD38 expression on lymphocytes, indicates the absence of systemic immune hyperactivation. Thus, the identified immunophenotype may reflect radiation-induced acceleration of immunosenescence associated with loss of the adaptive potential of the immune system without decompensation, which may increase susceptibility to infections and elevate the risk of autoimmune activation and carcinogenesis in the clean-up workers of the Chernobyl accident.

## СТАН ТА ПРОБЛЕМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДЕРЖАВНОГО РЕЄСТРУ УКРАЇНИ У ВІДДАЛЕНОМУ ПЕРІОДІ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС

Іванова О.М.<sup>1</sup>, Масюк С.В.<sup>1</sup>, Терещенко С.О.<sup>2</sup>, Марценюк О.Д.<sup>2</sup>, Губіна І.Г.<sup>2</sup>, Будерацька В.Б.<sup>1</sup>, Бойко З.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Державна установа «Український центр інформаційних технологій та Національного Реєстру» МОЗ України

## CURRENT STATE AND ISSUES OF UKRAINE'S STATE REGISTER IN THE LONG-TERM PERIOD AFTER THE CHORNOBYL ACCIDENT

Ivanova O.M.<sup>1</sup>, Masiuk S.V.<sup>1</sup>, Tereshchenko S.O.<sup>2</sup>, Martsenyuk O.D.<sup>2</sup>, Hubina I.H.<sup>2</sup>, Buderatska V.B.<sup>1</sup>, Boiko Z.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>State Institution «Ukrainian Center for Information Technologies and the National Register» of the Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Чорнобильська катастрофа залишається однією з наймасштабніших техногенних аварій, наслідки якої й досі позначаються на стані здоров'я населення. Для системного спостереження за постраждалими у 1992 році було створено Державний реєстр України (ДРУ). У віддаленому періоді після аварії на ЧАЕС особливої ваги набуває модернізація та цифровізація реєстру, розширення його аналітичних можливостей і забезпечення інтеграції з відповідними державними та міжнародними системами.

**Мета** дослідження – проаналізувати сучасний стан ДРУ, вивчити його проблеми та сформулювати рекомендації щодо його вдосконалення.

**Методи.** У ході роботи було здійснено комплексне дослідження сучасного стану ДРУ: проаналізовано нормативно-правову базу, технічну інфраструктуру, виконано оцінку повноти та якості даних, здійснено порівняльний аналіз із міжнародними дозиметричними реєстрами та базами даних аналогічного профілю.

**Результати.** У складі ДРУ функціонують три спеціалізовані підреєстри – медичний, дозиметричний та соціологічний, які забезпечують комплексний збір і аналіз даних на трьох рівнях: державному, де централізоване керування базою даних здійснює Державна установа «Український центр інформаційних технологій та Національного реєстру МОЗ України»; обласному та районному,

**Relevance.** The Chernobyl disaster remains one of the largest man-made accidents, the consequences of which still affect the health of the population. For systematic monitoring of those affected, the State Register of Ukraine (SRU) was established in 1992. In the long-term period after the Chernobyl accident, modernization and digitalization of the Register, expansion of its analytical capabilities, and ensuring integration with relevant national and international systems acquire particular importance.

The **purpose** of the study is to analyze the current problems of the SRU, to examine its issues, and to formulate recommendations for its improvement.

**Methods.** A comprehensive study of the current state of the SRU was conducted. The analysis included the regulatory and legal framework, the technical infrastructure, an assessment of the completeness and quality of the data, as well as a comparative review with international dosimetric registers and databases of a similar profile

**Results.** The State Register of Ukraine includes three specialized sub-registers – medical, dosimetric, and sociological – which provide systematic data acquisition and analysis at three levels. At the national level, centralized database management is carried out by the State Institution «Ukrainian Center for Information Technologies and the National Register» of the Ministry of Health of Ukraine. At the regional and district levels, primary data gathering and transmis-

sion are performed. In 2025, the total number of individuals registered in the SRU was 2,503,500. The primary registration covered four main groups: accident liquidators (324,568 persons), evacuees (83,406 persons), residents of radioactively contaminated territories (1,620,659 persons), and those born to affected parents (429,483 adults and 45,384 children). The largest number of registered individuals is concentrated in Kyiv region (26.7%), as well as Zhytomyr and Rivne regions, which border the exclusion zone or are located within the area of the «western fallout zone» of Chernobyl contamination. Between 2007 and 2025, specialists of the NRCRMO carried out work on the individualization of radiation doses for persons registered in the SRU. During this period, annual and cumulative post-accident doses were assessed for 419,500 residents of affected territories. The calculation methodology incorporated individual data (age, sex, place of residence, and duration of registration in the SRU), together with the results of radioecological and dosimetric monitoring conducted in Ukraine between 1986 and 2014. In the long-term post-accident period, updates to the SRU database have been carried out mainly through medical examinations, during which diagnoses and deaths of registrants are recorded. These data serve as key indicators for assessing health status and its relationship to radiation doses. Unfortunately, over the past decade – particularly during the Covid-19 pandemic and the large-scale military aggression – the coverage of examinations decreased 3–5 fold on average

**Висновки.** ДРУ є важливим інструментом для оцінки стану здоров'я населення України та визначення зв'язку між дозами опромінення й медичними наслідками аварії на ЧАЕС. На сьогодні близько 20% жителів радіоактивно забруднених територій вже реконструйовано чорнобильські дози опромінення. Основними проблемами ДРУ, які потребують вирішення, є: застаріла технічна інфраструктура, неповнота даних через скорочення медичних оглядів, обмежені аналітичні можливості, недостатня інтеграція з державними електронними реєстрами у сфері охорони здоров'я та міжнародними дозиметричними реєстрами.

**Conclusions.** The SRU is an important tool for assessing the health status of the Ukrainian population and for determining the relationship between radiation doses and medical consequences of the Chernobyl accident. At present, Chernobyl radiation doses have already been reconstructed for about 20% of residents of radioactively contaminated territories. The main challenges of the SRU that require resolution include: outdated technical infrastructure, incomplete data due to reduced medical examinations, limited analytical capacity, insufficient integration with national electronic health registries, and lack of linkage with international dosimetric registries.

## КЛІНІЧНИЙ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ СКРИНІНГ СТАНУ ПРИЩИТОПОДІБНИХ ЗАЛОЗ У ДІТЕЙ З ДИСФУНКЦІЄЮ ГІПОТАЛАМУСУ ПЕРІОДУ СТАТЕВОГО РОЗВИТКУ, ЯКІ НАРОДИЛИСЯ ВІД БАТЬКІВ ОПРОМІНЕНИХ ВНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧАЕС

Камінський О.В., Копилова О.В., Афанасьєв Д.Є., Муравйова І.М., Чикалова І.Г., Цвет Л.О., Колодій В.М.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, онкології та гематології НАМН України», м. Київ, Україна

## CLINICAL AND INSTRUMENTAL SCREENING OF THE PARATHYROID GLAND STATE IN CHILDREN WITH PUBERTAL HYPOTHALAMIC DYSFUNCTION BORN TO PARENTS IRRADIATED AFTER THE CHORNOBYL NPP ACCIDENT

Kaminskyi O.V., Kopylova O.V., Afanasyev D.E., Muraviova I.M., Chikalova I.G., Tsvet L.O., Kolodiy V.M.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Вивчення стану ПЩЗ дітей, які народилися від батьків з опроміненою ЩЗ є вкрай актуальним, враховуючи, що ці особи на момент аварії перебували в дитячому та підлітковому віці та зазнали опромінення ЩЗ (0,15–0,75 Гр). Нестача вітаміну D при захворюваннях щитоподібної залози, порушеннях жирового та вуглеводного обмінів доводить необхідність визначення механізмів, які лежать в основі гормонально-метаболических зрушень і можуть призводити до його дефіциту.

**Мета.** Вивчити взаємозв'язок між нейроендокринними розладами в період статевого розвитку на рівні гіпоталамо-гіпофізарної системи та станом прищитоподібних залоз у дітей, які народилися від батьків опромінених внаслідок аварії на ЧАЕС.

**Методи.** Проводилось клінічне, гормональне та ультразвукове обстеження стану прищитоподібних залоз у дітей віком 12–17 років, які народилися від батьків, опромінених внаслідок аварії на ЧАЕС. При гормональному дослідженні – визначався рівень 25-гідроксिवітаміну D (25(OH) D) у сироватці крові.

**Результати.** При обстеженні 139 дітей у 102 (73,4 %) виявлено синдром дисфункції гіпоталамусу пубертатного періоду, який супроводжувався ожирінням і інсулінорезистентністю. Захворювання щитоподібної залози, а саме: хронічний аутоімунний тиреоїдит (ХАТ) у 24 (17,3 %), дифузний нетоксичний зоб у 56

**Relevance.** Studying the state of parathyroid glands in children born to parents with irradiated thyroid is extremely relevant, given that these individuals were children or adolescents at the time of the Chernobyl NPP (ChNPP) accident being exposed to thyroid radiation (0.15–0.75 Gy dose range). Vitamin D deficiency in thyroid diseases, disorders of lipid and carbohydrate metabolism proves the need to determine the underlying mechanisms of hormonal and metabolic shifts of just its deficiency.

**Objective.** To study the relationship between neuroendocrine disorders during puberty at the level of hypothalamic-pituitary system and state of parathyroid glands in children born to parents irradiated as a result of the ChNPP accident.

**Methods.** Clinical, hormonal and parathyroid ultrasound examination in children aged 12–17 years, born to parents irradiated after the ChNPP accident, was carried out. Serum content of 25-hydroxyvitamin D (25(OH) D) was assayed.

**Results.** The 139 children were examined. Hypothalamic dysfunction syndrome of puberty accompanied by obesity and insulin resistance was diagnosed in 102 of them (73.4%), whereas thyroid disease, namely chronic autoimmune thyroiditis (HAT) in 24 (17.3%), diffuse nontoxic goiter in 56 (40.3%), and nodular goiter in 5 (3.6%) respectively. Thyroid dysfunction was detected in 9 cases

(40,3 %), вузловий зоб у 5 (3,6 %). Порушення функції ЩПЗ виявлено у 9 (6,5 %). Гіперплазія ПЩЗ по результатам УЗД виявлена у 72 (51,8%), з них - мультигландулярні гіперплазії у 6 (4,3 %), аденома у 4 (2,9 %). При клінічному обстеженні виявлена затримка фізичного розвитку у 9 (6,5 %) дітей, вторинна кардіопатія у 4 (2,9 %). В групі дітей, народжених від батьків опромінених внаслідок аварії на ЧАЕС з синдромом дисфункції гіпоталамусу пубертатного періоду, який супроводжувався ожирінням виявлена вторинна артеріальна гіпертензія у 11 (7,9 %), гіперліпідемія у 16 (11,5 %), стеатогепатоз у 7 (5,0%), юнацька острохондропатія у 7 (5,0 %), астено-невротичний синдром у 14 (10,1 %). При ультразвуковому обстеженні ПЩЗ у 139 дітей, які народилися від опромінених батьків збільшення залози до 6–10 мм виявлено у 48 (34,5 %), більше 10 мм у 24 (17,3 %). Зниження ехогенності тканини відмічалось у 21 (15,1 %). У 6 (4,3 %) дітей виявлена велика кількість збільшених ПЩЗ від 4 до 8 розміром від 8,0 до 17,0 мм зниженої ехогенності, неоднорідні за структурою та з наявними дрібними кальцифікатами, що діагностувалася як мультигландулярна гіперплазія ПЩЗ і супроводжувалась низьким рівнем вітаміну D. У 72 (51,8 %) дітей з гіперплазією ПЩЗ виявлена недостатність вітаміну D 39 (54,2 %). Гіперплазія ПЩЗ не завжди супроводжується низьким рівнем вітаміну D, що підтверджує той факт, що в метаболізмі вітаміну D є багато інших чинників, які сприяють його дефіциту.

**Висновки.** Діти, які мали дисфункціональні розлади гіпоталамо-гіпофізарної системи і у яких виявлена гіперплазія ПЩЗ, яка супроводжувалась дефіцитом/нестачею вітаміну D потребують скринінгового ультразвукового та гормонального контролю за станом ПЩЗ на протязі усього пубертатного періоду.

(6.5%). Parathyroid hyperplasia according to the results of diagnostic ultrasound was detected in 72 children (51.8%), of which multiglandular hyperplasia in 6 (4.3%), and adenoma in 4 (2.9%) respectively. A delay in physical development was detected in 9 (6.5%) children, secondary cardiopathy in 4 (2.9%). Secondary arterial hypertension was detected in 11 (7.9%), hyperlipidemia in 16 (11.5%), steatohepatosis in 7 (5.0%), juvenile osteochondropathy in 7 (5.0%), and asthenoneurotic syndrome in 14 (10.1%) cases respectively in the group of children with hypothalamic dysfunction syndrome of the pubertal period with comorbid obesity born to parents irradiated after the ChNPP accident. Data of parathyroid diagnostic ultrasound in 139 children born to irradiated parents indicated an increased gland to 6–10 mm in 48 cases (34.5%) and to more than 10 mm in 24 ones (17.3%). A decrease in tissue echogenicity was noted in 21 (15.1%). In 6 children (4.3%) multiple (from 4 to 8) enlarged parathyroid glands in size from 8.0 to 17.0 mm of reduced echogenicity, heterogeneous in structure and with presence of small calcifications were detected, which was diagnosed as multiglandular parathyroid hyperplasia accompanied by a low level of vitamin D. Vitamin D deficiency was detected in 39 (54.2%) of 72 children with parathyroid hyperplasia. The last one is not always accompanied by a low level of vitamin D, indicating the fact of many other factors in vitamin D metabolism that contribute to its deficiency.

**Conclusions.** Children who had dysfunctional disorders of hypothalamic-pituitary system and who were found to have parathyroid hyperplasia accompanied by vitamin D deficiency/lack require the ultrasound and hormonal monitoring of parathyroid status throughout the pubertal period.

## ПАТОЛОГІЯ ПРИЩИТОПОДІБНИХ ЗАЛОЗ У ПОСТРАЖДАЛИХ ВНАСЛІДОК ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Камінський О. В., Копилова О. В., Афанасьєв Д. Є., Муравйова І. М., Чикалова І. Г.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

## PARATHYROID DISEASE IN THE CHORNOBYL CATASTROPHE SURVIVORS

Kaminskyi O.V., Kopylova O.V., Afanasyev D.E., Muraviova I.M., Chikalova I.G.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Вплив іонізуючої радіації на прищитоподібні залози (ПЩЗ) тривалий час залишався поза увагою клініцистів та радіаційних медиків, незважаючи на накопичені дані про чутливість цих органів до променевого ураження. Патологія ПЩЗ у постраждалих внаслідок Чорнобильської аварії є важливою медико-соціальною проблемою та потребує розробки нових підходів до ранньої діагностики і реабілітації.

**Мета** дослідження. З'ясувати частоту та особливості структурно-функціональних змін ПЩЗ у осіб, які зазнали впливу іонізуючої радіації внаслідок аварії на ЧАЕС у віддалені терміни після опромінення (через 30–38 рр.), та встановити закономірності розвитку паратиреоїдної патології (гіперплазії ПЩЗ, гіперпаратиреозу) порівняно з неопроміненим населенням.

**Методи.** Проспективно-ретроспективне когортне дослідження проведено у 2019–2024 рр. на базі ДУ «ННЦРМГО НАМН України». До дослідження залучено 3 298 осіб віком 19–70 років: 2 183 постраждалих (учасники ліквідації наслідків аварії – УЛНА, евакуйовані, мешканці радіоактивно забруднених територій – РЗТ, нащадки опромінених батьків) та 1 115 осіб контрольної групи. Застосовано комплексне клініко-лабораторно-інструментальне обстеження: ультразвукова діагностика ПЩЗ (навченим досвідченим персоналом), визначення рівнів паратгормону (ПТГ), 25-гідрокси вітаміну D, іонізованого кальцію, фосфору. Статистичний аналіз включав розрахунок відносного ризику (RR) та абсолютної різниці ризиків з 95 % довірчими інтервалами (ДІ).

**Результати.** За даними ультразвукового дослідження, частота гіперплазії ПЩЗ у постраждалих була достовірно вищою, ніж у контролі: 25,8 % проти 18,0 % ( $\chi^2 = 30,47$ ;  $p < 0,001$ ; RR = 1,43; 95 %

**Relevance.** The effect of ionizing radiation on parathyroid glands (PTH) has long remained out of the attention of clinicians and radiation physicians, despite accumulated data on the sensitivity of these organs to radiation damage. Parathyroid disease in the Chernobyl NPP (ChNPP) accident survivors is an important medical and social problem, requiring the development of new approaches to early diagnosis and rehabilitation.

**Objective.** To determine the frequency and features of structural and functional parathyroid abnormalities in persons exposed to ionizing radiation after the ChNPP accident in the long term (30–38 years) upon exposure, and to establish the patterns of development of parathyroid disease (PTH hyperplasia, hyperparathyroidism) compared to the non-irradiated population.

**Methods.** A prospective-retrospective cohort study was conducted in 2019–2024 at the State Institution «NRCRMHO of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine». People aged 19–70 years ( $n = 3,298$ ) were the study subjects with accident survivors ( $n = 2,183$  – the accident consequences clean-up workers (ACUW), municipal workers, evacuees, residents of radiologically contaminated territories – RCT, descendants of irradiated parents) and the control group subjects ( $n = 1,115$ ). A comprehensive clinical, laboratory and instrumental examination was applied featuring the parathyroid diagnostic ultrasound (by the trained experienced personnel), serum assay of parathyroid hormone (PTH), 25-hydroxy vitamin D, ionized calcium, and phosphorus. Statistical analysis included calculation of the relative risk (RR) and absolute risk difference with 95% confidence intervals (CI).

**Results.** According to diagnostic ultrasound data, the frequency of parathyroid hyperplasia in survivors was

ДІ: 1,24–1,65; абсолютна різниця ризиків +7,8 в. п.). Найвищий показник виявлено у евакуйованих із 30-кілометрової зони відчуження – 31,4 % (RR = 1,74; 95 % ДІ: 1,46–2,07; NNH  $\approx$  8) та учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) – 26,3 % (RR = 1,46; 95 % ДІ: 1,23–1,73; NNH  $\approx$  12). У мешканців радіоактивно забруднених територій різниця з контролем не досягла статистичної значущості (21,1 % проти 18,0 %; RR = 1,17;  $p = 0,092$ ), що може свідчити про існування порогового рівня дозового навантаження. Нормокальціємічний вторинний неренальний гіперпаратиреоз (НК-ВНГП) діагностовано у 20,3 % опромінених проти 15,1 % у контролі (RR = 1,35; 95 % ДІ: 0,94–1,93;  $p \approx 0,095$ ); різниця 5,2 в. п. має клінічне значення з позицій превентивної медицини. За 2019–2024 рр. зафіксовано прогресивне зростання частоти НК-ВНГП: у постраждалих – з 18 % до 26,6 % (+1,7 %/рік;  $p \approx 0,005$ ), у контролі – з 10 % до 14,7 % (+0,95 %/рік;  $p \approx 0,003$ ); пікове значення 26,4 % зареєстровано у 2022 р. на тлі додаткових стресових чинників воєнного часу. Відносний ризик НК-ВНГП у опромінених стабільно перевищував контроль протягом усього спостереження (RR 1,6–1,9; середнє  $\sim$ 1,8). Незалежно від статусу опромінення, у жінок рівні ПТГ були достовірно вищими, ніж у чоловіків ( $32,4 \pm 18,7$  нг/л проти  $22,1 \pm 12,5$  нг/л у постраждалих;  $p = 0,001$ ), що узгоджується з відомим гендерним диморфізмом гіперпаратиреозу.

**Висновки.** Комбіновані фактори Чорнобильської аварії асоціюються з підвищеною частотою патології ПЩЗ у віддалені терміни після опромінення, особливо гіперплазії ПЩЗ у осіб з більшим дозовим навантаженням (25,8 % проти контролю 18,0 %,  $p < 0,001$ ). Виявлено поступову щорічну прогресію змін у опромінених осіб, високу частоту паратиреоїдної патології з тенденцією до розвитку НК-ВНГП (20,3 % опромінених проти 15,1 % контролю,  $p \approx 0,095$ ). Отримані результати обґрунтовують необхідність активного скринінгу, регулярного моніторингу та профілактичних заходів у зазначених групах ризику.

significantly higher than in controls: 25.8% versus 18.0% ( $\chi^2 = 30.47$ ;  $p < 0.001$ ; RR = 1.43; 95% CI: 1.24–1.65; absolute risk difference +7.8 ppt). The highest rate was found in the evacuees from the 30-kilometer exclusion zone – 31.4% (RR = 1.74; 95% CI: 1.46–2.07; NNH  $\approx$  8) and the ACUW – 26.3% (RR = 1.46; 95% CI: 1.23–1.73; NNH  $\approx$  12). There was no statistical difference between the residents of RCT and control group (21.1% vs. 18.0%; RR = 1.17;  $p = 0.092$ ), which may indicate a threshold level of dose exposure. Normocalcemic secondary nonrenal hyperparathyroidism (NC-SNHP) was diagnosed in 20.3% of irradiated persons versus 15.1% in controls (RR = 1.35; 95% CI: 0.94–1.93;  $p \approx 0.095$ ); of note the difference of 5.2 pp. is of a clinical significance from the standpoint of preventive medicine. A progressive increase in the NC-SNHP frequency was recorded in 2019–2024, namely from 18% to 26.6% (+1.7%/year;  $p \approx 0.005$ ) in survivors and from 10% to 14.7% (+0.95%/year;  $p \approx 0.003$ ) in controls. The peak value of 26.4% was recorded in 2022 against the background of additional stress factors of the wartime. The relative risk of NC-SNHP in irradiated patients consistently exceeded the control values throughout the entire observation period (RR 1.6–1.9; average  $\sim$ 1.8). Regardless of radiation status, PTH levels were significantly higher in women than in men ( $32.4 \pm 18.7$  ng/l vs.  $22.1 \pm 12.5$  ng/l in survivors;  $p = 0.001$ ), which was consistent with the known gender dimorphism of hyperparathyroidism.

**Conclusions.** The combined factors of the ChNPP accident are associated with an increased incidence of parathyroid disease in the long term upon exposure, especially parathyroid hyperplasia in the subjects with a higher dose load (25.8% vs. 18.0% in controls,  $p < 0.001$ ). A gradual annual progression of changes in irradiated individuals was found with a high incidence of parathyroid disease with a tendency to develop the NC-SNHP (20.3% of the irradiated individuals vs. 15.1% of the controls,  $p \approx 0.095$ ). The results obtained justify the need for active screening, regular monitoring, and preventive measures in these risk groups.

## РОЛЬ НЕІНСУЛІНОВИХ ІНДЕКСІВ ІНСУЛІНОРЕЗИСТЕНТНОСТІ ПРИ НОРМОКАЛЬЦЕМІЧНОМУ ГІПЕРПАРАТИРЕОЗІ У ПОСТРАЖДАЛИХ ВНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АТОМНІЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Камінський О.В., Муравйова І.М., Чикалова І.Г., Афанасьєв Д.Є., Копилова О.В.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України», Київ, Україна

## ROLE OF NON-INSULIN INDICES OF INSULIN RESISTANCE IN NORMOCALCEMIC HYPERPARATHYROIDISM IN THE CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT SURVIVORS

Kaminskyi O.V., Muraviova I.M., Chikalova I.G., Afanasyev D.E., Kopylova O.V.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Вивчення структури супутньої патології у постраждалих внаслідок аварії на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС) має велике значення, адже відомості про поширеність патології певної системи й окремих нозологічних форм можуть сприяти вдосконаленню постановки діагнозу та раціональному лікуванню.

**Мета** дослідження. Дослідити можливість існування взаємозв'язків між нормокальцемічним гіперпаратиреозом та інсулінорезистентністю у постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС.

**Методи.** Впродовж 2022–2025 років дослідження нами було проведено поглиблене обстеження 150 осіб (108 чоловіків та 42 жінок, 72% та 28%, відповідно), в яких були виявлені захворювання прищитоподібних залоз при проведенні ультразвукового дослідження (гіперплазія або аденома). Із них 51 дорослих осіб - постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС та 38 осіб - група контролю. Вік обстежених становив від 37 до 72 років, середній вік – (58,73 ± 4,68) років. Окрему групу склали 61 чоловіків Збройних сил України віком від 23 до 58 років (середній вік (45,35 ± 2,79) років). Відповідно до мети науково-дослідної роботи обстежені були розподілені на групи: постраждалі внаслідок аварії на ЧАЕС (основна група I) та неопромінені особи або група контролю (контрольна група II). Серед осіб основної та контрольної груп переважала нетиреοїдна патологія, а саме цукровий діабет 2 типу, як основа госпіталізації (74,5% та 57,9%, відповідно). Друге та третє місце посіли хвороби щитоподібної залози, а саме аутоімунний тиреοїдит та вузловий зоб. Методи дослідження: загальноновизнані клінічні, антропомет-

**Relevance.** Studying the structure of comorbidity in the Chornobyl nuclear power plant (ChNPP) accident survivors is of great importance, since data on the disease prevalence of certain systems and individual nosological forms can contribute to improving the diagnosis and rational treatment.

**Objective.** To investigate possible relationships between normocalcemic hyperparathyroidism and insulin resistance in the ChNPP accident survivors.

**Methods.** The in-depth examination of 150 adult persons (108 males and 42 females – 72% and 28%, respectively) having got parathyroid disease was conducted within 2022–2025 study years. Parathyroid hyperplasia or parathyroid adenoma was revealed with diagnostic ultrasound. The ChNPP accident survivors (n = 51) and control group persons (n = 38) were the study sample. Age of the study subjects ranged from 37 to 72 years with average (58.73 ± 4.68) years. A separate group includes the Armed Forces of Ukraine servicemen (n = 61) aged from 23 to 58 years with (45.35 ± 2.79) years in average. Study sample was divided into the groups of the ChNPP accident survivors (main group I) and non-irradiated individuals (control – group II). Among the subjects of both groups the non-thyroid disease prevailed, namely type 2 diabetes mellitus, as the background of hospitalization (74.5% and 57.9%, respectively), while the second and third places were occupied by thyroid disease, namely autoimmune thyroiditis and nodular goiter. The applied research methods included the generally accepted clinical, anthropometric (body weight, height, body mass index

ричні (маса тіла, зріст, індекс маси тіла), інструментальні (ультразвукове дослідження), лабораторні (біохімічні, гормональні), статистичні (за допомогою професійного програмного пакета Statistica 12,0 for Windows (StatSoft, Inc.)).

**Результати.** Усі неінсулінові індекси інсулінорезистентності та метаболічного ризику демонстрували статистично значуще підвищення у групі з гіперпаратиреозом проти еупаратиреозу: індекс TyG 9,42 ± 0,72 проти 8,52 ± 0,81,  $p = 0,004$ ; індекс TyG-BMI 303,26 ± 19,14 проти 240,96 ± 17,02,  $p < 0,001$ ; індекс LAP 115,01 ± 18,05 проти 89,56 ± 13,25,  $p = 0,003$ ; індекс TyG-WC 755,91 ± 64,15 проти 657,67 ± 21,64,  $p = 0,001$ ; індекс HSI 49,61 ± 6,12 проти 38,7 ± 3,88,  $p < 0,001$ ; індекс TyG-WCtH 5,98 ± 0,89 проти 4,87 ± 1,03,  $p = 0,005$ . Серед коморбідних захворювань дисметаболічного генезу (церебральний атеросклероз, кардіосклероз, дисциркуляторна енцефалопатія, дисметаболічна кардіоміопатія) за допомогою багатфакторного аналізу отримано достовірне підтвердження негативного впливу нормокальцемічного гіперпаратиреозу саме на дисметаболічну кардіоміопатію у постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС ( $F = 16,21$ ,  $p = 0,0001$ ). Також було встановлено асоціативний зв'язок між вісцеропатичними проявами нормокальцемічного гіперпаратиреозу та метаболічно-асоційованою стеатотичною хворобою печінки у постраждалих на ЧАЕС ( $F=15,07$ ,  $p = 0,0001$ ).

**Висновки.** Саме підвищення неінсулінових індексів інсулінорезистентності стимулює глюконеогенез у печінці та призводить до печінкової інсулінорезистентності, метаболічно-асоційованої стеатотичної хвороби печінки, дисметаболічної кардіоміопатії. Таким чином, виникає необхідність включати в алгоритм обстеження осіб з нормокальцемічним гіперпаратиреозом неінсулінові індекси інсулінорезистентності, ультразвукову ехокардіографію та ультразвукове обстеження органів черевної порожнини, як метод скринінгу асоційованих станів, а саме інсулінорезистентності, дисметаболічної кардіопатії та метаболічно-асоційованої стеатотичної хвороби печінки.

measurement), instrumental (diagnostic ultrasound), laboratory (biochemical, hormonal), and statistical i.e. Statistica 12.0 for Windows (StatSoft, Inc.) ones.

**Results.** All the non-insulin indices of insulin resistance and metabolic risk demonstrated a statistically significant increase in the subjects with hyperparathyroidism versus euparathyroidism: TyG index 9.42 ± 0.72 versus 8.52 ± 0.81,  $p = 0.004$ ; TyG-BMI index 303.26 ± 19.14 versus 240.96 ± 17.02,  $p < 0.001$ ; LAP index 115.01 ± 18.05 versus 89.56 ± 13.25,  $p = 0.003$ ; TyG-WC index 755.91 ± 64.15 vs. 657.67 ± 21.64,  $p = 0.001$ ; HSI index 49.61 ± 6.12 vs. 38.7 ± 3.88,  $p < 0.001$ ; TyG-WCtH index 5.98 ± 0.89 vs. 4.87 ± 1.03,  $p = 0.005$ . Among comorbidities of dysmetabolic nature i.e. cerebral atherosclerosis, cardiosclerosis, dyscirculatory encephalopathy, dysmetabolic cardiomyopathy a reliable confirmation of the negative impact of normocalcemic hyperparathyroidism on dysmetabolic cardiomyopathy was established using multivariate analysis in the ChNPP accident survivors ( $F = 16.21$ ,  $p = 0.0001$ ). An associative relationship was also established between visceropathic manifestations of normocalcemic hyperparathyroidism and metabolic-associated steatotic liver disease in the ChNPP accident survivors ( $F=15.07$ ,  $p = 0.0001$ ).

**Conclusions.** Just the increase in non-insulin indices of insulin resistance does stimulate liver gluconeogenesis and leads to hepatic insulin resistance, metabolic-associated steatotic liver disease, and dysmetabolic cardiomyopathy. Thus, there is a need to include the non-insulin indices of insulin resistance, ultrasound echocardiography, and abdominal diagnostic ultrasound in the examination protocol for individuals with normocalcemic hyperparathyroidism as a tool of screening for associated conditions, namely insulin resistance, dysmetabolic cardiopathy, and metabolic-associated steatotic liver disease.

## ГЕНЕТИЧНИЙ ПОЛІМОРФІЗМ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗИ *Val16Ala-SOD2* ТА ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ ОКСИДАТИВНОГО ТА ПСИХОЛОГІЧНОГО СТРЕСУ У ДІТЕЙ – МЕШКАНЦІВ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ І ДІТЕЙ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ СТРЕСОВИХ ЖИТТЄВИХ ПОДІЙ У ПЕРІОД ВОЄННОГО ЧАСУ

Колпаков І. Є., Кондрашова В. Г., Позниш В. А., Леонович О. С.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

## GENETIC POLYMORPHISM OF SUPEROXIDE DISMUTASE *Val16Ala-SOD2* AND CHANGES IN INDICATORS OF OXIDATIVE AND PSYCHOLOGICAL STRESS IN CHILDREN – RESIDENTS OF RADIOACTIVELY CONTAMINATED TERRITORIES AND CHILDREN WHO WERE AFFECTED BY STRESSFUL LIFE EVENTS DURING THE WAR

Kolpakov I. Ye., Kondrashova V. H., Poznysz V. A., Leonovych O. S.

State Institution «National Scientific Centre for Radiation Medicine, Haematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Наявність ДНК-поліморфізмів генів ферментів антиоксидантної системи фактично визначає індивідуальну стійкість або чутливість до пошкоджувальної дії навколишнього середовища і до розвитку патологічних процесів

**Мета.** Визначення розподілу генотипів генетичного поліморфізму супероксиддисмутази марганцю та оцінка змін показників оксидативного та психологічного стресу у дітей – мешканців радіоактивно забруднених територій (РЗТ) і дітей, які зазнали стресових життєвих подій у період воєнного часу.

**Матеріали та методи.** Обстежені діти шкільного віку, мешканці радіоактивно РЗТ і діти, які зазнали впливу стресових життєвих подій у період воєнного часу. Всі обстежені не мали клінічних ознак патології органів дихання. Визначення генотипів за варіантом *Val16Ala-SOD2* проводили за методом поліморфної ланцюгової реакції (ПЛР) і наступним аналізом поліморфізму довжин рестрикційних фрагментів. Для визначення ознак оксидативного стресу та балансу в системі перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) – антиоксидантного захисту проведені дослідження вмісту в сироватці крові кінцевих продуктів ПОЛ, що реагують з тіобарбітуровою кислотою, дослідження активності ферментів-антиоксидантів – SOD, каталази, глутатіонпероксидази в

**Relevance.** The presence of DNA polymorphisms in the genes of antioxidant system enzymes actually determines individual resistance or sensitivity to the damaging effects of the environment and to the development of pathological processes.

**Objective.** To determine the distribution of genotypes of manganese superoxide dismutase genetic polymorphism and to assess changes in oxidative and psychological stress indicators in children living in radioactively contaminated areas (RCA) and children who have experienced stressful life events during wartime.

**Materials and methods.** School-age children, residents of RCAs and children who experienced stressful life events during wartime were examined. None of the examined children had clinical signs of respiratory pathology. Genotypes were determined using the *Val16Ala-SOD2* variant by the polymerase chain reaction (PCR) method and subsequent analysis of restriction fragment length polymorphism. To determine the signs of oxidative stress and the balance in the lipid peroxidation (LPO) system – antioxidant protection, studies were conducted on the content of LPO end products that react with thiobarbituric acid in blood serum, as well as on the activity of antioxidant enzymes –

еритроцитах. Для оцінки психологічного стресу була використана шкала Лемюра–Тесьє–Філіон (PSM-25).

**Результати.** При дослідженні генотипів та алелів поліморфізму *Val16Ala-SOD2* у дітей – мешканців РЗТ та дітей, які зазнали впливу стресових життєвих подій у період воєнного часу, відмічалася тенденція до зниження в порівнянні з референтними значеннями показників контрольної групи частоти генотипу *VV* і підвищення частоти генотипів *AV* та *AA*. При оцінці середніх показників маркерів оксидативного стресу в обох основних групах по відношенню до контролю, активність SOD була зниженою, вміст кінцевих продуктів ПОЛ в сироватці крові, активність каталази та глутатіонпероксидази мали тенденцію до підвищення. Дослідження середніх показників маркерів оксидативного стресу в генотипах за поліморфізмом *Val16Ala-SOD2* показало, що як у дітей – мешканців РЗТ так і у дітей, які зазнали впливу стресових життєвих подій у період воєнного часу, показник вмісту кінцевих продуктів ПОЛ в сироватці крові мав тенденцію до підвищення в осіб з генотипом *VV* і до зниження в осіб з генотипом *AA*. Психологічний стрес у всіх обстежених дітей має виражений, гетерогенний характер. Діти – мешканці РЗТ мали тенденцію до підвищеного стресу, а жіноча стать асоціювалася зі статистично значущим підвищенням рівня стресу.

**Висновки.** Аналіз показників антиоксидантного захисту показав у дітей з генотипом *VV* зниження активності SOD, тенденції до підвищення активності каталази і глутатіонпероксидази порівняно з дітьми з генотипом *AA*. Виявлені зміни маркерів оксидативного стресу свідчать про інтенсифікацію процесів вільнорадикального окислення в організмі і певні напруження функціонування ферментів-антиоксидантів, які здійснюють первинний захист від вільних радикалів. Зменшення активності SOD може вказувати на зниження антиоксидантної активності. Психологічний стрес у дітей, які зазнають впливу воєнних подій та потенційно травматичних чинників, має виражений, гетерогенний характер, на який мають вплив фонові екологічні фактори як можливі кумулятивні модератори психоемоційного стану.

SOD, catalase, and glutathione peroxidase in erythrocytes. The Lemur-Tessier-Fillion scale (PSM-25) was used to assess psychological stress.

**Results.** When studying the genotypes and alleles of *Val16Ala-SOD2* polymorphism in children living in the RZT and children who were exposed to stressful life events during wartime, there was a tendency to decrease in the frequency of the *VV* genotype and an increase in the frequency of the *AV* and *AA* genotypes compared to the reference values of the control group. When assessing the average indicators of oxidative stress markers in both main groups in relation to the control, SOD activity was reduced, the content of end products of lipid peroxidation in blood serum, catalase and glutathione peroxidase activity tended to increase. A study of the average oxidative stress marker indicators in genotypes for the *Val16Ala-SOD2* polymorphism showed that in both children living in the RZT and children who were exposed to stressful life events during wartime, the level of final POL products in serum tended to increase in individuals with the *VV* genotype and decrease in individuals with the *AA* genotype. Psychological stress in all examined children was pronounced and heterogeneous. Children living in the RZT tended to experience increased stress, and female gender was associated with a statistically significant increase in stress levels.

**Conclusions.** Analysis of antioxidant defence indicators showed that children with the *VV* genotype had reduced SOD activity and a tendency towards increased catalase and glutathione peroxidase activity compared to children with the *AA* genotype. The detected changes in oxidative stress markers indicate an intensification of free radical oxidation processes in the body and certain stresses on the functioning of antioxidant enzymes, which provide primary protection against free radicals. A decrease in SOD activity may indicate a decrease in antioxidant activity. Psychological stress in children exposed to war events and potentially traumatic factors is pronounced and heterogeneous in nature, influenced by background environmental factors as possible cumulative moderators of the psycho-emotional state.

## НЕЗЛОЯКІСНІ ЕНДОКРИННІ ПОРУШЕННЯ ТА СТАН ПРИЩИТОПОДІБНИХ ЗАЛОЗ У ДІТЕЙ, ЯКІ НАРОДИЛИСЯ ВІД БАТЬКІВ ОПРОМІНЕНИХ ВНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧАЕС

Копилова О.В., Камінський О.В., Афанасьєв Д.Є., Цвет Л.О., Колодій В.М.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України», м. Київ, Україна

## NON-MALIGNANT ENDOCRINE DISORDERS AND STATUS OF PARATHYROID GLANDS IN CHILDREN BORN OF PARENTS IRRADIATED AFTER THE CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

Kopylova O.V., Kaminskyi O.V., Afanasyev D.E., Tsvet L.O., Kolodiy V.M.

Satte Institution» National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Вступ.** Роль прищитоподібних залоз у патогенезі та перебігу багатьох захворювань ендокринної та інших систем набуває великого значення. Вітамін D та паратгормон не тільки регулюють обмін кальцію та фосфатів, підтримуючи їх необхідний рівень у крові, але й впливають на органи і тканини, виконуючи різноманітні функції, які забезпечують нормальне функціонування організму та попереджають виникнення багатьох захворювань.

**Мета.** Виявити взаємозв'язок між станом прищитоподібних залоз та деякими ендокринними порушеннями у дітей.

**Методи.** Проводилось клінічне, гормональне (визначався рівень 25-гідроксिवітаміну D, паратгормону у сироватці крові) та ультразвукове дослідження стану прищитоподібних залоз (ПЩЗ).

**Результати.** В групі дітей, народжених від батьків опроміненних внаслідок аварії на ЧАЕС, синдром дисфункції гіпоталамусу пубертатного періоду діагностовано у 95 (77,8 %), який супроводжувався ожирінням у 44 (36,1%), інсулінорезистентністю у 41 (33,6%). Захворювання щитоподібної залози виявлені у всіх дітей – дифузний нетоксичний зоб у 74 (60,7 %), ХАТ у 20 (16,4 %), вузловий зоб у 6 (4,9 %). В групі контролю синдром дисфункції гіпоталамусу діагностовано у 62 (66,6 %) дітей, який супроводжувався ожирінням у 20 (21,5 %), інсулінорезистентністю у 20 (21,5 %). Захворювання ЩПЗ виявлено практично у кожній другій дитині – дифузний нетоксичний зоб у 47 (59,5 %), ХАТ у 14 (15,0 %), вузловий зоб у 2 (7,6 %). Найчастіше виявлялась соматична патологія у вигляді вегето-судинної дис-

**Introduction.** The role of parathyroid glands in pathogenesis and course of many diseases of endocrine and other systems is of great importance. Vitamin D and parathyroid hormone not only regulate the metabolism of calcium and phosphates, maintaining their required level in the blood, but also affect organs and tissues, performing various functions that ensure normal functioning of the body and prevent the occurrence of many diseases.

**Objective.** To identify a relationship between the state of parathyroid glands and some endocrine disorders in children.

**Methods.** Clinical, hormonal i.e. serum assay of 25-hydroxyvitamin D and parathyroid hormone, parathyroid diagnostic ultrasound.

**Results.** In the group of children born to parents irradiated as a result of the Chornobyl NPP (ChNPP) accident, pubertal hypothalamic dysfunction syndrome was diagnosed in 95 cases (77.8%), accompanied by obesity in 44 (36.1%) and insulin resistance in 41 (33.6%) ones. Thyroid diseases were detected in all children, specifically the diffuse nontoxic goiter in 74 cases (60.7%), chronic autoimmune thyroiditis (CAT) in 20 (16.4%), and nodular goiter in 6 ones (4.9%) respectively. In the control group, hypothalamic dysfunction syndrome was diagnosed in 62 children (66.6%), accompanied by obesity in 20 cases (21.5%) and insulin resistance in 20 ones (21.5%). Thyroid disease was detected in almost every second child i.e. the diffuse nontoxic goiter in 47 of them (59.5%), CAT in 14 (15.0%), and nodular goiter in 2 cases (7.6%). The most

тонії – у 26,4 % дітей, дискінезії жовчовивідних шляхів – у 39,1 %, хронічних захворювань верхніх дихальних шляхів – у 47,6138 %, ознаки остеохондрозу хребта – у 16,2%. При гормональному обстеженні 89 дітей, народжених від батьків опроміненних внаслідок аварії на ЧАЕС виявили зниження вітаміну D по відношенню до групи контролю 79,8 % проти 63,4 % ( $p < 0,05$ ), що може свідчити про початкові порушення які можна трактувати як ризик розвитку захворювань ПЩЗ. Рівень паратгормону знаходився в межах норми в усіх групах обстежених і в середньому становив –  $34,90 \pm 2,19$  пг/мл. Аналіз результатів УЗД прищитоподібних залоз у 122 дітей, які народилися від опроміненних батьків виявив гіперплазію ПЩЗ у 98 (80,3%), аденому у 7 (5,7 %), мультинодулярна гіперплазію (5–7 залоз у однієї дитини) у 7 (5,7 %). В групі контролю (93 особи) гіперплазія ПЩЗ у 62 (66,7 %), аденома у 4 (4,3 %), мультинодулярна гіперплазія у 6 (6,4 %).

**Висновки.** Проведені наукові дослідження встановили, що хронічний автоімунний тиреоїдит з набутим гіпотиреозом (16,4 %), порушення жирового (36,1 %) та вуглеводного (33,6 %), обмінів, дисфункція гіпоталамусу пубертатного періоду (77,8 %) мають значущий взаємозв'язок з порушеннями в ПЩЗ, а саме – гіперплазією залоз та дефіцитом вітаміну D, що в майбутньому може призвести до появи гіперпаратиреозу.

common somatic disease was autonomous-vascular dystonia (26.4%), biliary dyskinesia (39.1%), chronic diseases of the upper respiratory tract (47.6%), and spinal osteochondrosis (16.2%) respectively. A decrease in vitamin D serum content was found in 79.8% of 89 children born to parents irradiated after the ChNPP accident compared to 63.4% in the control group ( $p < 0.05$ ), indicating initial disorders that can be interpreted as a risk of developing thyroid disease. Serum level of parathyroid hormone was within normal limits in all study groups being in average ( $34.90 \pm 2.19$ ) pg/ml. Parathyroid hyperplasia (diagnostic ultrasound data) was found in 98 cases (80.3%), adenoma in 7 (5.7%), and multinodular hyperplasia (5–7 glands in one child) in 7 (5.7%) among the 122 children born to irradiated parents. In the control group ( $n = 93$ ) parathyroid hyperplasia was found in 62 cases (66.7%), adenoma in 4 (4.3%), and multinodular hyperplasia in 6 ones (6.4%).

**Conclusions.** Chronic autoimmune thyroiditis with acquired hypothyroidism (16.4%), disorders of lipid (36.1%) and carbohydrate (33.6%) metabolism, and pubertal hypothalamic dysfunction (77.8%) have a significant relationship with parathyroid disorders, namely parathyroid hyperplasia and vitamin D deficiency, which in the future can lead to the onset of hyperparathyroidism.

## НЕЙРОФІЗІОЛОГІЧНІ МАРКЕРИ ВІДДАЛЕНИХ НАСЛІДКІВ ВПЛИВУ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У ЛІКВІДТОРІВ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС

Куц К. В., Перчук І. В., Крейніс Г. Ю., Антипчук К. Ю.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

## NEUROPHYSIOLOGICAL MARKERS OF LONG-TERM EFFECTS OF IONIZING RADIATION EXPOSURE IN CHORNOBYL ACCIDENT CLEAN-UP WORKERS

Kuts K. V., Perchuk I. V., Kreinis H. Yu., Antypchuk K. Yu.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Аварія на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС), що відбулася 26 квітня 1986 року, залишається найбільш масштабною техногенною катастрофою в історії людства і розглядається як багатofакторний деструктивний процес. У даному контексті особливого значення набуває вивчення нейропсихіатричних порушень, оскільки вже доведено, що головний мозок є чутливим до дії малих та середніх доз радіації.

**Мета роботи.** Визначити специфічні нейрофізіологічні маркери в учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції (УЛНА на ЧАЕС) у віддалений період.

**Матеріали та методи.** Проаналізовано дані нейрофізіологічних досліджень (комп'ютерна електроенцефалографія з викликаними потенціалами) УЛНА на ЧАЕС.

**Результати.** У ході дослідження було ідентифіковано специфічні електрофізіологічні маркери, що формують нейрофізіологічну основу патологій, пов'язаних із дією іонізуючого випромінювання у віддаленій перспективі. Зокрема, у УЛНА, які отримали дозу від 0,3 Зв і вище, зафіксовано латералізацією біоелектричних процесів. Ці зміни локалізуються переважно у лівій гемісфері (фронтально-парієтальні зони), що вказує на поєднаний радіаційно-індукований та віковий вплив на мозок. Такий процес супроводжується іритацією кортико-лімбічних структур, зокрема гіпокампу. Також виявлено порушення у роботі центральних ланок зорової аферентації. При дозах  $\geq 0,3$  Зв спостерігається гальмування підкіркового компонента P50 зорових викликаних потенціалів на реверсивний шаховий патерн (ЗВПШП) на фоні скорочення латентності

**Background.** The accident at the Chornobyl Nuclear Power Plant (ChNPP) on April 26, 1986 remains the largest technological disaster in human history and is considered a multifactorial destructive process. In this context, the study of neuropsychiatric disorders is of particular importance, since the brain has been shown to be highly sensitive to the effects of low and moderate doses of ionizing radiation.

**Objective.** To identify specific neurophysiological markers in Chornobyl accident clean-up workers (CACWs) in the late post-exposure period.

**Materials and Methods.** Data from neurophysiological examinations (computerized electroencephalography with evoked potentials) of CACWs were analyzed.

**Results.** The study identified specific electrophysiological markers forming the neurophysiological basis of pathologies associated with long-term exposure to ionizing radiation. In particular, CACWs who received radiation doses of 0.3 Sv and higher demonstrated lateralization of bioelectrical brain activity. These changes were predominantly localized in the left hemisphere (fronto-temporo-parietal region), suggesting a combined radiation-induced and age-related impact on the brain. This process is accompanied by irritation of cortico-limbic structures, particularly the hippocampus. Disturbances in the central components of visual afferentation were also detected. At doses  $\geq 0.3$  Sv, inhibition of the subcortical P50 component of pattern-reversal visual evoked potentials (VEPs) was observed, along with shortening of the latency of the cortical P200 component. A synergistic

коркового компонента P200 ЗВПШП. Зафіксовано синергію радіаційного та вікового чинників, що проявляється у зростанні амплітуди P100 ЗВПШП (потилична ділянка) та сповільненні P200 ЗВПШП (тім'яна ділянка). Характерно, що амплітуда когнітивного компонента P300 у потиличній зоні корелює з дозою (зменшується) та віком (збільшується), що свідчить про атиповий характер інволюційних процесів у ЦНС після радіаційного впливу. При проведенні нейрофізіологічних досліджень, виявлено специфічний «радіоцеребральний ефект» у проекції лівої задньо-скроневої ділянки (зона Верніке), що полягає у зменшенні амплітуди та зростанні латентності когнітивних слухових викликаних потенціалів P300. Ці зміни стають статистично значущими вже при дозах загального опромінення понад 50 мЗв і прогресують при досягненні доз 0,3–0,5 Зв. Таким чином, нейрофізіологічні показники можуть слугувати біологічними маркерами радіаційного ураження мозку ще на доклінічній стадії.

**Висновки.** Ключовим аспектом є радіаційно-асоційована кортико-лімбічна дисфункція з першочерговим залученням лівої домінантної півкулі та гіпокампу. На наш погляд, поєднання нейропсихологічного тестування з даними ЕЕГ, викликаних потенціалів головного мозку, нейровізуалізації (MRI, DTI, fMRI) та молекулярних маркерів може створити основу для об'єктивної оцінки радіаційно-асоційованих змін і прогнозування їх клінічного перебігу. Нейрофізіологічні маркери, зокрема параметри викликаних потенціалів, на сьогодні є найбільш перспективними інструментами для ранньої діагностики радіаційного ураження мозку на доклінічному етапі.

interaction of radiation and aging factors was also documented, manifested by an increase in the amplitude of the P100 VEP (occipital region) and prolongation of the P200 VEP latency (parietal region). Notably, the amplitude of the cognitive P300 component in the occipital region correlates with radiation dose (decreases) and age (increases), indicating an atypical pattern of involutinal processes in the central nervous system following radiation exposure. Neurophysiological investigations also revealed a specific «radiocerebral effect» in the projection of the left posterior temporal region (Wernicke's area), characterized by a decrease in amplitude and an increase in latency of cognitive auditory P300 evoked potentials. These changes become statistically significant at whole-body radiation doses above 50 mSv and progress further at doses of 0.3–0.5 Sv. Thus, neurophysiological parameters may serve as biological markers of radiation-induced brain injury even at the pre-clinical stage.

**Conclusions.** A key finding is radiation-associated cortico-limbic dysfunction, primarily involving the dominant left hemisphere and the hippocampus. In our view, the integration of neuropsychological testing with EEG data, brain evoked potentials, neuroimaging (MRI, DTI, fMRI), and molecular markers may provide a comprehensive basis for the objective assessment of radiation-associated brain changes and for predicting their clinical course. Neurophysiological markers, particularly evoked potential parameters, currently represent one of the most promising tools for the early detection of radiation-induced brain damage at the preclinical stage.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОТОН-ЗАХВАТНОЇ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ФОТОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА ЗЛОЯКІСНІ ТА НОРМАЛЬНІ КЛІТИНИ ЛЮДИНИ *IN VITRO*

Лавренчук Г. Й., Талько В. В., Малишевська Є. М., Чернишов А. В., Дмитрієва І. Р.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Іллєнка, 53, м. Київ, 04050, Україна

## EFFECTIVENESS OF PHOTON-TRAPPING BEAM TECHNOLOGY AND PHOTODYNAMIC EFFECT ON MALIGNANT AND NORMAL HUMAN CELLS *IN VITRO*

Lavrenchuk G. Y., Talko V. V., Malyshevska E. M., Chernyshov A. V., Dmytrieva I. R.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yuriy Illenko St., Kyiv, 04050, Ukraine

**Мета** роботи – дослідити структурні та морфофункціональні зміни в тест-системах проліферуючих та дормантних злоякісних (лінія А-549) і нормальних (фібробласти) клітинах людини при поєднанні рентгенівського випромінювання з гадолінійвмісним фотон-захватним агентом «Дотавіст» та червоного світла з фотосенсибілізатором «Фотолон».

**Методи** досліджень: метод перещеплюваної культури клітин нормальних фібробластів людини та злоякісних клітин людини, методи опромінення рентгенівськими променями, червоним світлом, цитологічні, статистичні.

**Результати.** Досліджено у порівняльному аспекті вплив двох бінарних променевих технологій окремо та у поєднанні, а саме: фотон-захватну дію на проліферуючі злоякісні (клітини недрібноклітинного раку легень людини – лінія А-549) та нормальні клітини (стовбурові фібробласти людини) при інкубації їх з гадолінійвмісним фотон-захватним агентом «Дотавіст», та фотодинамічний вплив у присутності фотосенсибілізатора «Фотолон». Встановлено за морфофункціональними характеристиками (кінетика росту, проліферативна та мітотична активність) вищезазначених тест-систем особливості впливу на злоякісні та нормальні клітини. Показано, що опромінення рентгенівськими променями в дозах 1,0, 5,0, та 10,0 Гр інактивувало 10, 46 та 80 % злоякісних клітин лінії А-549, відповідно. Опромінення клітин у дозі 1,0 Гр в присутності фотон-захватного агента «Дотавіст» (у концентрації 10 мкл/мл, що відповідає 2,97 мг гадотерової кислоти на 1 мл поживного середовища) на 50 % інгібує проліфе-

The **objectives** of the work were to investigate structural and morpho-functional changes in test systems of proliferating and dormant malignant (A-549 line) and normal (fibroblast) human cells when combined with X-ray radiation with the gadolinium-containing photon-capturing agent «Dotavist» and red light with the photosensitizer «Fotolon».

**Methods:** method of transfection culture of normal human fibroblast cells and malignant human cells, methods of irradiation with X-rays, red light, cytological, statistical.

**Results.** The influence of two binary radiation technologies separately and in combination was studied in a comparative aspect, namely: photon-capturing effect on proliferating malignant (human non-small cell lung cancer cells – line A-549) and normal cells (human stem fibroblasts) when incubated with the gadolinium-containing photon-capturing agent «Dotavist», and the photodynamic effect in the presence of the photosensitizer «Fotolon». The morphofunctional characteristics (growth kinetics, proliferative and mitotic activity) of the above-mentioned test systems have been used to determine the specific effects on malignant and normal cells. It has been shown that X-ray irradiation at doses of 1.0, 5.0, and 10.0 Gy inactivated 10, 46, and 80% of malignant cells of the A-549 line, respectively. Irradiation of cells at a dose of 1.0 Gy in the presence of the photon-capturing agent «Dotavist» (at a concentration of 10 µl/ml, which corresponds to 2.97 mg of gadoteric acid per 1 ml of nutrient medium) inhibits cell proliferation by 50%, suppressing their mitotic activity, and at a

рацію клітин, пригнічуючи їх мітотичну активність, а в дозі 10,0 Гр в присутності «Дотавіст» гальмує на 93 % ріст та поділ злоякісних клітин. Поєднання двох бінарних променевих технологій: червоного світла з «Фотолон» (у концентрації 10 мкл/мл 0,05 мг/мл) та рентгенівських променів у вищезазначених дозах з «Дотавіст» (у концентрації 10 мкл/мл), призводить до загибелі відповідно 64, 86 та 99 % злоякісних клітин. Встановлено, що культура нормальних фібробластів більш чутлива до впливу комплексу бінарних променевих дій; опромінення в дозі 10,0 Гр у присутності «Дотавіст» та «Фотолон» здатна інактивувати 100 % клітин. Поєднання фотон-захватного (рентгенівські промені в дозі 10 Гр одночасно з «Дотавіст» у концентрації 100 мкл/мл, що відповідає 29,7 мг гадотерової кислоти, та фотодинамічного (з «Фотолон») впливів призводять до загибелі 90 % злоякісних клітин у стані спокою (у стаціонарній фазі росту); 10 % клітин, що виживають, при подальшому культивуванні змінюють свою морфологію, генотип і адгезивність.

**Висновок.** Отримані результати за своєю суттю складають підґрунтя доклінічного етапу оцінки ефективності препаратів, що застосовуються у бінарних технологіях, зокрема, «Дотавісту» у випадку фотон-захватного методу бінарної променевої терапії та «Фотолону» для фотодинамічної терапії.

dose of 10.0 Gy in the presence of «Dotavist» inhibits the growth and division of malignant cells by 93%. The combination of two binary radiation technologies: red light with «Photolon» (at a concentration of 10 µl/ml 0.05 mg/ml) and X-rays in the above doses with «Dotavist» (at a concentration of 10 µl/ml), leads to the death of 64, 86 and 99% of malignant cells, respectively. It has been established that the culture of normal fibroblasts is more sensitive to the effects of a complex of binary radiation actions; irradiation at a dose of 10.0 Gy in the presence of «Dotavist» and «Fotolon» is able to inactivate 100% of cells. The combination of photon-capturing (X-rays at a dose of 10 Gy simultaneously with «Dotavist» at a concentration of 100 µl/ml, which corresponds to 29.7 mg of gadoteric acid, and photodynamic (with «Photolon») effects leads to the death of 90% of malignant cells in a resting state (in the stationary growth phase); 10% of surviving cells change their morphology, genotype, and adhesiveness during further cultivation.

**Conclusion.** The results obtained essentially form the basis for the preclinical stage of evaluating the effectiveness of drugs used in binary technologies, in particular, «Dotavist» in the case of the photon-capture method of binary radiotherapy and «Photolon» for photodynamic therapy.

## РІВЕНЬ УСПАДКОВАНИХ МУТАЦІЙ В МІНІСАТЕЛІТНИХ ЛОКУСАХ У ДІТЕЙ ВІД БАТЬКІВ-ЛІКВІДАТОРІВ КАТАСТРОФИ НА ЧАЕС

Лівшиць Л.А.<sup>1</sup>, Антипкін Ю.Г.<sup>2</sup>, Верню Жиль<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Інститут молекулярної біології і генетики НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup>ДУ «Всеукраїнський центр материнства та дитинства НАМН України», Київ, Україна

<sup>3</sup>IECH, Institut de Genetique et Microbiologie, France

## LEVEL OF INHERITABLE MUTATIONS IN MINISATELLITE LOCI IN CHILDREN OF PARENTS WHO WERE LIQUIDATORS OF THE CHROBYL NPP DISASTER

Livshits L.<sup>1</sup>, Antypkin Yu.<sup>2</sup>, Vergnaud Gilles<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Molecular Biology and Genetics of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>SI «All-Ukrainian Center for Motherhood and Childhood of the NAMS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>IECH, Institut de Genetique et Microbiologie, France

Одним з найбільш гострих питань, що хвилює вчених, лікарів і громадськість, є генетичні ефекти аварії на ЧАЕС та їхні наслідки для здоров'я наступних поколінь. В нашому дослідженні аналіз мутацій проводили у двох групах сімей (мати, батько, діти). У першу групу були відібрані 183 дитини (із 161 родини), що народилися від батьків-ліквідаторів (чоловіків) аварії на ЧАЕС. В контрольну групу увійшли 163 дитини (із 163 родин), батьки яких не мешкали і не працювали в зоні аварії на ЧАЕС. Оскільки дози та експозиції опромінення ліквідаторів встановити не було можливим, спирались на дані про характер і тривалість роботи досліджуваних ліквідаторів аварії на ЧАЕС. 89 % батьків-ліквідаторів працювали на ЧАЕС, починаючи з 1986 року решта – з 1987 року. 95 % – довгостроково працювали безпосередньо на території ЧАЕС, або в містах Чорнобиль та Прип'ять. 39 % – безпосередньо на атомній станції (пожежні, особи, що займалися очищенням реактора від радіоактивного забруднення, ремонтними роботами, будівництвом саркофага тощо); 14 % – на знешкодженні радіоактивних забруднень навколо міст Чорнобиль та Прип'ять; 14 % – задіяні в евакуації населення в місті Прип'ять (солдати, міліціонери); 12 % – водії, що здійснювали регулярні перевезення людей і вантажів між станцією та сусідніми містами; 7 % – будівельники; 5 % – адміністративні працівники та лікарі, що довгостроково працювали в районі ЧАЕС; 5 % – пілоти гелікоптерів. Було створено колекцію 549 зразків лейкоцитарної ДНК членів сімей ліквідаторів та

One of the most important issues that concerns scientists, doctors and the public is the genetic effects of the Chernobyl accident and their consequences for the health of future generations. In our study, mutation analysis was carried out in two groups of families (mother, father, children). The first group included 183 children (from 161 families) born to fathers-liquidators (males) of the Chernobyl accident. The control group included 163 children (from 163 families) whose parents did not live or work in the Chernobyl accident zone. Since it was not possible to establish the doses and radiation exposures of the liquidators, we relied on data the type of activity and duration of work for the liquidators of the Chernobyl accident under study. 89% of the father-liquidators worked at the Chernobyl accident starting in 1986, the rest – since 1987. 95% – worked directly on the territory of the Chernobyl NPP for a long time, or in the cities of Chernobyl and Prip'yat. 39% – directly at the nuclear power plant (firefighters, people involved in cleaning the reactor from radioactive contamination, repair work, construction of the sarcophagus, etc.); 14% – in the neutralization of radioactive contamination around the cities of Chernobyl and Prip'yat; 14% – involved in the evacuation of the population in the city of Prip'yat (soldiers, police officers); 12% – drivers who regularly transported people and goods between the station and neighboring cities; 7% – builders; 5% – administrative workers and doctors who worked in the Chernobyl NPP area for a long time; 5% – helicopter pilots. A collection of 549

489 зразка індивідів з контрольної групи. Аналіз успадкованих мутацій в мінісателітних локусах різних хромосомних ділянок проводили шляхом блот-гібридизації з <sup>32</sup>P-міченими ДНК-зондами. Для найбільш мутабельного локуса СЕВ1 у контрольній групі рівень мутацій склав 14%, а у дітей ліквідаторів сягав 15%. Така ж тенденція спостерігалася і для мутацій в локусах В6.7 і СЕВ 36. Проте, відмінності не були статистично вірогідними. Для оцінки диференційної чутливості стадій сперматогенезу до мутагенного впливу іонізуючої радіації аналізували такі підгрупи дітей: 1 – діти, які були зачаті в період, або не пізніше ніж через 2 місяці після роботи їхніх батьків на ЧАЕС; 2 – діти, зачаття яких відбулося більш ніж через 4 місяці після того, як закінчився термін перебування їхніх батьків на ЧАЕС. Отримані результати порівняльного аналізу свідчать про те, що у підгрупі дітей 1, сумарний рівень мутацій батьківського походження по всіх локусах був у 1,5 рази достовірно більший ( $p < 0,05$ ), ніж у підгрупі дітей 2. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що мутагенний ефект може мати місце лише на останніх стадіях сперматогенезу і не діє на стовбурові статеві клітини. Це узгоджується з результатами японських вчених щодо відсутності підвищення рівня успадкованих мутацій у нащадків, які народилися через декілька років після атомного бомбардування в Хіросімі і Нагасакі. Подальші повногеномні дослідження дозволять збагатити дані про наслідки аварії на ЧАЕС для здоров'я майбутніх поколінь.

leukocyte DNA samples from family members of liquidators and 489 samples from individuals from the control group was created. Analysis of inherited mutations in minisatellite loci of different chromosomal regions was performed by blot hybridization with <sup>32</sup>P-labeled DNA probes. For the most mutable locus СЕВ1 in the control group, the mutation rate was 14%, and in the children of liquidators it reached 15%. The same trend was observed for mutations in loci В6.7 and СЕВ36. However, the differences were not statistically significant. To assess the differential sensitivity of the spermatogenesis stages to the mutagenic effects of ionizing radiation, the following subgroups of children were analyzed: 1 – children who were conceived during, or no later than 2 months after their parents worked at the Chernobyl NPP; 2 – children whose conception occurred more than 4 months after the end of their parents' stay at the Chernobyl NPP. The results of the comparative analysis indicate that in subgroup 1 of children, the total level of paternal origin mutations across all loci was 1.5 times significantly higher ( $p < 0.05$ ) than in subgroup 2 of children. The results obtained allow us to conclude that the mutagenic effect can occur only at the last stages of spermatogenesis and does not affect stem germ cells. This is consistent with the results of Japanese scientists regarding the absence of an increase in the level of inherited mutations in offspring born several years after the atomic bombing of Hiroshima and Nagasaki. Further genome-wide studies will enrich the data on the consequences of the Chernobyl accident for the health of future generations.

## LONG-TERM EFFECTS OF RODENTS' CHRONIC IRRADIATION WITHIN CHERNOBYL EXCLUSION ZONE NATURAL POPULATIONS

Lypska A.I., Burdo O.O., Ryabchenko N.M., Sova O.A., Ganzha O.B.

*Institute for Nuclear Research, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Chernobyl accident-determined contamination of the environment by radionuclides led to a significant increase in background radiation, accumulation of radionuclides by biota, and consequently, exposure dose of organisms, primarily within the Chernobyl exclusion zone. From the first days after the accident until now a major problem is assessment of lesions in biological systems as a result of radionuclide contamination, which has become chronic in the exclusion zone. Rodents are widely used in radiobiological and radioecological studies as objects for ecotoxicity bioindication.

**Purpose** of this work – to investigate radiation-induced changes in the blood system of small rodents from Chernobyl exclusion zone using the complex of cytogenetic and hematologic parameters.

**Results.** It was established that mutation process in bone marrow cells is conserved in several generations of small rodents from the contaminated territories. Analysis of long-term research of red vole bone marrow cells showed an enhanced level of pathological

changes in cell division and differentiation. The level of binucleated caryocytes, cells with premature chromatin condensation, micronuclei (including multiple ones), and the level of apoptosis were significantly higher than that in the control group. The trend to time-dependent reduce of the cell number with micronuclei was shown. It probably may be caused by the reduction of radiation dose, and adaptive responses to chronic exposure in a number of generations. Hematological studies revealed significant changes in quantitative and qualitative parameters of peripheral blood. A significant violation of the leukocyte – erythrocyte ratio in animals from contaminated areas (compared with the control group) was shown. The biggest changes occur in red-cell hematopoiesis.

**Conclusions.** Quantitative and structural changes in the peripheral blood and hemopoietic organs is the result of a combined chronic exposure and complicated adaptive reactions formed in several generations of small rodents populations from the natural biotops of Chernobyl exclusion zone.

## LONG-TERM EFFECTS OF CHRONIC LOW-DOSE EXPOSURE ON THE HAEMATOPOIESIS OF WILD SMALL MAMMALS FROM THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

Lypska A., Rodionova N., Riabchenko N., Ganzha O., Burdo O.

*Institute for Nuclear research of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Introduction.** The study of the biological effects of chronic ionising radiation remains a relevant issue in contemporary radiation biology and medicine, as there is still no clear assessment of the long-term consequences of accidental radionuclide contamination in the Chornobyl Exclusion Zone (CEZ) for humans and biota. This highlights the need for further in-depth investigations of this important problem, the accumulation of experimental data on the condition of animals under chronic radiation exposure and the development of radiogenic effects.

**Objective.** To investigate the effects of chronic low-dose radiation exposure in field experiments on the bone marrow haematopoiesis (BMH) of small murine rodents from natural populations of the CEZ.

**Materials and Methods.** The study was carried out using indicator species of small murine rodents, *Myodes glareolus* and *Apodemus flavicollis*, applying radiometric, gamma- and beta-spectrometric, hematological, cytogenetic, and statistical methods.

**Results.** Based on the analysis and generalisation of long-term research, an assessment of the indicator species of small murine rodents from the CEZ was performed according to the parameters of the BMH system and the levels of chromosomal instability in somatic cells. It was established that chronic exposure to ionising radiation leads to significant alterations in the BMH, including disturbances in cell proliferation, differentiation, and maturation within various hematopoietic pools, as well as increased geno- and cyto-

toxic damage to bone marrow cells. Considerable variability of the studied parameters was registered, indicating heterogeneity in the response of wild animals to chronic radiation exposure. It should be noted that, alongside pathological changes, compensatory-adaptive reactions of the blood system were observed in animals, associated with the expansion of hematopoietic pools due to the formation of extramedullary hematopoietic foci in the spleen, increased thymus mass, and a parallel rise in lymphocyte counts in peripheral blood. The consequences of irradiation in animals depend on a combination of external and internal factors, including changes in the radioecological characteristics of populations, individual reserve capacities, and transgenerational radiation-induced genomic instability, which may manifest under conditions of combined chronic low-intensity radiation exposure and adverse environmental factors.

**Conclusion.** Under chronic radiation exposure, predominantly with an internal component, parallel processes occur in the hematopoietic system: destabilisation of certain hematopoietic lineages alongside the development of compensatory and restorative responses involving peripheral hematopoietic organs. Long-term field monitoring across multiple generations of chronically exposed animals is required to observe the formation of adaptive responses and potential evolutionary changes, thereby providing a basis for adequate risk assessment and prognostic evaluation of chronic low-dose radiation effects on mammals.

## СТРУКТУРНІ ЗМІНИ ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ У ХВОРИХ ЗІ ЗЛОЯКІСНИМИ НОВОУТВОРЕННЯМИ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ, ЯК ПОСТРАЖДАЛИ ВІД АВАРІЇ НА ЧАЕС

Литвиненко О. О., Дем'янов В. О.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

## STRUCTURAL CHANGES OF THE THYROID GLAND IN PATIENTS WITH MALIGNANT TUMORS OF MAMMARY GLAND WHO SUFFERED FROM THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

Lytvynenko O. O., Demianov V. O.

State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Доброякісні захворювання щитоподібної залози (ЩЗ) можуть бути задіяні в розвитку і прогресуванні раку молочної залози (РМЗ), а дисфункція ЩЗ викликана ними перевертає увагу в усьому світі і особливо у пацієнтів, які постраждали від аварії на ЧАЕС.

**Мета** дослідження. Вивчити характер структурних змін щитоподібної залози у хворих зі злоякісними новоутвореннями, які постраждали від аварії на ЧАЕС.

**Методи.** Обстежено 96 хворих зі злоякісними новоутвореннями молочної залози (МЗ) віком 32–75 років з різними стадіями розповсюдженості пухлинного процесу. Ехографічне дослідження структури ЩЗ проводили на УЗ-апаратах Nemio XG SSA580, № 2B730815 ENA (фірма Toshiba Medical Systems corporation), Nemio XG SSA580, № 2B730815 RU, № E7B1124930 (фірма Toshiba Medical Systems corporation) лінійними датчиками з частотою 10 МГц.

**Результати.** За результатами проведеного УЗ-дослідження структурні зміни в ЩЗ діагностовані у 78 (81,2 %) пацієнток, які звернулись за допомогою до клініки з приводу різних форм РМЗ. Із них до обстеження в умовах клініки 69 (71,9 %) хворих раніше не знали про наявність патологічних змін в ЩЗ. Вузлові зміни в ЩЗ діагностовано у 51 (53,1 %) пацієнтки. Із них у 9 (9,4 %) пацієнток виявлено вузловий зоб в поєднанні з хронічним аутоімунним тиреоїдитом (ХАІТ). Вузловий зоб діагностовано у 33 (34,4 %) пацієнток. Багатовузловий зоб виявлено у 9 (9,4 %)

**Relevance.** Benign diseases of thyroid gland (TG) may be involved in the development and progression of breast cancer (BC), and thyroid dysfunction caused by them is attracting attention worldwide, especially in patients affected by the Chernobyl accident.

**Purpose** of the study. To study the nature of structural changes in the thyroid gland in patients with malignant neoplasms who suffered from the Chernobyl accident.

**Methods.** 96 patients with malignant tumors of mammary gland (MG) aged 32–75 years with different stages of tumor progression were examined. Ultrasound examination of the thyroid structure was performed on ultrasound devices Nemio XG SSA580, No. 2B730815 ENA (Toshiba Medical Systems Corporation), Nemio XG SSA580, No. 2B730815 RU, No. E7B1124930 (Toshiba Medical Systems Corporation) with linear sensors with a frequency of 10 MHz.

**Results.** According to the results of the ultrasound examination, structural changes in the thyroid gland were diagnosed in 78 (81.2 %) patients who sought help at the clinic for various forms of breast cancer. Of these, 69 (71.9 %) patients were previously unaware of the presence of pathological changes in the thyroid gland before the examination in the clinic. Nodular changes in the thyroid gland were diagnosed in 51 (53.1%) patients. Of these, 9 (9.4%) patients had nodular goiter in combination with autoimmune thyroiditis (AIT). Nodular goiter was diagnosed in 33 (34.4 %) patients. Multinodular goiter was detected in 9 (9.4 %) women. Cystic changes in the thyroid gland were detected in 5 (5.2 %) patients, areas of mixed

жінок. Кістозні зміни в ЩЗ виявлені у 5 (5,2 %) пацієнток, ділянки змішаної ехогенності – дрібні гідрофільні ділянки та дрібні фіброзно змінені ділянки виявлені у 7 (7,3 %) пацієнток, хронічний тиреоїдит у 1 (1,04 %) хворої, ХАІТ у 6 (6,2 %) хворих, дифузний зоб у 3 (3,1 %) хворих, гіперплазія прищитоподібної залози діагностована у 4 (4,2 %) хворих. Розширена резекція лівої частки ЩЗ в анамнезі у 1 (1,04 %) хворої. Структурні зміни в ЩЗ при УЗ дослідженні не виявлені у 18 (18,7 %) хворих на РМЗ. У 17 (17,2 %) хворих, де діагностовано люмінальний А фенотип РМЗ у всіх виявлені структурні зміни в ЩЗ. Хворих з люмінальним В HER2/neu негативним фенотипом в дослідженні було 52 особи, що становить 54,2 %. У 43 (44,8 %) було діагностовано структурні зміни в ЩЗ. Патологічні зміни у ЩЗ не виявлені у 9 (9,4 %) хворих даної підгрупи. З люмінальним В HER2/neu позитивним фенотипом в нашому дослідженні було 2 (2,1 %) пацієнтки. У 1 (1,04 %) із них патологічні зміни в ЩЗ не виявлені, і у 1 (1,04 %) діагностовано ХАІТ. Тричі негативний молекулярно-генетичний фенотип РМЗ було діагностовано у 19 (19,8 %) хворих. Структурні зміни в ЩЗ виявлені у 14 (14,6 %) хворих. Структурні зміни в ЩЗ не виявлено у 5 (5,2 %) пацієнток. HER2/neu позитивний молекулярно-генетичний фенотип діагностовано 6 (6,2 %) хворих. Структурні зміни ЩЗ діагностовано у 3 (3,1 %) хворих. У 3 (3,1 %) хворих патологічні зміни в ЩЗ при УЗД не виявлені.

**Висновок.** Структурні зміни в ЩЗ у пацієнтів хворих на РМЗ, що вважаються потерпілими від аварії на ЧАЕС діагностовано у 81,2 %. У структурі виявлених патологічних змін в ЩЗ переважну більшість – 53,1 % займають вузлові утворення.

echogenicity – small hydrophilic areas and small fibrous areas were detected in 7 (7.3 %) patients, chronic thyroiditis in 1 (1.04 %) patient, AIT in 6 (6.2 %) patients, diffuse goiter in 3 (3.1 %) patients, hyperplasia of the parathyroid gland was diagnosed in 4 (4.2 %) patients. Extended resection of the left lobe of the thyroid gland in the anamnesis in 1 (1.04 %) patient. Structural changes in the thyroid gland during ultrasound examination were not detected in 18 (18.7 %) patients with breast cancer. In 17 (17.2 %) patients, where the luminal A phenotype of breast cancer was diagnosed, structural changes in the thyroid gland were detected in all. There were 52 patients with luminal B HER2/neu negative phenotype in the study, which is 54.2 %. Structural changes in the thyroid gland were diagnosed in 43 (44.8 %). Pathological changes in the thyroid gland were not detected in 9 (9.4 %) patients of this subgroup. There were 2 (2.1 %) patients with luminal B HER2/neu positive phenotype in our study. Pathological changes in the thyroid gland were not detected in 1 (1.04 %) of them, and 1 (1.04 %) was diagnosed with AIT. Triple negative molecular genetic phenotype of breast cancer was diagnosed in 19 (19.8 %) patients. Structural changes in the thyroid gland were detected in 14 (14.6 %) patients. Structural changes in the thyroid gland were not detected in 5 (5.2 %) patients. HER2/neu positive molecular genetic phenotype was diagnosed in 6 (6.2 %) patients. Structural changes in the thyroid gland were diagnosed in 3 (3.1 %) patients. In 3 (3.1 %) patients, no pathological changes in the thyroid gland were detected during ultrasound.

**Conclusion.** Structural changes in the thyroid gland in patients with breast cancer who are considered victims of the Chernobyl accident were diagnosed in 81.2 %. In the structure of detected pathological changes in the thyroid gland, the vast majority – 53.1 % - are nodular formations.

## ВПЛИВ НЕОАД'ЮВАНТНОЇ ХІМІОТЕРАПІЇ НА ПОКАЗНИКИ ПРОЛІФЕРАТИВНОЇ АКТИВНОСТІ ПУХЛИН У ХВОРИХ НА РАК МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ, ЯКІ ПОСТРАЖДАЛИ ВІД АВАРІЇ НА ЧАЕС

Литвиненко О. О., Дем'янов В. О., Гальчак І. В.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

## INFLUENCE OF NEOADJUVANT CHEMOTHERAPY ON INDICATORS OF TUMOR PROLIFERATIVE ACTIVITY IN PATIENTS WITH BREAST CANCER WHO SUFFERED FROM THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

Lytvynenko O. O., Demianov V. O., Halchak I. V.

State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Неоад'ювантна хіміотерапія (НХТ), яка використовувалась спочатку при місцево-поширених формах раку молочної залози (РМЗ), але все частіше застосовується у хворих з операбельними пухлинами.

**Мета** дослідження. Оцінити вплив неоад'ювантної хіміотерапії на показники проліферативної активності пухлин у хворих на рак молочної залози, які постраждали від аварії на ЧАЕС.

**Методи.** Визначення індексу проліферативної активності Ki-67 виконували імуногістохімічним методом з використанням стандартних наборів фірми DAKO (Denmark).

**Результати.** Зниження показників Ki-67, як результат виконання неоад'ювантної цитостатичної терапії відмічено у 73 хворих, що відповідає 76 % із 96 хворих, котрі проходили неоад'ювантну поліхіміотерапію. Ще у 15 (15,6 %) після проведення неоад'ювантної терапії відмічена повна клінічна і патоморфологічна регресія пухлини. У 1 (1,04 %) хворої діагностовано пухлину в категорії  $T_{in situ}$ , таким чином, можна вважати, що повну клінічну і морфологічну регресію пухлини отримано у 16 (16,7 %) хворих. Отже, позитивна динаміка на проведення неоад'ювантної цитостатичної поліхіміотерапії відмічена у 88 (92,7 %) хворих, які увійшли в дослідження. Стабілізація показників Ki-67 відмічена у 3 (3,1 %) хворих і підвищення рівня проліферативної активності пухлинних клітин відмічено у 5 (5,2 %) пацієнтів. Як результат позитивної дії неоад'ювантної цитостатичної терапії у хворих, де відмічено підвищення значень проліферативної активності, від-

**Relevance.** Neoadjuvant chemotherapy (NAC), which was originally used for locally advanced forms of breast cancer (BC), is increasingly being used in patients with operable tumors.

**Purpose** of the study. To assess the impact of neoadjuvant chemotherapy on tumor proliferative activity in breast cancer patients affected by the Chernobyl accident.

**Methods.** Determination of the Ki-67 proliferative activity index was performed by immunohistochemical method using standard kits from DAKO (Denmark).

**Results.** A decrease in Ki-67 as a result of neoadjuvant cytostatic therapy was observed in 73 patients, which corresponds to 76 % of 96 patients who underwent neoadjuvant polychemotherapy. In another 15 (15.6 %) patients, complete clinical and pathomorphological regression of the tumor was observed after neoadjuvant therapy. In 1 (1.04 %) patient, a tumor in the  $T_{in situ}$  category was diagnosed, thus, it can be assumed that complete clinical and morphological regression of the tumor was obtained in 16 (16.7 %) patients. Thus, positive dynamics of neoadjuvant cytostatic polychemotherapy were observed in 88 (92.7 %) patients who were included in the study. Stabilization of Ki-67 indicators was observed in 3 (3.1 %) patients and an increase in the level of proliferative activity of tumor cells was observed in 5 (5.2 %) patients. As a result of the positive effect of neoadjuvant cytostatic therapy in patients with increased proliferative activity, a decrease in the size of the primary tumor

мічено зменшення розмірів первинної пухлини. У 4 (4,2 %) хворих зменшення розмірів первинної пухлини відбулося в межах стадії, у 1 (1,04 %) при морфологічному післяопераційному дослідженні встановлено зміну критерія  $T_2$  до  $T_{is}$ . У 1 (1,04 %) хворої стадія розповсюдженості пухлинного процесу до НХТ відповідала значенням  $T_4N_1M_0$ , після неоад'ювантної терапії значенням  $T_2N_0M_0$ . В підгрупі хворих, де зафіксовано зниження показників проліферативної активності в результаті проведення НХТ, воно відбулося у 2,3 раза. На початку лікування показники Ki-67 були в межах 35,5 %, після проведення НХТ цифрові значення індексу проліферативної активності були на рівні 15,4 %.

**Висновок.** За даними значень проліферативної активності пухлин молочної залози, позитивна динаміка на проведення неоад'ювантної цитостатичної поліхіміотерапії зафіксована у 92,7 % хворих, а із них у 16,7 % пацієнтів діагностована повна клінічна і патоморфологічна регресія пухлини.

was noted. In 4 (4.2 %) patients, the decrease in the size of the primary tumor occurred within the stage, in 1 (1.04 %) during the morphological postoperative study, a change in the  $T_2$  criterion to  $T_{is}$  was established. In 1 (1.04 %) patient, the stage of the tumor process before NAC corresponded to the values  $T_4N_1M_0$ , after neoadjuvant therapy to the value  $T_2N_0M_0$ . In the subgroup of patients where a decrease in proliferative activity was recorded as a result of NAC, it occurred 2.3 times. At the beginning of treatment, Ki-67 indicators were within 35.5 %, after NAC, the digital values of the proliferative activity index were at the level of 15.4 %.

**Conclusion.** According to the values of proliferative activity of breast tumors, positive dynamics for neoadjuvant cytostatic polychemotherapy was recorded in 92.7 % of patients, and of these, 16.7 % of patients were diagnosed with complete clinical and pathomorphological regression of the tumor.

## МОЛЕКУЛЯНО-ГЕНЕТИЧНІ ФЕНОТИПИ РАКУ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ ТА ЇХ ПРОЛІФЕРАТИВНА АКТИВНІСТЬ У ПАЦІЄНТІВ, ЯКІ ПОСТРАЖДАЛИ ВІД АВАРІЇ НА ЧАЕС

Литвиненко О. О., Дем'янов В. О., Гальчак І. В.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

## MOLECULAR-GENETIC PHENOTYPES OF BREAST CANCER AND THEIR PROLIFERATIVE ACTIVITY IN PATIENTS WHO SUFFERED FROM THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

Lytvynenko O. O., Demianov V. O., Halchak I. V.

State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Молекулярно-генетичні дослідження останніх років дали можливість ідентифікувати декілька молекулярно-генетичних підтипів раку молочної залози (РМЗ), які відрізняються особливістю перебігу і прогнозу. Індекс проліферативної активності Ki-67, один із маркерів проліферації і показник її кількісної оцінки.

**Мета** дослідження. Вивчити характер молекулярно-генетичні фенотипи РМЗ та їх проліферативної активності у хворих, які постраждали від аварії на ЧАЕС.

**Методи.** Визначення молекулярно-генетичного фенотипу РМЗ відбувалось на підставі визначення експресії рецепторів естрогенів (RE) прогестерону (RP), білка Her 2/neu, індекса проліферації Ki-67, виконували імуногістохімічним методом з використанням стандартних наборів фірми DAKO (Denmark). Ступінь експресії Her 2/neu визначали на основі фарбування мембран пухлинних клітин. У випадках експресії Her 2/neu «++» і «+++» матеріал направляли для додаткового дослідження і уточнення рівня експресії з використанням FISH методу (Fluorescence in situ hybridization – флуоресцентна in situ гібридизація), відповідно до сучасних рекомендацій.

**Результати.** Аналіз показників молекулярно-генетичних фенотипів у хворих на РМЗ, які постраждали від аварії на ЧАЕС, показав, що люмінальний А фенотип діагностовано у 17 (17,7 %) хворих, які були в дослідженні. Люмінальний В Her2/neu негативний фенотип виявлено у 52 (54,2 %) пацієнтів. Люмінальний В Her2/neu позитивний фенотип було діагностовано у 2 (2,1 %) хворих даної групи. Таким чином люмінальний В фенотип виявлено у 54 (56,2 %) пацієнтів, які постраждали від аварії на ЧАЕС. Тричі

**Relevance.** Molecular genetic studies in recent years have made it possible to identify several molecular genetic subtypes of breast cancer (BC), which differ in their course and prognosis. Ki-67 proliferative activity index, one of the markers of proliferation and an indicator of its quantitative assessment.

**Purpose** of the study. To study the nature of the molecular genetic phenotype of breast cancer and their proliferative activity in patients affected by the Chernobyl accident.

**Methods.** Determination of the molecular genetic phenotype of breast cancer was based on the expression of estrogen receptors (RE) and progesterone (RP), Her 2/neu protein, and Ki-67 proliferation index by immunohistochemical method using standard kits from DAKO (Denmark). The degree of Her 2/neu expression was determined based on staining of tumor cell membranes. In cases of Her 2/neu expression «++» and «+++», the material was sent for additional research and clarification of the level of expression using the FISH method (Fluorescence in situ hybridization), in accordance with modern recommendations.

**Results.** Analysis of molecular genetic phenotypes in patients with breast cancer who suffered from the Chernobyl accident showed that the luminal A phenotype was diagnosed in 17 (17.7 %) patients who were in the study. The luminal B Her2/neu negative phenotype was detected in 52 (54.2 %) patients. The luminal B Her2/neu positive phenotype was diagnosed in 2 (2.1 %) patients of this group. Thus, the luminal B phenotype was detected in 54 (56.2 %) patients who suffered from the

негативний фенотип РМЗ діагностовно у 19 (19,8 %) хворих, та Her2/neu позитивний фенотип виявлено у 6 (6,2 %) хворих. Показники проліферативної активності злоякісних новоутворень у хворих з люмінальним А фенотипом знаходились в межах 12,7 %. У хворих із люмінальним В Her2/neu негативним фенотипом, значення проліферативної активності були в межах 38 %. У хворих з люмінальним В Her2/neu позитивним фенотипом значення Ki-67 становили 45 %. Таким чином, значення проліферативної активності пухлин молочної залози у хворих з люмінальними В фенотипами, які постраждали від аварії на ЧАЕС, дорівнювали 41,5 %. Значення показників проліферативної активності тричі негативних злоякісних новоутворень (ЗН) молочної залози дорівнювали 55,6 %. Her2/neu позитивні форми РМЗ мали значення Ki-67 – 32,5 %. За вітчизняними і закордонними даними люмінальний А, люмінальний В, Her2/neu позитивний і тричі негативний фенотип РМЗ становить 40–60 %, 20–30 %, 10–20 % та 15–20 % відповідно. В нашому дослідженні це співвідношення становило 17,7 %, 56,2 %, 6,2 %, 19,9 % відповідно.

**Висновок.** Порівнюючи отримані нами дані визначення молекулярно-генетичного фенотипу РМЗ у пацієнтів, які постраждали від аварії на ЧАЕС з даними генотипування великого об'єму вибірок у вітчизняних і закордонних популяціях відмічаються суттєві відмінності за частотою з якою вони діагностуються.

Chernobyl accident. The triple negative breast cancer phenotype was diagnosed in 19 (19.8 %) patients, and the Her2/neu positive phenotype was detected in 6 (6.2 %) patients. The proliferative activity indicators of malignant neoplasms in patients with the luminal A phenotype were within 12.7 %. In patients with luminal B Her2/neu negative phenotype, the values of proliferative activity were within 38 %. In patients with luminal B Her2/neu positive phenotype, the values of Ki-67 were 45 %. Thus, the values of proliferative activity of breast tumors in patients with luminal B phenotypes who suffered from the Chernobyl accident were 41.5 %. The values of proliferative activity indicators of triple-negative malignant neoplasms (MN) of the breast were 55.6 %. Her2/neu positive forms of breast cancer had a Ki-67 value of 32.5 %. According to domestic and foreign data, the luminal A, luminal B, Her2/neu positive and triple-negative phenotype of breast cancer is 40–60 %, 20–30 %, 10–20 % and 15–20 %, respectively. In our study, this ratio is 17.7 %, 56.2 %, 6.2 %, 19.9 %, respectively.

**Conclusion.** Comparing the data obtained by us for determining the molecular genetic phenotype of breast cancer in patients who suffered from the Chernobyl accident with the data from genotyping a large volume of samples in domestic and foreign populations, significant differences in the frequency with which they are diagnosed are noted.

## ПОКАЗНИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ У ХВОРИХ НА РАК МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ, ЯКІ ПОСТРАЖДАЛИ ВІД АВАРІЇ НА ЧАЕС

Литвиненко О. О., Дем'янов В. О., Гальчак І. В.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

### INDICATORS OF FUNCTIONAL ACTIVITY OF THE THYROID GLAND IN BREAST CANCER PATIENTS WHO SUFFERED FROM THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

Lytvynenko O. O., Demianov V. O., Halchak I. V.

State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Різні порушення гормонального статусу у жінок з тиреоїдною патологією можуть призвести до зміни рецепторної системи в молочній залозі (МЗ) і розвитку в них гіперплазій. Навіть субклінічні форми порушень тиреоїдного стану можуть викликати патологічні зміни в лобулярно-альвеолярних структурах МЗ.

**Мета** дослідження. Вивчити характер функціональних змін в щитоподібній залозі у хворих зі злоякісними новоутвореннями в молочних залозах, які постраждали від аварії на ЧАЕС.

**Методи.** Обстежено 96 хворих зі злоякісними новоутвореннями МЗ зі злоякісними новоутвореннями в МЗ віком 32–75 років з різними стадіями пухлинного процесу. Функціональний стан щитоподібної залози (ЩЗ) вивчали шляхом вивчення рівня вільної фракції тиреоїдного гормону – тироксину, тиреотропного гормону (ТТГ) і показників титру антитіл до тиреоїдної пероксидази (АТ-ТПО) в периферичній венозній крові імуногістохімічним методом з електрохемілюмінесцентною детекцією.

**Результати.** Функціональні зміни у ЩЗ діагностовано у 28 хворих на рак молочної залози (РМЗ), що становить 29,2 %. Показники вільного тироксину вище зазначеного нормального рівня було виявлено у 1 (1,04 %) хворої у якої діагностовано вузловий зоб, пухлина мала люмінальний В HER2/neu негативний фенотип РМЗ, Ki-67 складав 30 %. Зміни показників ТТГ, які перевищували верхню межу загальноприйнятої норми, відмічено у 8 (8,3 %) хворих. У 2 (2,1 %) із них діагностована гіперплазія прищитоподібної залози, у 3 (3,1 %) – вузловий зоб, у 1 (1,04 %) хворої вузловий зоб в поєднанні з ХАІТ і 1 (1,04 %) хворої дифузний зоб, та у 1 (1,04 %) хворої патологічні зміни в ЩЗ не виявлені. Стосовно даних молекулярних генетичного типування, то у 3 (3,1 %) хворих діагностовано люмінальний А фенотип, у 3 (3,1 %) люмінальний В HER2/neu негативний фенотип і у 2 (2,1 %) хворих тричінегативний фенотип РМЗ. Показники індексу проліферативної активності знаходились у них в межах 47,5 %. У 1 (1,04 %) хворої показник ТТГ був нижче нижньої межі норми і діагностовано хронічний тиреоїдит, люмінальний В HER2/neu негативний фенотип РМЗ, Ki-67 дорівнював 30 %. За даними Національної академії клінічної біохімії США, рівень ТТГ, який перевищує 2,5 мОд/л, може бути предиктором розвитку гіпотиреозу. Беручи до уваги вищезазначене, ми окремо проаналізували дані пацієнтів з РМЗ, у яких рівень ТТГ визначався вище 2,5 мОд/л. В нашому дослідженні таких хворих було 20, що становить 20,8 % від загальної кількості хворих. Цифрові значення АТ-ТПО вище норми були зареєстровані у 18 (18,7 %) пацієток. Даний показник свідчить про наявність аутоімунних змін в ЩЗ, тобто про наявність аутоімунного тиреоїдиту. Цифрові значення даного показника знаходилися в межах від 55,3 МО/мл до 1000 МО/мл, при нормальних значеннях його до 34,0 МО/мл. В середньому він становив 333 МО/мл і перевищував верхню межу нормальних значень в 9,8 раза, а інколи навіть у 29,4 раза. Тільки у 2 (2,1 %) пацієтки не мали структурних змін в ЩЗ, але мали значно підвищений показник АТ-ТПО. У решти 16 (16,7 %) пацієток виявлені структурні зміни в ЩЗ при УЗД.

**Relevance.** Various disorders of hormonal status in women with thyroid pathology can lead to changes in the receptor system in the mammary gland (MG) and the development of hyperplasia in them. Even subclinical forms of thyroid disorders can cause pathological changes in the lobular-alveolar structures of the MG.

**Purpose** of the study. To study the nature of functional changes in the thyroid gland in patients with malignant neoplasms in the mammary glands who suffered from the Chernobyl accident.

**Methods.** 96 patients with malignant neoplasms of the MG aged 32–75 years with various stages of the tumor process were examined. The functional state of the thyroid gland (TG) was studied by examining the level of the free fraction of the thyroid hormone – thyroxine, thyroid-stimulating hormone (TSH) and the titer of antibodies to thyroid peroxidase (ATPO) in peripheral venous blood by immunohistochemical method with electrochemiluminescent detection.

**Results.** Functional changes in the thyroid gland were diagnosed in 28 patients with breast cancer (BC), which is 29.2 %. Free thyroxine levels above the specified normal level were detected in 1 (1.04 %) patient who was diagnosed with nodular goiter, the tumor had a luminal B HER2/neu negative BC phenotype, Ki-67 was 30 %. Changes in TSH levels that exceeded the upper limit of the generally accepted norm were observed in 8 (8.3 %) patients. In 2 (2.1 %) of them, hyperplasia of the parathyroid gland was diagnosed, in 3 (3.1 %) – nodular goiter, in 1 (1.04 %) patient, nodular goiter in combination with AIT and in 1 (1.04 %) patient, diffuse goi-

ter, and in 1 (1.04 %) patient, pathological changes in the thyroid gland were not detected. Regarding molecular genetic typing data, 3 (3.1 %) patients were diagnosed with luminal A phenotype, 3 (3.1 %) with luminal B HER2/neu negative phenotype, and 2 (2.1 %) with triple-negative BC phenotype. Their proliferative activity index was within 47.5 %. In 1 (1.04 %) patient, TSH was below the lower limit of normal and chronic thyroiditis was diagnosed, luminal B HER2/neu negative BC phenotype, Ki-67 was 30 %. According to the National Academy of Clinical Biochemistry of the USA, a TSH level exceeding 2.5 mU/l may be a predictor of hypothyroidism. Taking into account the above, we separately analyzed the data of BC patients in whom the TSH level was determined above 2.5 mU/l. In our study, there were 20 such patients, which is 20.8 % of the total number of patients. Digital values of ATPO above the norm were registered in 18 (18.7 %) patients. This indicator indicates the presence of autoimmune changes in the thyroid gland, that is, the presence of autoimmune thyroiditis. The digital values of this indicator ranged from 55.3 IU/ml to 1000 IU/ml, with normal values up to 34.0 IU/ml. On average, it was 333 IU/ml and exceeded the upper limit of normal values by 9.8 times, and sometimes even by 29.4 times. Only 2 (2.1 %) patients had no structural changes in the thyroid gland, but had a significantly increased ATPO index. In the remaining 16 (16.7 %) patients, structural changes in the thyroid gland were detected by ultrasound.

**Conclusion.** Changes in the functional state of the thyroid gland in patients with breast cancer who suffered from the Chernobyl accident were detected in 29.2 %. TSH indicators were detected in 20.8 %, which characterize hypothyroidism at an early stage; it can be assumed that functional changes in the thyroid gland are detected in 50 % of this contingent of patients.

ter, and in 1 (1.04 %) patient, pathological changes in the thyroid gland were not detected. Regarding molecular genetic typing data, 3 (3.1 %) patients were diagnosed with luminal A phenotype, 3 (3.1 %) with luminal B HER2/neu negative phenotype, and 2 (2.1 %) with triple-negative BC phenotype. Their proliferative activity index was within 47.5 %. In 1 (1.04 %) patient, TSH was below the lower limit of normal and chronic thyroiditis was diagnosed, luminal B HER2/neu negative BC phenotype, Ki-67 was 30 %. According to the National Academy of Clinical Biochemistry of the USA, a TSH level exceeding 2.5 mU/l may be a predictor of hypothyroidism. Taking into account the above, we separately analyzed the data of BC patients in whom the TSH level was determined above 2.5 mU/l. In our study, there were 20 such patients, which is 20.8 % of the total number of patients. Digital values of ATPO above the norm were registered in 18 (18.7 %) patients. This indicator indicates the presence of autoimmune changes in the thyroid gland, that is, the presence of autoimmune thyroiditis. The digital values of this indicator ranged from 55.3 IU/ml to 1000 IU/ml, with normal values up to 34.0 IU/ml. On average, it was 333 IU/ml and exceeded the upper limit of normal values by 9.8 times, and sometimes even by 29.4 times. Only 2 (2.1 %) patients had no structural changes in the thyroid gland, but had a significantly increased ATPO index. In the remaining 16 (16.7 %) patients, structural changes in the thyroid gland were detected by ultrasound.

**Conclusion.** Changes in the functional state of the thyroid gland in patients with breast cancer who suffered from the Chernobyl accident were detected in 29.2 %. TSH indicators were detected in 20.8 %, which characterize hypothyroidism at an early stage; it can be assumed that functional changes in the thyroid gland are detected in 50 % of this contingent of patients.

## ТЕЛОМЕРИ ЛІМФОЦИТІВ ПЕРИФЕРИЧНОЇ КРОВІ ЯК МАРКЕРИ ХРОНІЧНОГО СИСТЕМНОГО ЗАПАЛЕННЯ У ВІДДАЛЕНОМУ ПЕРІОДІ ПІСЛЯ ОПРОМІНЕННЯ

Лясківська О.В., Зварич Л.М., Базика Д.А.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

## TELOMERES OF PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES AS MARKERS OF CHRONIC SYSTEMIC INFLAMMATION IN THE REMOTE PERIOD AFTER IRRADIATION

Lyaskivska O.V., Zvarych L.M., Bazyka D.A.

State Institution «National Scientific Center of Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Молекулярно-генетичні механізми клітинного старіння та відповіді на пошкодження ДНК тісно пов'язані між собою. Тривала активація сигналів пошкодження теломер призводить до старіння клітин, одночасно індукуючи серію запальних реакцій в організмі, які поступово призводять до патологічних змін тканин органів. Геномна нестабільність внаслідок дії іонізуючого випромінювання також може змінювати сигнальну трансдукцію, залучену в регуляцію проліферативної активності та клітинного старіння.

**Мета** дослідження. Визначити відносну довжину теломер (ВДТ), рівень експресії генів теломер-теломеразного комплексу та регулятора імунного запалення NF-κB у лімфоцитах периферичної крові в учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на ЧАЕС.

**Методи.** Імунологічні (flow-FISH метод, проточна цитометрія), молекулярні (полімеразна ланцюгова реакція в режимі реального часу) та статистичні.

**Результати.** Основна група – 167 УЛНА на ЧАЕС, віком 55–64 (60,07 ± 1,81) роки, з дозою опромінення 1–999 (229,46 ± 211,39) мЗв. Контрольна група (КГ) – 27 пацієнтів, віком 51–74 (60,44 ± 9,13) років і група вікового контролю (ГВК) – 14 пацієнтів, віком 31–49 (40,64 ± 5,59). Виявлено статистично значуще зниження показника ВДТ лімфоцитів ПК УЛНА на ЧАЕС порівняно з показником пацієнтів з ГВК (10,58 ± 1,37 vs 12,72 ± 2,01,  $p < 0,05$ ). При цьому була відсутня різниця між середньогруповими показниками ВДТ лімфоцитів ПК пацієнтів КГ і ГВК (11,78 ± 1,96 vs 12,72 ± 2,01). Кореляційний аналіз між ВДТ лімфоцитів ПК та дозою опромінення УЛНА на ЧАЕС не виявив статистично значущої кореляційної залежності. Виз-

**Background.** The molecular genetic mechanisms of cellular aging and DNA damage responses are closely related. Prolonged activation of telomere damage signals leads to cellular aging, simultaneously inducing a series of inflammatory reactions in the organism, which gradually lead to pathological changes in organ tissues. Genomic instability due to ionizing radiation exposure can also alter signal transduction involved in the regulation of proliferative activity and cellular aging.

**Purpose** of the study: To determine the relative telomere length (RTL), the level of gene expression of the telomere-telomerase complex and the immune inflammation regulator NF-κB in peripheral blood lymphocytes of clean-up workers (CW) of the Chornobyl accident.

**Methods.** Immunological (flow-FISH method, flow cytometry), molecular (real-time polymerase chain reaction) and statistical.

**Results.** The main group – 167 CW of the Chornobyl accident, aged 55–64 (60.07 ± 1.81) years, with a radiation dose of 1–999 (229.46 ± 211.39) mSv. The control group (CG) – 27 patients, aged 51–74 (60.44 ± 9.13) years and the age control group (ACG) – 14 patients, aged 31–49 (40.64 ± 5.59). A statistically significant decrease in the RTL of PB lymphocytes of CW of the Chornobyl accident was found compared to the index of patients with ACG (10.58 ± 1.37 vs 12.72 ± 2.01,  $p < 0.05$ ). At the same time, there was no difference between the average group RTL indices of PB lymphocytes of patients with CG and ACG (11.78 ± 1.96 vs 12.72 ± 2.01). Correlation analysis between the RTL of PB lymphocytes and the radiation dose of CW of the Chornobyl accident did not reveal a statistically significant correlation. An inverse

начено зворотну кореляційну залежність між ВДТ і NF-κB у лімфоцитах ПК осіб КГ ( $R_s = -0,77$ ,  $p < 0,001$ ) та УЛНА на ЧАЕС ( $R_s = -0,75$ ,  $p < 0,001$ ). Хоча в УЛНА на ЧАЕС був знижений відносний рівень NF-κB у лімфоцитах ПК (182,33 ± 41,34) відносно показників КГ (209,36 ± 54,89) і ГВК (242,88 ± 69,27). Виявлено зниження відносного рівня експресії *TERT* у лейкоцитах ПК УЛНА на ЧАЕС порівняно з пацієнтами ГВК (2,19 ± 2,45 vs 6,04 ± 1,56,  $p < 0,05$ ). Найнижчі показники *TERT* спостерігалися у пацієнтів КГ (0,89 ± 2,62 vs 6,04 ± 1,56,  $p < 0,05$ ). Відмічена тенденція до зростання відносного рівня експресії *TERF1* у лейкоцитах ПК УЛНА на ЧАЕС (3,28 ± 4,96) порівняно з показником КГ (1,21 ± 0,71) і ГВК (1,39 ± 1,82), натомість середньогрупові показники *TERF2* були подібними в усіх групах обстеження.

**Висновки.** Зниження ВДТ лімфоцитів ПК УЛНА на ЧАЕС вірогідно пов'язані з наслідками дії іонізуючого випромінювання, а не з фізіологічним старінням організму, оскільки у пацієнтів КГ того ж віку показники ВДТ були подібними до показників більш молодших пацієнтів. Вкорочені теломери сприяють персистуючій активації відповіді на пошкодження ДНК, що може запустити прозапальні сигнальні каскади з залученням регулятора запалення NF-κB. Зворотна кореляція між ВДТ і NF-κB лімфоцитів ПК можливо пов'язана з реплікативним старінням клітин, що активує запальні сигнальні шляхи. Низькі рівні NF-κB у лімфоцитах ПК УЛНА на ЧАЕС можуть свідчити про перебудову NF-κB-опосередкованих сигнальних шляхів і пригнічення активності лімфоцитів. Зниження відносного рівня експресії *TERT* на фоні підвищення *TERF1* та відсутності змін *TERF2* у лейкоцитах УЛНА на ЧАЕС може відображати порушення механізмів структурного захисту і регуляції довжини теломер, що сприяє пригніченню теломеразної активності і прискореній теломерній деградації у віддаленому періоді після дії іонізуючого випромінювання. В осіб старше 50 років низькі показники *TERT* у лейкоцитах можуть означати вікове зниження активності теломерази з активацією компенсаторних механізмів, оскільки ВДТ зберігається. Отже, зміни, що спостерігаються в УЛНА на ЧАЕС, можуть відображати дисрегуляцію теломерного гомеостазу, пов'язану з віддаленими наслідками опромінення, що сприяє прискореному клітинному старінню та накопиченню сенесцентних лімфоцитів із порушеною NF-κB-залежною регуляцією, що залучені у підтримку системного хронічного запалення.

correlation was determined between RTL and NF-κB in PB lymphocytes of patients with CG ( $R_s = -0.77$ ,  $p < 0.001$ ) and CW of the Chornobyl accident ( $R_s = -0.75$ ,  $p < 0.001$ ). Although in CW of the Chornobyl accident, the relative level of NF-κB in PB lymphocytes was reduced (182.33 ± 41.34) compared to the CG (209.36 ± 54.89) and ACG (242.88 ± 69.27) indicators. A decrease in the relative level of *TERT* expression in PB leukocytes of CW of the Chornobyl accident was found compared to patients in the ACG (2.19 ± 2.45 vs 6.04 ± 1.56,  $p < 0.05$ ). The lowest *TERT* values were observed in patients in the CG (0.89 ± 2.62 vs 6.04 ± 1.56,  $p < 0.05$ ). A tendency to an increase in the relative level of *TERF1* expression in PB leukocytes of CW of the Chornobyl accident was noted (3.28 ± 4.96) compared to the CG (1.21 ± 0.71) and ACG (1.39 ± 1.82), while the average group values of *TERF2* were similar in all study groups.

**Conclusions.** The decrease in the RTL of PB lymphocytes of CW of the Chornobyl accident is likely associated with the effects of ionizing radiation, and not with physiological aging of the body, since in CG patients of the same age, RTL indicators were similar to those of younger patients. Shortened telomeres contribute to persistent activation of the DNA damage response, which can trigger pro-inflammatory signaling cascades involving the inflammatory regulator NF-κB. The inverse correlation between RTL and NF-κB in PB lymphocytes is possibly related to replicative cell senescence, which activates inflammatory signaling pathways. Low levels of NF-κB in PB lymphocytes of CW of the Chornobyl accident may indicate a rearrangement of NF-κB-mediated signaling pathways and suppression of lymphocyte activity. A decrease in the relative level of *TERT* expression against the background of an increase in *TERF1* and the absence of changes in *TERF2* in leukocytes of CW of the Chornobyl accident may reflect a violation of the mechanisms of structural protection and regulation of telomere length, which contributes to the suppression of telomerase activity and accelerated telomere degradation in the remote period after irradiation. In patients over 50 years of age, low *TERT* levels in leukocytes may indicate an age-related decrease in telomerase activity with the activation of compensatory mechanisms, since RTL is preserved. Therefore, the changes observed in CW of the Chornobyl accident may reflect dysregulation of telomere homeostasis associated with the long-term effects of radiation, which contributes to accelerated cellular aging and the accumulation of senescent lymphocytes with impaired NF-κB-dependent regulation, which are involved in the maintenance of systemic chronic inflammation.

Пам'яті професора Орлова Ю.О.

## ХРОМОСОМНІ АБЕРАЦІЇ У ДІТЕЙ РАННЬОГО ВІКУ ІЗ ВАДАМИ РОЗВИТКУ ЦНС

Малишева Т.А., Вербова Л.М., Безручко Д.Є., Черненко О.Г., Савчук Т.В., Андреев С.А., Шмельова Г.А.

Державна установа «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П.Ромоданова НАМН України», Київ

## CHROMOSOMAL ABERRATIONS IN YOUNG CHILDREN WITH CENTRAL NERVOUS SYSTEM MALFORMATIONS

Malysheva T.A., Verbova L.M., Bezruchko D.E., Chernenko O.G., Savchuk T.V., Andreyev S.A., Shmelyova G.A.

State Institution «Romodanov Institute of Neurosurgery, National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv

**Вступ.** У дітей раннього віку вади розвитку ЦНС часто є першим клінічним проявом хромосомних порушень. Порушення геномної структури зумовлюють аномалії формування мозку, що проявляються неврологічними розладами та часто потребують раннього нейрохірургічного втручання. У зв'язку з цим аналіз ролі хромосомних аберацій у формуванні вад розвитку ЦНС є актуальним.

**Матеріал і методи** дослідження: 58 спостережень дітей (32 дівчинки та 26 хлопчики з вадами розвитку ЦНС, оперовані з приводу спино-мозкових кил (СМК) в ДУ «ІНХ НАМН України (2008–2010 рр). Дослідження хромосомних аберацій в культурі лімфоцитів в 30 випадків, 10 група порівняння.

**Результати.** СМК поєднувались з вадами розвитку інших систем: аномалією Арнольд-Кіарі – 22%, полімікрогірією – 22%; синдромом Денді – Уокера – 0,6%; фіксованим спинним мозком – 34%; килами – ліпоми – 13%, гідроцефалією – 44%, гіпоплазією і агенезією мозолистого тіла – 8,6%, вадами розвитку судин головного мозку (артеріо-венозними мальформаціями) – 8,6%; синдромом елія діагностована у 1,4%, тератоми склали 0,7%, а самотійні СМК – 37,9% спостережень. Виявлено поєднані соматичні стигми: вади серця – 7%, вади кісткової системи – 10%. Цитогенетично хромосомні аберації: при СМК каріотип становить 44XX (44XY) в більшості метафаз і 43XX (43XY) в 10–12% метафаз. У дітей групи порівняння каріотип: 44XX (44XY) в 99–100% метафаз. Отже: при вадах розвитку хребта та спинного мозку притаманний хромосомний мозаїцизм. В усіх випадках виявлено дицентричні хромосоми.

**Introduction.** In young children, central nervous system (CNS) malformations are often the first clinical manifestation of chromosomal abnormalities. Disturbances in genomic structure lead to abnormalities in brain development, which manifest as neurological disorders and often require early neurosurgical intervention. Therefore, analysis of the role of chromosomal aberrations in the development of CNS malformations is highly relevant.

**Material and methods.** The study included 58 children (32 girls and 26 boys) with CNS malformations who underwent surgery for spinal cord hernias at the State Institution «Institute of Neurosurgery of the NAMS of Ukraine» during 2008–2010. Chromosomal aberrations were studied in lymphocyte cultures in 30 cases. The comparison group included 10 children.

**Results.** Spinal cord hernias were combined with malformations of other systems: Arnold-Chiari malformation – 22%, polymicrogyria – 22%, Dandy-Walker syndrome – 0.6%, tethered spinal cord – 34%, lipomatous hernias – 13%, hydrocephalus – 44%, hypoplasia or agenesis of the corpus callosum – 8.6%, cerebral vascular malformations (arteriovenous malformations) – 8.6%. Syringomyelia was diagnosed in 1.4% of cases and teratomas in 0.7%, while isolated spinal cord hernias accounted for 37.9% of observations. Associated somatic anomalies were identified, including congenital heart defects (7%) and skeletal abnormalities (10%). Cytogenetic analysis revealed chromosomal aberrations: in children with spinal cord hernias, the karyotype was 44XX (44XY) in most metaphases and 43XX (43XY) in 10–12% of metaphases. In the comparison group, the karyotype was 44XX (44XY) in 99–100% of metaphases. Thus, chromosomal mosa-

Підрахунок загальної кількості клітин виявив клітини з абераціями: частота аберантних метафаз (ЧАМ) в основній групі та групи порівняння, що склало ЧАМ (основна) =  $219/2000 \times 100 = 11\%$ ; ЧАМ (порівняння) =  $8/1000 \times 100 = 0,8\%$ . За анамнезу: 44% спостережень аберантних метафаз виявлено у дітей від першої вагітності, в 26% – не першої, 29,3% – даних немає. В 41% спостережень матір у першому триместрі вагітності перенесла вірусно-інфекційні захворювання.

**Висновки.** Вади центральної нервової системи (ЦНС) зустрічаються однаково у хлопчиків і дівчаток – не асоційовані зі статтю. Хромосомні аберації (утворення дицентричних хромосом (двоцентромерних), виявлено у дітей зі спино – мозковими килами (СМК) більший за 1,96, свідчить про статистично значущу відмінність між основною і групою порівняння. Доцільність врахування «соматичних» стигм, які співіснують з СМК актуально, ще на етапі планування нейрохірургічного втручання для запобігання ускладнень і врахування їх генезу. Встановлення частоти і причин хромосомних аберацій сприятиме розробці заходів їх запобігання.

icism appears to be characteristic of malformations of the spine and spinal cord. Dicentric chromosomes were detected in all cases. Analysis of the total number of cells revealed aberrant cells. The frequency of aberrant metaphases (FAM) was: FAM (main group) =  $219/2000 \times 100 = 11\%$ , FAM (comparison group) =  $8/1000 \times 100 = 0.8\%$ . According to medical history, 44% of cases of aberrant metaphases were detected in children from the first pregnancy, 26% from subsequent pregnancies, and in 29.3% of cases data were unavailable.

**Conclusions.** Central nervous system malformations occur with similar frequency in boys and girls and are not associated with sex. Chromosomal aberrations, particularly the formation of dicentric chromosomes, were detected in children with spinal cord hernias, with a statistical value greater than 1.96, indicating a significant difference between the main and comparison groups. Consideration of associated somatic anomalies that coexist with spinal cord hernias is important even at the stage of planning neurosurgical intervention in order to prevent complications and better understand their pathogenesis. Determining the frequency and causes of chromosomal aberrations may contribute to the development of preventive strategies.

## ЕФЕКТИ ВПЛИВУ МАЛИХ ДОЗ ВНУТРІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ НА СТРУКТУРУ ГОВНОГО МОЗКУ (ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ)

Малишева Т.А., Черненко О.Г., Шмельова Г.А., Васлович В.В., Величко О.М., Малишева О.Ю., Кеворков Г.А.

Державна установа «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П.Ромоданова Національної академії медичних наук України»

## EFFECTS OF LOW-DOSE INTERNAL IRRADIATION ON BRAIN STRUCTURE IN RATS (EXPERIMENTAL STUDY)

Malysheva T.A., Chernenko O.G., Shmelyova G.A., Vaslovich V.V., Velichko O.M., Malysheva O.Yu., Kevorkov G.A.

State Institution «Romodanov Institute of Neurosurgery of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine»

**Вступ.** Чорнобильська аварія належить до глобальних катастроф як за наслідками так і за комплексним їх характером.

**Мета:** дослідження структурно-функціональних змін головного мозку експериментальних тварин при тривалому впливі іонізуючого випромінювання, залежно від віку.

**Матеріал і методи.** В експерименті досліджено 216 білих щурів різної статі та віку, які отримували радіонуклід ( $^{137}\text{Cs}$ ) у щодобовій дозі 600 Бк протягом 30 та 90 діб комплексними морфологічними методами з морфометричною обробкою зі застосуванням аналізатора зображень IBAS-2000 фірми «KONTRON».

**Результати.** Експериментальні дослідження функціонального стану нервової системи доводять, що емоційні реакції є відстрокованими і розцінені як «емоційне розгальмування». У тварин з початковим низьким рівнем локомоторної активності тривалий радіаційний вплив викликає подальше її зниження, феномен впливу має характер «заміщеної емоційної розгальмованості» і залежить від терміну опромінення. Під тривалим внутрішнім впливом малих доз іонізуючого випромінювання в тканині різних ділянок головного мозку набувають розвитку різного ступеня виразності структурні зміни нейрональних та судинних утворень, які зростають з подовженням строку опромінення. В значній частині нервових клітин має місце порушення як енергопродуруючої і білоксинтезуючої функцій. У молодих тварин, поряд з наявними дистрофічними змінами спостерігаються процеси компенсаторно-відновлювального характеру (у вигляді підвищення рибосомальної ак-

**Introduction.** The Chernobyl accident is considered one of the major global technological disasters because of both the scale and the complexity of its consequences.

**Aim:** to investigate age-dependent structural and functional changes in the brain of experimental animals during prolonged exposure to ionizing radiation.

**Materials and methods.** The study included 216 albino rats of different sexes and ages. Animals received the radionuclide cesium-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) at a daily dose of 600 Bq for 30 or 90 days. Morphological studies were performed using complex histological and morphometric methods with digital image analysis using the IBAS-2000 image analysis system (KONTRON).

**Results.** Experimental studies of the functional state of the nervous system demonstrated delayed emotional reactions, interpreted as emotional disinhibition. In animals with initially low locomotor activity, prolonged radiation exposure resulted in a further decrease in activity. This effect depended on the duration of irradiation. Prolonged internal exposure to low doses of ionizing radiation led to structural changes of varying severity in neuronal and vascular components in different brain regions. These changes increased with longer exposure periods. In a significant proportion of neurons, disturbances of both energy-producing and protein-synthesizing functions were observed. In young animals, dystrophic changes were accompanied by compensatory-restorative processes, including increased ribosomal activity and the appearance of

тивності і появи молодих форм мітохондрій у цитоплазмі нейронів). Ультраструктура синаптичного апарату нейронів молодих інтактних тварин характеризується наявністю добре виражених як пре- так і постсинаптичних терміналій, відношення довжини активної зони до довжини контакту становить  $0,25 \pm 0,03$ , а середня їх кількість становить  $92,0 \pm 5,0$  на одне пресинаптичне закінчення. На відміну від молодих тварин, у старих - зменшення відсотку площі нейронів, що зайнята хроматином у середньому на 9% зі  $45,3 \pm 3,2\%$  до  $36,4 \pm 3,0\%$ . Відсоток площі, зайнятий мітохондріями у цитоплазмі нейронів старих тварин складає  $32,5 \pm 2,5\%$  у молодих і  $28,5 \pm 2,0\%$  у старих. Особливістю «старіючого» нейрону є наявність у цитоплазмі спіралевидних утворень, що пов'язано дистрофією ендоплазматичного ретикулула. В синаптичному апараті нейронів старих щурів спостерігається розширення синаптичних терміналей і зменшення довжини активної зони синапсу з  $0,95 \pm 0,03$  у молодих тварин до  $0,80 \pm 0,02$  у старих. Доведено вікові відмінності структури і кількості ядерного хроматину, мітохондрій, зменшенні кількості вільних рибонуклеїнових гранул, поява у цитоплазмі нейронів мієліноподібних утворень і зменшенні лізосомальної активності. При хронічному опроміненні тварин найбільш виражені зміни клімн гіпоталамусі ніж кори, що імовірно залежить від функціональної активності, яка пов'язана з регуляцією вегетативної функції.

**Висновки.** Структурна організація нейронів молодих тварин порівняно з групою «старих» тварин і характеризується змінами вмісту хроматину у ядрах нейронів, варіативною активністю мітохондріального апарату і активізацією міжнейрональних зв'язків (нейропластичністю), яка полягає у збільшенні розмірів активної зони синапсів і наявністю великої кількості синаптичних везикул. У нейронах «молодих» тварин під впливом радіаційного фактору, поряд з дистрофічними змінами спостерігається активізація процесів компенсаторно-відновного характеру, які виявляються у підвищенні рибосомальної активності, появою молодих форм мітохондрій. Найбільш виражені дистрофічно-деструктивні зміни як у «молодих», так і у «старих» тварин при хронічному опроміненні спостерігаються у гіпоталамусі.

immature mitochondrial forms in neuronal cytoplasm. The ultrastructure of the synaptic apparatus in neurons of young intact animals was characterized by well-developed pre- and postsynaptic terminals. The ratio of the length of the active zone to the contact length was  $0.25 \pm 0.03$ , with an average of  $92.0 \pm 5.0$  synaptic vesicles per presynaptic terminal. In contrast, older animals showed a decrease in the percentage of neuronal nuclear area occupied by chromatin by approximately 9% (from  $45.3 \pm 3.2\%$  to  $36.4 \pm 3.0\%$ ). The mitochondrial area in neuronal cytoplasm was  $32.5 \pm 2.5\%$  in young animals and  $28.5 \pm 2.0\%$  in older animals. A characteristic feature of aging neurons was the presence of spiral-like cytoplasmic formations associated with dystrophic changes of the endoplasmic reticulum. In the synaptic apparatus of neurons in older rats, enlargement of synaptic terminals and shortening of the synaptic active zone were observed (from  $0.95 \pm 0.03$  in young animals to  $0.80 \pm 0.02$  in older animals). Age-related differences were also detected in nuclear chromatin structure, mitochondrial content, decreased numbers of free ribonucleoprotein granules, the appearance of myelin-like structures in neuronal cytoplasm, and reduced lysosomal activity. During chronic irradiation, the most pronounced structural changes were observed in the hypothalamus rather than in the cerebral cortex, which is likely related to its high functional activity in the regulation of autonomic functions.

**Conclusions.** Neurons of young animals differ from those of older animals in chromatin content in neuronal nuclei, variability of mitochondrial activity, and activation of interneuronal connections (neuroplasticity), reflected by enlargement of the synaptic active zone and a greater number of synaptic vesicles. In neurons of young animals exposed to radiation, dystrophic changes are accompanied by activation of compensatory and restorative processes, including increased ribosomal activity and the appearance of immature mitochondrial forms. The most pronounced dystrophic and destructive changes during chronic irradiation in both young and old animals occur in the hypothalamus.

## ДОЗИМЕТРИЧНА ПАСПОРТИЗАЦІЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ УКРАЇНИ: ПРОБЛЕМИ ТА ВИКЛИКИ

Масюк С. В., Василенко В. В., Іванова О. М., Федосенко Г. В., Будерацька В. Б.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України»

## DOSIMETRIC PASSPORTIZATION OF UKRAINIAN SETTLEMENTS: PROBLEMS AND CHALLENGES

Masiuk S. V., Vasilenko V. V., Ivanova O. M., Fedosenko G. V., Buderatska V. B.

State Institution «National Scientific Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Законом України від 28.02.1991 № 791а-ХІІ встановлено, що територія з рівнем радіоактивного забруднення, яке може призвести до доз опромінення населення понад 1 мЗв за рік, вважається радіоактивно забрудненою і потребує проведення один раз на три роки дозиметричної паспортизації з оприлюдненням доз опромінення населення.

**Мета** дослідження. Аналіз методів розрахунку паспортних доз населених пунктів (НП) України. **Методи.** З 1991 по 2013 рр. реконструкція доз опромінення населення, постраждалого від Чорнобильської аварії, здійснювалась в рамках програми загальнодозиметричної паспортизації. Дозові розрахунки ґрунтувалися на щорічних вимірюваннях радіоцезію в молоці та картоплі приватних господарств, а також на результатах вимірювань його вмісту в організмі жителів радіоактивно забруднених територій (РЗТ) за допомогою лічильників випромінювання людини (ЛВЛ). Протягом зазначеного періоду дози розраховувались відповідно до інструктивно-методичних вказівок (Методика-96), які тривалий час не оновлювалися, хоча ситуація на забруднених територіях суттєво змінилася.

**Результати.** На жаль, при проведенні нового етапу дозиметричної паспортизації 2025 року (Постанова КМ України № 111 від 31.01.2025), для переважної більшості НП розрахунок паспортних доз виконувався за застарілою методикою. Лише для 35 населених пунктів (9 НП Житомирської області та 26 НП Рівненської області) паспортні дози було розраховано на основі вимірювань вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в тілі жителів РЗТ. Для розрахунку паспортних доз решти 892 НП використовувались паспортні дози розраховані за Методикою-96, тобто за даними моніторингу вмісту  $^{137}\text{Cs}$  у молоці та картоплі у приватних господарствах в 2011–2012 рр.

**Relevance.** The Law of Ukraine No. 791a-XII of February 28, 1991 establishes that a territory with a level of radioactive contamination that may lead to population exposure doses exceeding 1 mSv per year is considered radioactively contaminated and requires dosimetric certification once every three years with publication of population exposure doses.

**Objective.** Analysis of methods of passport dose calculation for Ukrainian settlements.

**Methods.** From 1991 to 2013, the reconstruction of radiation doses to the population affected by the Chernobyl accident was carried out within the framework of the general dosimetric passportization program. Dose calculations were based on annual measurements of radiocesium in milk and potatoes of private farms, as well as on the results of measurements of its content in the body of residents of radioactively contaminated territories (RCT) using whole body counter (WBC). During the specified period, doses were calculated in accordance with the instructional and methodological guidelines (Methodology-96), which were not updated for a long time, although the situation in the contaminated territories has changed significantly.

**Results.** Unfortunately, when conducting a new stage of dosimetric passportization in 2025 (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 111 dated January 31, 2025) for the vast majority of settlements the calculation of passport doses was carried out using an outdated methodology. Only for 35 settlements (9 settlements of Zhytomyrska Oblast and 26 settlements of Rivnenska Oblast) passport doses were calculated based on measurements of the  $^{137}\text{Cs}$  content in the body of residents of the RCT. To calculate the passport doses of the remaining 892 settlements, passport doses calculated according to Methodology-96 were used, i.e. according to monitoring data of the

Таким чином паспортні дози 2025 року для 892 НП були отримані шляхом корекції доз опромінення, розрахованих за Методикою-96 на радіоактивний розпад. Такий метод розрахунку паспортних доз є хибним та не відповідає прийнятим нормативам, а паспортні дози розраховані за запропонованими методиками не відповідають дійсності та не можуть бути використані для отримання достовірних експертних висновків. Нелегітимність розрахованих за Методикою-96 доз, у першу чергу, пов'язана зі змінами у законодавстві України, які відбулися в останні роки. Так, згідно з правками, внесеними від 23.08.2023 у Статтю 18 Закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання», для цілей перевірки дотримання ліміту річної дози опромінення населення повинна використовуватись оцінка ефективної річної дози опромінення для репрезентативної особи (тобто для особи, яка належить до критичної групи осіб з найбільшими дозами опромінення), тоді як у Методики-96 у якості критерію використовується оцінка ефективної річної дози середньозважена за усіма віковими групами у НП. Крім того, покладені в основу Методики-96 дозиметричні моделі враховували радіаційну ситуацію, що мала місце у перші роки після аварії на ЧАЕС. Методика-96 була розроблена 30 років тому, а термін її дії вже давно закінчився. Аналіз показав, що паспортні дози, розраховані за Методикою-96, можуть бути у декілька разів меншими за справжні паспортні дози, розраховані на основі вимірювань інкорпорованого  $^{137}\text{Cs}$  у мешканців НП.

**Висновки.** На нашу думку, черговий етап дозиметричної паспортизації вимагає нових підходів до оцінки доз опромінення з урахуванням сучасної радіоекологічної ситуації на РЗТ та змін в українському законодавстві. Очевидно, що тільки після впровадження нової методики оцінки паспортних доз, результати дозиметричної паспортизації населених пунктів України будуть позитивно сприйняті громадськістю та експертним середовищем, що легітимізує їхнє використання для перегляду меж зон радіоактивного забруднення.

$^{137}\text{Cs}$  concentration in milk and potatoes in private farms in 2011–2012. Thus, the passport doses for 2025 for 892 settlements were obtained by correcting the radiation doses calculated according to Methodology-96 for radioactive decay. This method of passport doses calculation is incorrect and does not comply with the accepted standards, and passport doses calculated using the proposed methods do not correspond to reality and cannot be used to obtain reliable expert opinions. The illegitimacy of doses calculated using Methodology-96 is primarily due to changes in the legislation of Ukraine that have occurred in recent years. Thus, according to the amendments made on 23.08.2023 to Article 18 of the Law of Ukraine «On Protection of Humans from the Effects of Ionizing Radiation», for the purposes of verifying compliance with the annual dose limit for the population, an estimate of the effective annual radiation dose to representative person (i.e. a person belonging to a critical group of people with the highest radiation doses) should be used. But the Methodology-96 uses as a criterion the assessment of the effective annual average dose weighted for all age groups in the settlements. In addition, the dosimetric models underlying the Methodology-96 took into account the radiation situation that occurred in the first years after the Chernobyl accident. The Methodology-96 was developed 30 years ago, and its validity period has long expired. The analysis showed that the passport doses calculated according to the Methodology-96 may be several times lower than the real passport doses calculated based on WBC measurements of incorporated  $^{137}\text{Cs}$  in the residents of settlement.

**Conclusions.** In our opinion, the next stage of dosimetric passportization requires new approaches to assessing radiation doses, taking into account the current radioecological situation at the RCT and changes in Ukrainian legislation. It is obvious that only after the implementation of a new methodology for assessing passport doses, the results of dosimetric passportization of Ukrainian settlements will be positively perceived by the public and the expert community, which legitimizes their use for revising the boundaries of radioactive contamination zones.

## ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ХАРЧУВАННЯ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ В УМОВАХ РАДІАЦІЙНОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Матасар І. Т., Петрищенко Л. М.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна*

**Актуальність.** Навіть через 40 років після аварії проблема забруднення харчового ланцюга залишається актуальною. Основними критичними ланками є: молоко та м'ясо (через випас худоби на забруднених пасовищах  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{137}\text{Sr}$  активно переходять у тваринницьку продукцію); дикороси (гриби та лісові ягоди мають найвищий коефіцієнт накопичення  $^{137}\text{Cs}$ , особливо ті, що ростуть у лісовій підстилці; рослинництво (коренеплоди: картопля, морква, буряк тощо накопичують ізотопи через кореневу систему з верхніх шарів ґрунту; гідробіоти (прісноводні та хижі риби: щука, сом акумулюють нукліди у внутрішніх водоймах). Екологічна ситуація значно погіршилася з воєнними діями.

**Мета** дослідження. Встановити нутрієнтні дефіцити, що впливають на стан аліментарно асоційованих захворювань населення, яке мешкає на деокупованих територіях Бучанського району Київської області

**Методи.** Медичне анкетування, статистичні.

**Результати.** Впродовж 2025 року проанкетовано 129 осіб дорослого населення обох статей віком від 18 до 60 і старше років (чоловіки, жінки), які проживають на деокупованих районах Київської області Бучанського району. Дана гігієнічна оцінка якості харчування. Встановлено нутрієнтні дефіцити, що впливають на аліментарно асоційовані захворювання населення. Харчування як чоловіків, так і жінок, не відповідало рекомендованим величинам. Раціони харчування чоловіків були найбільш дефіцитними за вмістом м'яса та м'ясопродуктів – до 27,5 %, риби та рибопро-

дуктів – до 25 %, молока та молокопродуктів – до 55 %, фруктів – до 35,8 %. При цьому чоловіки вживали надлишок хліба, на 33,5 %; круп'яних виробів – у 2,4 раза, сала – на 65,7 %, картоплі – на 37,2 %, яєць – на 35,7 %. Найбільш незбалансовані раціони харчування були у жінок за вмістом хліба та хлібопродуктів – до 31,4 %, м'яса та м'ясопродуктів – до 33,9 %, молока та молокопродуктів – до 40,0 %, овочів – до 25,5 %, фруктів – до 20,0 %. При цьому жінки вживали надлишок круп – на 38,0 %, картоплі – на 12,2 %, кондитерських виробів – на 30,0 %. Незбалансованість раціонів як чоловіків, так і жінок, суттєво позначилась на вмісті інгредієнтів їжі: дефіцит есенціальних нутрієнтів у тому числі ПНЖК (родини омега 3), вітамінів А (навіть із врахуванням  $\beta$ -каротину), D, С та ряду вітамінів групи В, мінералів, пектину і клітковини при надлишку вживання простих вуглеводів, жирів (насичених), а також холестерину, порушенні фосфорно-кальцієвого співвідношення у бік достовірно меншого вмісту кальцію (чоловіків 1 : 0,6; жінок – 1 : 0,5).

**Висновки.** Стан здоров'я населення України в екологічно несприятливих регіонах безпосередньо залежить від раціоналізації харчування. Аліментарні дефіцити (білка, кальцію, вітамінів) на тлі техногенного забруднення призводять до хронізації захворювань, зниження імунітету та зростання онкопатологій. Оптимізація раціонів через збалансоване надходження мікроелементів та антиоксидантів є стратегічним шляхом до зміцнення здоров'я та довголіття нації.

## ІНФОРМУВАННЯ ПРО РАДІАЦІЙНО-ЯДЕРНІ ІНЦИДЕНТИ ЯК ДЖЕРЕЛО НЕБЕЗПЕКИ: ТОТАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ, ЇЇ КОРЕНІ Й ШЛЯХИ ПОДОЛАННЯ

Мирний С.В.

Національний музей «Чорнобиль», Київ, Україна

## INFORMING ABOUT RADIATION-NUCLEAR ACCIDENTS AS A HAZARD: TOTALITY OF THE PROBLEM, ITS ROOTS AND WAYS TO OVERCOME IT

Mirnyi S.V.

National Museum «Chornobyl», Kyiv, Ukraine

Інформування про надзвичайні ситуації (НС) впливає як безпосередньо на психіку людини і через неї на здоров'я, так і опосередковано, визначаючи реакції на НС суспільства й держави, — які, крім позитивного, часто мають і негативний вплив на здоров'я населення. Причому «радіація» (іонізуюче випромінювання, радіоактивне забруднення) в сучасному культурно-історичному періоді є унікально потужним інформаційним стресором; це зокрема переконливо довів досвід Чорнобильської катастрофи.

**Метою** даного дослідження є аналіз існуючої в Україні і демократичних країнах світу системи інформування про НС, виявлення та систематизація її недоліків, та пропозиції з їх подолання. Його основою є підхід, вперше презентований автором на Міжнародному семінарі «Проблеми комунікацій та інформування суспільства на випадок ядерних або радіаційних надзвичайних ситуацій: приклад подолання наслідків Чорнобильської катастрофи» (Національний інституті стратегічних досліджень, Київ, 12.05.2017).

**Методом** *observant participation* був узагальнений досвід інформування про ряд НС на радіаційно-ядерних об'єктах, зокрема аварій на АЕС в Чорнобилі та Фукусімі, інцидентів під час повномасштабної фази війни з Росією (загальновійськовий бій на ЗАЕС, окупація ЧАЕС і військові дії в Чорнобильській зоні, пошкодження дроном Нового Безпечного Конфайнменту /т.зв. «Арка»/ та ін.), лісових пожеж в Чорнобильській зоні тощо. Всі ці події автору довелося коментувати для ЗМІ в режимі реального часу (Чорнобиль — у віддаленому періоді), й спостерігати за ходом інформування та подальшого реагування на них.

**В системі** «джерело інформації про аварію (оператор) — канали повідомлення про аварію (ЗМІ) — реципієнт

Information on emergencies affects human mental health directly and, through it, physical health; it also affects health indirectly by shaping societal and governmental responses, which alongside positive effects often produce negative consequences for public health. In the contemporary cultural-historical context, «radiation» (that is, ionizing radiation and radioactive contamination) constitutes a uniquely powerful informational stressor; this was convincingly demonstrated, in particular, by the experience of the Chornobyl Disaster.

The **objective** of this study is to analyze the existing system of emergency information in Ukraine and in democratic countries, to identify and systematize its flaws, and to propose measures to eliminate them. The study is based on an approach first presented by the author at the International Seminar «Problems of Communication and Public Information in Radiation-Nuclear Emergencies» (National Institute for Strategic Studies, Kyiv, 12 May 2017).

Using the **method** of *observant participation*, the author systematized the experience of informing about the series of emergencies at radiation-nuclear facilities, including the accidents at the Chornobyl and Fukushima NPPs, the ones during the full-scale phase of the war with Russia (the combat at the Zaporizhzhia NPP, occupation of the ChNPP and military operations in the Chornobyl zone, drone attack at the New Safe Confinement /«Arch»/, etc.), forest fires in the Chornobyl zone, and others. The author both commented them live for the media (Chornobyl — in the remote period) and observed the course of the informing and responses.

**Within the system** «the source of information about the accident (operator) — the channels of communi-

information (population)», в кожній її ланці означено складні неврегульовані проблеми фундаментального характеру.

(1) Оператор не зацікавлений в правдивому інформуванні про повний масштаб події — причому це не залежить від соціальної системи: в аварії АЕС Фукусіма (Японія) інформаційна картина якісно ідентична радянському Чорнобилі, хоча мотивація була різною (економічна проти політичної). Немає ніякої відповідальності за не- або дезінформування про НС: за забруднення довкілля оператор відповідає, а за шкідливу (дез)інформацію — ні. Немає стандартів і алгоритмів інформування оператором про НС.

(2) ЗМІ при НС зазвичай перетворюються в засоби масової дезінформації, причому з низки причин. Сенсації продаються краще, і комерційні ЗМІ зацікавлені робити з мухи інциденту слона «катастрофи». Не існує жодної правової відповідальності за дезінформацію про НС у ЗМІ, до яких би тяжких наслідків вона не призвела. Практично немає кваліфікованих журналістів, які могли б адекватно освітлювати НС, — й тим більше так, щоб сприяти мінімізації й подоланню їх негативних наслідків. Немає і стандартів такого «здорового» інформування в пресі про НС.

(3) Щодо реципієнта-населення, то навіть якби воно було ідеально поінформоване про НС, то навряд чи змогло б адекватно сприйняти цю інформацію й відповідно діяти, оскільки не має потрібних знань і навичок. Крім того, населення жадливо перебільшує негативні ефекти «радіації», зокрема із-за травми Чорнобиля. Це часто множить іще й на недовіру до влади, типову для демократичного (і особливо українського) суспільства.

Структурування і формулювання цих корінних проблем фактично складає основу програми дій із створення безпечної й ефективної системи інформування про радіаційні (й не тільки) надзвичайні події. Такої, яка б відповідала як викликам та загрозам сучасного інформатизованого суспільства, так і можливостям, яке воно надає. Створення такої системи надактуальне для України в умовах війни й постійної загрози радіаційно-ядерним об'єктам.

cation about the accident (media) — the recipient of information (population)», each link contains complex and unresolved fundamental problems.

(1) The operator is not interested in truthful reporting of a full scale of the event (and this does not depend on the social system: in the Fukushima NPP accident (Japan) the informational pattern was identical to that of Soviet Chornobyl, although the motivation differed (economic vs political)). There is no accountability for non-information or misinformation about emergencies; the operator is liable for environmental contamination, but not for potentially hazardous information. There are no standards or algorithms for the information release on emergency from its «owner»-operator.

(2) In emergencies, the mass media usually transform into tools of mass MISinformation — and for a number of substantial reasons. Sensations sell better, and thus commercial media are interested in turning the fly of an incident into the elephant of a «catastrophe». There is no legal liability for media misinformation about emergencies, regardless of how severe the consequences of (mis)information may be. There are virtually no qualified journalists capable to adequately cover emergencies, and even less of presenting them in a way that supports mitigation their consequences. There are also no standards for such «healthy» emergency reporting in the press.

(3) As for the recipient — the population — even if it were ideally informed about an emergency, it would hardly be able to perceive this information adequately and act accordingly, since it lacks the necessary knowledge and skills. Moreover, the population grossly overestimates the negative effects of «radiation», in particular due to the trauma of Chornobyl. This is often compounded by distrust of the authorities, typical of democratic (and especially Ukrainian) society.

The structuring and formulation of these root problems constitute the foundation of an action program to create a safe and effective system of informing on radiation-nuclear (and other types of) emergencies — one that corresponds both to the challenges and threats of the contemporary information society and to the opportunities it provides. The creation of such a system is urgently needed for Ukraine in the current war and its constant threats to radiation-nuclear facilities.

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ПОСТРАЖДАЛИХ ВНАСЛІДОК ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ ТА ЇХ АДАПТАЦІЯ ДО ВИКЛИКІВ СУЧАСНОСТІ

Морозова М. М., Озерова Ю. Ю.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна*

## REGULATORY AND LEGAL ASPECTS OF RADIATION PROTECTION OF VICTIMS OF THE CHORNOBYL DISASTER AND THEIR ADAPTATION TO THE CHALLENGES OF THE MODERN TIMES

Morozova M. M., Ozerova Y. Y.

*State Institution «National Research Center of Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine*

На сьогоднішній день Україна має і розвиває ядерну галузь, але її використання належить до потенційно небезпечних технологій, тому особливу увагу, на постійній основі, необхідно приділяти забезпеченню захисту населення від впливу іонізуючого випромінювання.

**Мета:** узагальнення змін в нормативно-правових документах щодо радіаційного захисту населення незалежної України. **Методи:** застосований метод якісного аналізу документів.

Чорнобильська катастрофа дала поштовх щодо створення сучасної системи радіаційного захисту. Розроблено нормативні акти для подолання наслідків. Ліквідація наслідків включала евакуацію, спорудження «Саркофагу», створення зони відчуження та унікальний досвід реагування, що базується на моніторингу, медичному нагляді та вдосконаленні безпеки АЕС. Впроваджено систему пенсій та пільг для потерпілих та ліквідаторів. До початку повномасштабної війни в Україні нормативно-правова база радіаційного захисту ґрунтувалася на документах кінця 90-х, початку 2000-х років. В період 2018–2021 років відбулася низка важливих змін: оновлення Закону «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання», де були внесені правки щодо уточнення повноважень органів влади та регулювання медичного опромінення, впроваджено поняття референтних рівнів для ситуацій існуючого та аварійного опромінення; дано початок реформи санітарних норм. Протягом 2021 року почали переорієнтовувати документи на систему трьох ситуацій опромінення: планова, аварійна та існуюча. Напередодні 2022 року було закладено правове підґрунтя для визнання компетентності експертів з

Today, Ukraine has and develops a nuclear industry, but using it belongs to potentially dangerous technologies, therefore, special attention, on a permanent basis, must be paid to ensuring the protection of the population from the effects of ionizing radiation.

**Purpose:** to summarize changes in regulatory and legal documents regarding radiation protection of the population of independent Ukraine. **Methods:** the method of qualitative analysis of documents was applied.

The Chernobyl disaster gave impetus to the creation of a modern radiation protection system. Regulatory acts have been developed to overcome the consequences. The elimination of the consequences included evacuation, the construction of the «Sarcophagus», the creation of an exclusion zone and a unique experience of response based on monitoring, medical supervision and improving the safety of the NPP. A system of pensions and benefits for victims and liquidators has been introduced. Before the start of the full-scale war in Ukraine, the regulatory and legal framework for radiation protection was based on documents from the late 1990s and early 2000s. In the period 2018–2021, a number of important changes took place: the Law «On Protection of Humans from Exposure to Ionizing Radiation» was updated, which included amendments to clarify the powers of government bodies and the regulation of medical radiation, the concept of reference levels for situations of existing and emergency radiation was introduced; the reform of sanitary standards was initiated. During 2021, documents began to be reoriented to a sys-

радіаційного захисту, які консультують суб'єктів господарювання, відбулися зміни щодо радонової стратегії, здійснили перехід від «контролю лише атомних станцій» до контролю безпеки повітря, тобто посилено увагу до захисту населення від природних джерел випромінювання, зокрема радону. В умовах російської агресії значно зросла загроза виникнення ядерних та радіологічних інцидентів (аварій) на АЕС. Законодавчі зміни стосувалися: оновлення складу та положення про Національну комісію з радіаційного захисту населення України (НКРЗУ) для підвищення оперативності прийняття рішень; внесення змін до Законів «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» та «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання». Впроваджено стандарти захисту людини згідно з правом Європейського Союзу (ЄС), запроваджено рівні концентрації радону в повітрі приміщень та на робочих місцях; встановлено ліміт ефективної дози для населення на рівні 1 мЗв на рік від усіх дозволених видів діяльності, визначено нові заходи безпеки під час діагностичних та лікувальних процедур; затверджено положення про експерта з радіаційного захисту, що посилює професійний контроль у цій сфері; регулювання порядку отримання джерел іонізуючого випромінювання як гуманітарної та благодійної допомоги в умовах воєнного стану; затверджено таблиці оснащення груп радіаційного спостереження та дозиметричного контролю для центрів контролю та профілактики хвороб. Ухвалені Закони посилюють захист від іонізуючого випромінювання, адаптують національні санітарні норми до стандартів ЄС, розмежовують державне управління у сфері використання ядерної енергії та поводження з радіоактивними відходами для підвищення ефективності безпеки. Чорнобильський досвід поєднується з новими протоколами готовності до реагування адаптованими до умов воєнного стану та ризиків пов'язаних з ядерними об'єктами, зокрема з Запорізькою АЕС. Основні зміни в нормативно-правових актах з радіаційного захисту під час війни спрямовані на безпеку населення в умовах підвищених ядерних ризиків, на адаптацію до євростандартів, на посилення контролю за іонізуючим випромінюванням та оновлення роботи відповідальних органів (Комісії з радіаційного захисту).

tem of three radiation situations: planned, emergency and existing. On the eve of 2022, a legal basis was laid for recognizing the competence of radiation protection experts who advise business entities, changes were made to the radon strategy, a transition was made from «control of only nuclear power plants» to air safety control, that is, increased attention was paid to protecting the population from natural sources of radiation, in particular radon. In the context of Russian aggression, the threat of nuclear and radiological incidents (accidents) at nuclear power plants has significantly increased. Legislative changes concerned: updating the composition and regulations on the National Commission for Radiation Protection of the Population of Ukraine (NCRPU) to increase the efficiency of decision-making; amendments to the Laws «On the Use of Nuclear Energy and Radiation Safety» and «On Human Protection from Exposure to Ionizing Radiation». Human protection standards have been implemented in accordance with European Union (EU) law, radon concentration levels in indoor air and in workplaces have been introduced; an effective dose limit for the population has been set at 1 mSv per year from all permitted activities, new safety measures have been defined during diagnostic and treatment procedures; a regulation on a radiation protection expert has been approved, which strengthens professional control in this area; regulation of the procedure for obtaining sources of ionizing radiation as humanitarian and charitable assistance in martial law conditions; and equipment tables for radiation monitoring and dosimetric control groups for disease control and prevention centers have been approved. The adopted Laws strengthen protection against ionizing radiation, adapt national sanitary standards to EU standards, and delimit state administration in the field of nuclear energy use and radioactive waste management to increase safety efficiency. The Chernobyl experience is combined with new protocols of preparedness to respond adapted to the conditions of martial law and risks associated with nuclear facilities, in particular with Zaporizhzhia NPP. The main changes in the regulatory legal acts on radiation protection during wartime are aimed at the safety of the population in conditions of increased nuclear risks, at adaptation to European standards, at strengthening control over ionizing radiation and updating the work of responsible bodies (the Radiation Protection Commission).

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗМІН ГЕОМЕТРІЇ МІОКАРДА У ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ СИЛ ОБОРОНИ УКРАЇНИ, УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС І НЕОПРОМІНЕНИХ ПАЦІЄНТІВ

Настіна О.М., Білий Д.О.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

## COMPARATIVE ANALYSIS OF CHANGES IN MYOCARDIAL GEOMETRY IN MILITARY PERSONNEL OF THE DEFENSE FORCES OF UKRAINE, CHERNOBYL ACCIDENT EMERGENCY WORKERS, AND NON-IRRADIATED PATIENTS

Nastina O.M., Belyi D.A.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Ішемічна хвороба серця залишається основною причиною смерті серед учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС). Військова служба під час вторгнення росії до України в умовах високого рівня стресу має певну схожість з роботами по ліквідації наслідків Чорнобильської аварії. Порівняння стану серцево-судинної системи та аналіз кардіальної патології в УЛНА на ЧАЕС та військовослужбовці (ВС) Сил Оборони України може дати відповідь на питання, які шляхи вторинної профілактики ІХС в УЛНА, що розроблялися впродовж всіх років після аварії, можуть застосовуватися у ВС.

**Мета** дослідження. На основі ретроспективного та поточного аналізу структурно-функціонального стану серцево-судинної системи визначити особливості змін міокарда та провести їх порівняльний аналіз в учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС, пацієнтів, які не зазнали радіаційного впливу та військовослужбовців Сил Оборони України з ішемічною хворобою серця.

**Об'єкт дослідження:** 87 УЛНА на ЧАЕС 1986–1987 рр., 56 пацієнтів, які не зазнали радіаційного впливу (контрольна група – КГ) та 122 ВС Сил Оборони України. Всі пацієнти чоловічої статі у віці від 40 до 60 років з ішемічною хворобою серця (ІХС) і обстежені впродовж останніх 10 років (2014–2024 рр.). Групи були співставні за віком.

**Методи.** Ехо-доплеркардіографічне дослідження виконували за допомогою системи Diagnostic Ultrasound System DS-N3 (Mindray), статистична обробка

**Background.** Ischemic heart disease (IHD) remains the leading cause of mortality among emergency workers (EW) of the Chernobyl accident. Military service during russia invasion in Ukraine under conditions of high stress has certain similarities to activities related to the participation in emergency operations at the Chernobyl NPP (ChNPP). Comparison of cardiovascular system status and analysis of cardiac pathology in EW and military personnel (MP) of the Defense Forces of Ukraine may help determine which strategies of secondary prevention of IHD which was developed for EW during post-accidental period can be applied to MP.

**Objectives.** Based on retrospective and current analysis of the structural and functional state of cardiovascular system, to determine the characteristics of myocardial changes and to conduct their comparative analysis in EW, non-irradiated patients (NIP), and MP of the Defense Forces of Ukraine with IHD.

**Study population.** The study included 87 EW of the ChNPP (1986–1987), 56 NIP (as control group – CG), and 122 MP of the Defense Forces of Ukraine. All patients were male, aged 40–60 years, diagnosed with ischemic heart disease (IHD), and examined over the last 10 years (2014–2024). The groups were comparable in age.

**Methods.** Doppler echocardiography was performed using the Diagnostic Ultrasound System DS-N3 (Mindray). Statistical analysis was carried out using SPSS version 26.

проведена за допомогою комп'ютерної програми SPSS 26.

**Результати.** У ВС серед всіх показників тільки середнє значення товщини міжшлуночкової перетинки (тМШП) перевищувало межі норми, однак при цьому індекс маси міокарда лівого шлуночка (іММ) залишався в нормі. В той же час середні значення показників структур і функцій міокарда лівого шлуночка (ЛШ) в УЛНА та КГ були значно більшими, ніж у ВС. Серед порушень структури міокарда у всіх обстежених переважали випадки потовщення стінок ЛШ більше 10 мм. Потовщення задньої стінки (ЗС) ЛШ було майже у кожного 2-го ВС, однак в УЛНА та КГ таких випадків було на 21,1 % та 21,7 % більше ( $p < 0,01$ ). Гіпертрофія МШП визначена у 78,5 % ВС, проте в УЛНА цей показник переважав ( $p < 0,05$ ). Потовщення МШП більше 14 мм в УЛНА визначена в 20,7 % випадків, що вдвічі переважало дані у ВС та в КГ ( $p < 0,05$ ). ВС переважно мали нормальну геометрію ЛШ, що в 2,5 рази було більше, ніж в УЛНА ( $p < 0,001$ ) і в 2,2 рази, ніж в КГ ( $p < 0,01$ ). В той же час в КГ більшість пацієнтів мала концентричну ГЛШ і це було в 2 рази більше, ніж у ВС ( $p < 0,05$ ) а УЛНА – ексцентричну ГЛШ, що теж було в 2 рази більше, ніж у ВС ( $p < 0,01$ ). Майже кожен 2-й ВС мав збільшення ММ  $> 224$  г та кожен 3-й – іММ ЛШ  $> 115$  г/м<sup>2</sup>. Однак достовірно вищими, ніж у них, ці показники були в УЛНА ( $p < 0,001$ ) та КГ ( $p < 0,001$ ). Розмір лівого передсердя (ЛП) перевищував межі норми у пацієнтів КГ та різниця з даними в УЛНА і ВС була достовірна. В порівнянні з даними у ВС серед УЛНА переважали хворі з кінцево діастолічним розміром  $> 59$  мм і кінцево систолічним розміром  $> 39,8$  мм ( $p < 0,001$ ) та в КГ відповідно ( $p < 0,05$ ).

**Висновки.** Більш виражені зміни міокарда в УЛНА на ЧАЕС в порівнянні з ВС можуть бути обумовлені тривалішим перебігом ІХС. Отримані результати свідчать про несприятливий перебіг хвороби у всіх обстежених групах, високий ризик розвитку та прогресування серцевої недостатності та можуть бути використані для оптимізації лікування та профілактики.

**Results.** Among MP, only the mean interventricular septal (IVS) thickness exceeded normal values; however, the left ventricular (LV) mass index (MI) remained within the normal range. At the same time, the mean parameters of LV myocardial structure and function in EW and CG were significantly higher than in MP. Among structural myocardial abnormalities in all examined patients, LV posterior wall thickening greater than 10 mm predominated. Thickening of the LV posterior wall was observed in almost every second MP; however, such cases were 21.1% and 21.7% more frequent in EW and CG, respectively ( $p < 0.01$ ). IVS hypertrophy was detected in 78.5% of MP, but this indicator was significantly higher in EW ( $p < 0.05$ ). IVS thickness greater than 14 mm was observed in 20.7% of EW, which was twice as frequent as in MP and CG ( $p < 0.05$ ). MP predominantly had normal LV geometry, which was 2.5 times more frequent than in EW ( $p < 0.001$ ) and 2.2 times more frequent than in CG ( $p < 0.01$ ). In contrast, most CG patients had concentric LV hypertrophy, which was twice as frequent as in MP ( $p < 0.05$ ), while EW predominantly had eccentric LV hypertrophy, also twice as frequent as in MP ( $p < 0.01$ ). Almost every second MP had an LV mass  $> 224$  g, and every third MP had an LV mass index  $> 115$  g/m<sup>2</sup>. However, these indicators were significantly higher in EW ( $p < 0.001$ ) and CG ( $p < 0.001$ ). Left atrial size exceeded normal limits in CG patients, and the differences compared with EW and MP were statistically significant. Compared with MP, patients with an end-diastolic dimension  $> 59$  mm and an end-systolic dimension  $> 39.8$  mm were more prevalent among EW ( $p < 0.001$ ) and CG ( $p < 0.05$ ), respectively.

**Conclusions.** More pronounced myocardial changes in Chernobyl accident emergency workers compared with military personnel may be associated with a longer duration of IHD. The obtained results indicate an unfavorable course of the disease in all examined groups, a high risk of development and progression of heart failure, and may be used to optimize treatment and prevention strategies.

## ОЦІНКА ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РАДІОЧУТЛИВОСТІ ЛЮДИНИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИТОГЕНЕТИЧНОГО ТА МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ

Неумерзицька Л. В., Курінний Д. А.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

## ASSESSMENT OF INDIVIDUAL RADIOSENSITIVITY USING CYTOGENETIC AND MOLECULAR GENETIC ANALYSIS

Neumerzhitska L. V., Kurinnyi D. A.

State institution «National Scientific Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Іонізуюче випромінювання є одним із найпотужніших мутагенних факторів, що впливає на геном людини. Вивчення індивідуальної радіочутливості має ключове значення для прогнозування ризику розвитку онкопатології та формування персоналізованих стратегій радіозахисту.

**Мета** дослідження. Комплексна оцінка геномної нестабільності та індивідуальної чутливості до опромінення на основі цитогенетичних і молекулярно-генетичних показників.

**Методи.** Експериментальні дослідження проведено *in vitro* на культурі лімфоцитів периферичної крові умовно здорових волонтерів після опромінення гамма-випромінюванням (1,0 Гр). Використано інтегрований підхід, що поєднує цитогенетичний аналіз хромосомних аберацій, молекулярно-генетичні тести для оцінки пошкоджень ДНК та епігенетичні методи для вивчення змін у метилюванні.

**Результати.** Дослідження показало, що іонізуюче випромінювання викликає комплексні зміни на різних рівнях організації геному: від хромосомних перебудов до молекулярних та епігенетичних порушень. Цитогенетичний аналіз виявив достовірне підвищення частоти абераційних метафаз та специфічних маркерів радіаційного впливу (дицентричних хромосом). Молекулярно-генетичні дослідження із застосуванням кометного тесту – гель електрофорезу засвідчили зростання рівня одно- та дволанцюгових розривів ДНК, що супроводжувалося міжіндивідуальними відмінностями у ступені пошкоджень. Епігенетичний аналіз показав зміни у метилюванні ДНК, а оцінка апоптозу підтвердила активацію програмованої клітинної смерті у відповідь на опромінення.

**Background.** Ionizing radiation remains one of the most powerful mutagenic factors affecting the human genome. Understanding individual radiosensitivity is crucial for predicting cancer risk and for developing strategies in personalized medicine and radiation protection.

**Aim.** To evaluate genome instability and individual sensitivity to irradiation by integrating cytogenetic and molecular genetic approaches.

**Methods.** Experimental studies were conducted *in vitro* on human peripheral blood lymphocyte cultures exposed to gamma irradiation (1.0 Gy). A comprehensive approach was applied, combining cytogenetic analysis of chromosomal aberrations with molecular and epigenetic assays to assess DNA damage and repair capacity.

**Results.** The study demonstrated that ionizing radiation induces complex changes at multiple levels of genome organization. Cytogenetic analysis revealed a significant increase in aberrant metaphases and chromosomal abnormalities, including dicentric chromosomes as specific markers of radiation exposure. Molecular assays (comet test) showed elevated levels of single- and double-strand DNA breaks, with pronounced interindividual variability, indicating differences in radiosensitivity among subjects. Epigenetic evaluation revealed alterations in DNA methylation patterns, while apoptosis assays confirmed activation of programmed cell death in response to irradiation. Importantly, the variability in DNA damage and epigenetic changes highlights the relevance of assessing individual radiosensitivity rather than relying solely on population-based averages.

**Висновки.** Отримані результати підтверджують, що індивідуальна радіочутливість є критичним чинником у формуванні післярадіаційних патологій. Комплексний *in vitro* підхід, який поєднує цитогенетичний та молекулярно-генетичний аналіз, має практичне значення для біомедичної діагностики, оцінки ризику та розробки персоналізованих стратегій радіозахисту. Це відкриває нові перспективи для медицини майбутнього, де врахування індивідуальної генетичної схильності стане основою профілактики та лікування.

**Conclusions.** Ionizing radiation triggers genome destabilization manifested at chromosomal, molecular, and epigenetic levels. The integrated *in vitro* approach combining cytogenetic and molecular genetic methods provides valuable diagnostic tools for confirming radiation-induced mutagenesis and for identifying individuals at higher risk. These findings have practical implications for biomedical diagnostics, improvement of genome stability assessment, and the development of personalized strategies in radiation protection and oncology.

## ЩОДО МОЖЛИВОГО ВПЛИВУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НА РАДІОАКТИВНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТОВИХ ВОД У ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

Панасюк М.<sup>1</sup>, Бузинний М.<sup>2</sup>, Кіреєв С.<sup>3</sup>, Сосонна Н.<sup>1</sup>, Коваленко І.<sup>1</sup>, Михайлова Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут проблем безпеки АЕС, Національної академії наук України, Чорнобиль, Україна

<sup>2</sup>Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М.Марзєєва Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

<sup>3</sup>Державне спеціалізоване підприємство «Екоцентр», Чорнобиль, Україна

## REGARDING THE POSSIBLE IMPACT OF FOREST FIRES ON THE RADIOACTIVE POLLUTION OF GROUNDWATER IN THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

Panasiuk M.<sup>1</sup>, Buzynnyi M.<sup>2</sup>, Kirieiev S.<sup>3</sup>, Sosonna N.<sup>1</sup>, Kovalenko I.<sup>1</sup>, Mykhailova L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, National Academy of Sciences of Ukraine, Chornobyl, Ukraine

<sup>2</sup>State Institution O.M. Marzheiev Institute of Public Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>State Specialized Enterprise «Ecocentre», Chornobyl, Ukraine

Забруднення деревини в Чорнобильській зоні відчуження (ЧЗВ) <sup>137</sup>Cs та <sup>90</sup>Sr сягає десятків кБк/кг. Пожежі – це стихійні лиха, які докорінно змінюють лісову екосистему. Найбільші пожежі в ЧЗВ сталися у 2020 році в тимчасовому сховищі радіоактивних відходів (ТСПВ), відомому як «Рудий ліс», де було зафіксовано пік активності <sup>90</sup>Sr у деревині. Згодом рівень <sup>90</sup>Sr у зразках ґрунтових вод із спостережних свердловин на цій ділянці ЧЗВ збільшився у 2–60 разів, піднявшись приблизно з 2 до близько 180 Бк/л, на кінець 2022 року. У лабораторному експерименті використовувалися типові зразки соснової деревини та лісової підстилки. Лабораторні дослідження показують, що спалювання 1 кг сухої соснової деревини утворює приблизно 2,8 г золи, із концентрацією <sup>90</sup>Sr у цій золи, що приблизно в 360 разів вища. Питома активність <sup>90</sup>Sr у зразках деревини коливалася від 160 Бк/кг до 3 400 кБк/кг. За умов експерименту питома активність <sup>90</sup>Sr у зразках фільтрату коливалася від 0,5 Бк/л до 0,72 кБк/л. Частка <sup>90</sup>Sr, що вилуговувалася під час експерименту, коливалася від 12 % до 33 % для деревної золи та від 10,8 % до 13,2 % для золи лісової підстилки. За оцінками, при повному згорянні 10% деревини на території горіння ТСПВ «Рудий ліс» із попелу під впливом дворічної кількості опадів вивільняється вторинне джерело <sup>90</sup>Sr, доступне для міграції з ґрунтовими водами, з інтенсивністю щонайменше 0,69 ГБк/га або понад 17 ГБк/га в зоні траншейного поховання «Рудий ліс». За цих умов це

Wood in the Chornobyl Exclusion Zone (CEZ) with <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr exceeds 10 kBq/kg. Fires are natural disasters that fundamentally alter forest ecosystems. The biggest fires in the CEZ happened in 2020 at the temporary radioactive waste storage facility (PTLRW) known as «Red Forest», where the highest <sup>90</sup>Sr activity in wood was recorded. Afterward, the level of <sup>90</sup>Sr in groundwater samples from observation wells in this part of the CEZ increased by 2 to 60 times, rising from about 2 to roughly 180 Bq/l beginning in late 2022. The laboratory experiment used typical pinewood and forest litter samples. Laboratory studies show that burning 1 kg of dry pinewood produces about 2.8 g of ash, with a <sup>90</sup>Sr concentration in the ash roughly 360 times higher. The specific activity of <sup>90</sup>Sr in the ash from six wood samples ranged from 160 to 3400 kBq/kg. Under suitable experimental conditions, the specific activity of <sup>90</sup>Sr in the leachate samples ranged from 0.5 to 0.72 kBq/L. The proportion of <sup>90</sup>Sr leached during the experiment varied from 12% to 33% for wood ash and 10.8% to 13.2% for forest litter ash. The complete combustion of 10% of the wood in the burn site area of the PTLRW «Red Forest» CEZ, influenced by a two-year rainfall volume, releases a secondary source of <sup>90</sup>Sr that can migrate with groundwater, with an intensity of at least 0.69 GBq/ha or more than 17 GBq/ha in the trench burial area of «Red Forest».

джерело може досягати 3,1 ТБк на площі 4500 га, що відповідає ПТЛРВ. Мінерали, що містяться в деревній золі, легко вимиваються водою, що призводить до збільшення мінералізації ґрунтових вод та підвищення іонної сили. Це, у свою чергу, знижує сорбційну здатність ґрунту та підвищує міграційну здатність <sup>90</sup>Sr у водоносному горизонті. Згорання деревини та лісової підстилки внаслідок лісової пожежі концентрує радіоактивність у попелі, який лежить на поверхні ґрунту, роблячи його вразливим до швидкого вимивання атмосферними опадами. В результаті ця радіоактивність може стати значним локальним вторинним джерелом радіоактивного забруднення поверхневих і підземних вод, що вимагає оновлення регламентів моніторингу радіоактивності, зокрема у відповідних спостережних свердловинах ЧЗВ.

Under these conditions, this source could reach 3.1 TBq in the 4,500-hectare burn site area of the PTLRW «Red Forest». The minerals in wood ash are easily leached by water, which increases groundwater mineralization and ionic strength. This, in turn, decreases the soil's sorption capacity and promotes the migration of <sup>90</sup>Sr in the aquifer. The transformation of wood and forest litter into ash during a forest fire concentrates radioactivity on the soil surface, making it susceptible to rapid leaching by atmospheric precipitation. Consequently, this radioactivity can become a significant local source of radioactive contamination in surface and groundwater, necessitating updates to the radioactivity monitoring regulations for the CEZ's relevant observation wells.

## МЕДИКО-ПСИХОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ: СУБ'ЄКТИВНЕ МИСЛЕННЯ ТА ОБ'ЄКТИВНА РЕАЛЬНІСТЬ

Панченко О.А.

ДНП «Науково-практичний медичний реабілітаційно-діагностичний центр Міністерства охорони здоров'я України», м. Київ, Україна

### MEDICAL-PSYCHOLOGICAL CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL DISASTER: SUBJECTIVE THINKING AND OBJECTIVE REALITY

Panchenko O.

State Non-Profit Enterprise «Scientific and Practical Medical Rehabilitation and Diagnostic Centre of the Ministry of Health of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Вибух на Чорнобильській станції визнано глобальним катаклізмом, що за масштабами радіаційного впливу не має аналогів у світовій історії. На сьогодні дослідження психологічного стану постраждалих учасників ліквідації наслідків, не втрачає своєї пріоритетності. Це диктує потребу в розробці та інтеграції в медичну практику інноваційних методів клінічної реабілітації, спрямованих на відновлення людського капіталу.

**Мета** дослідження – дослідити розрив між реальними медичними наслідками Чорнобиля та їхнім суб'єктивним сприйняттям.

**Методи.** Клініко-психопатологічний метод – для вивчення структури «чорнобильського синдрому».

**Результати.** Події на ЧАЕС розглядаються як класичний приклад тривалого екстремального впливу, що дозволяє досліджувати динаміку психічних розладів у часі. Якщо в початковий період після катастрофи фахівці фіксували переважно гостру тривожність та невротичні прояви, то за десятиліття спостережень картина змінилася на користь депресивних станів та апатії. Такі трансформації вказують на перехід стресу в хронічну фазу, де домінують механізми психологічного захисту, засновані на фаталістичному сприйнятті власної долі. Динамічне спостереження впродовж чотирьох десятиліть підтверджує, що майже у всього контингенту осіб, залучених до ліквідації аварії на ЧАЕС, відбулися стійкі трансформації особистісного профілю та дезадаптація у соціумі. Ключову роль у генезі цих станів відіграють не стільки органічні ураження ЦНС, скільки підсвідомі захисні структури психіки. Саме вони стають перепоною для повноцінної реалізації особистості у професійній та міжособис-

**Relevance.** The Chernobyl Nuclear Power Plant disaster is considered one of the most significant technogenic catastrophes, with no direct analogues in terms of the scale of radiological exposure. The long-term psychological condition of individuals involved in the liquidation of its consequences remains an important area of research. This determines the need for the development and implementation of effective clinical rehabilitation approaches aimed at restoring functional capacity and quality of life.

The **aim** of the study is to examine the discrepancy between the objective medical consequences of the Chernobyl disaster and their subjective perception among affected individuals.

**Methods.** A clinical-psychopathological method was applied to analyze the structure and manifestations of the so-called «Chernobyl syndrome».

**Results.** The Chernobyl disaster can be regarded as a model of prolonged exposure to extreme stress, allowing for the assessment of long-term dynamics of mental disorders. In the early postdisaster period, anxiety and neurotic symptoms were predominant. Over time, a shift toward depressive states, apathy, and reduced emotional responsiveness has been observed. These changes reflect the transition of stress reactions into a chronic phase. This phase is characterized by the formation of stable maladaptive psychological patterns, including fatalistic attitudes and reduced coping capacity. Long-term observations indicate that a significant proportion of individuals involved in the liquidation process developed persistent personality changes and experienced difficulties in social adaptation. The find-

ings suggest that these conditions are associated not only with possible organic effects on the central nervous system but also, to a considerable extent, with psychological mechanisms, including unconscious defense processes. These mechanisms may limit individual functioning in professional and interpersonal domains. Therefore, the study of such conditions requires a comprehensive biopsychosocial approach. Available data indicate that the mental health consequences of the disaster may be comparable to or exceed its direct radiobiological effects in terms of their overall impact. A gradual increase in symptom severity over time has been observed, followed by stabilization at a certain level, described as a «saturation plateau». In this context, the development of effective rehabilitation strategies for individuals affected by the Chernobyl disaster and similar events is a priority. Such strategies should include a combination of clinical assessment, psychotherapeutic interventions, and targeted psychological correction. At the State Educational Institution «NPM RDC of the Ministry of Health of Ukraine», a comprehensive system of medical and psychological rehabilitation has been implemented. This system is based on an integrated approach combining clinical evaluation, pharmacotherapy, physical rehabilitation, and psychotherapeutic support. The rehabilitation process includes a range of therapeutic and preventive measures, integrating conventional medical approaches with supportive interventions, and is carried out by a multidisciplinary team.

**Висновки.** Всебічна стратегія корекції ментального стану ліквідаторів наслідків аварії на ЧАЕС охоплює широкий спектр реабілітаційних напрямів: від психологічного та психофізіологічного відновлення до реінтеграції особистості у професійне, сімейне та суспільне середовище. Такий підхід дозволяє нівелювати деструктивні наслідки катастрофи на всіх рівнях життєдіяльності пацієнта.

**Conclusions.** A comprehensive approach to the rehabilitation of individuals involved in the liquidation of the Chernobyl accident should address psychological, psychophysiological, and social aspects of recovery. Such an approach facilitates improved adaptation and supports reintegration into professional, family, and social environments, thereby reducing the long-term impact of the disaster.

## ТИРЕОЇДНА ЗАХВОРЮВАНІСТЬ У ВІДДАЛЕНІ СТРОКИ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС: РЕЗУЛЬТАТИ УКРАЇНСЬКО-АМЕРИКАНСЬКОГО КОГОРТНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Пастер І.П., Замотаєва Г.А., Лапікура О.В., Тронько М.Д.

Державна установа «Інститут ендокринології та обміну речовин ім. В.П. Комісаренка Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

## THYROID MORBIDITY IN THE LONG-TERM PERIOD AFTER THE CHORNOBYL ACCIDENT: RESULTS OF THE UKRAINIAN-AMERICAN COHORT STUDY

Pasteur I.P., Zamotayeva H.A., Lapikura O.V., Tronko M.D.

State Institution «V.P. Komisarenko Institute of Endocrinology and Metabolism of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Аварія на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС) призвела до масштабного радіоактивного забруднення, при цьому основним дозуютьовальним чинником для населення, особливо дітей і підлітків, були радіоактивні ізотопи йоду (переважно I-131), мішенню яких є щитоподібна залоза (ЩЗ). Оцінка віддалених наслідків такого опромінення залишається актуальною науковою проблемою.

**Мета** дослідження. Оцінити показники тиреоїдної захворюваності серед учасників Українсько-Американської програми «Науковий проєкт вивчення раку та інших захворювань щитоподібної залози в Україні в результаті аварії на Чорнобильській АЕС» (УАП) у віддалені строки після аварії та провести їх порівняльний аналіз з офіційними епідеміологічними даними для відповідних регіонів і України загалом.

**Матеріал і методи.** У 1998–2000 роках у межах класичного проспективного когортного дослідження, що реалізується у співпраці ДУ «Інститут ендокринології та обміну речовин ім. В.П. Комісаренка НАМН України» та Національного інституту раку США (National Cancer Institute, USA), було сформовано когорту осіб, які: а) на момент аварії постійно проживали або тимчасово перебували в найбільш радіаційно забруднених районах Житомирської, Київської та Чернігівської областей; б) були віком до 18 років на час аварії; в) пройшли радіометрію ЩЗ у перші тижні після аварії; г) були відібрані за методом випадкової вибірки. Програма обстеження включала реєстрацію, ультразвукове дослідження ЩЗ, лабораторні аналізи (тиреотропний гормон, вільний тироксин, тиреоглобулін, іонізований кальцій, антитіла до тиреопероксидази та тиреоглобулі-

**Background.** The accident at the Chornobyl Nuclear Power Plant (CNPP) resulted in extensive radioactive contamination, with radioactive iodine isotopes - primarily iodine-131 (I-131) - constituting the principal source of radiation exposure for the population, particularly among children and adolescents, due to their selective uptake by the thyroid gland.

**Objective.** To assess the incidence of thyroid diseases among participants of the Ukrainian-American Project «Study of Thyroid Cancer and Other Thyroid Diseases in Ukraine Following the Chornobyl Accident» (UAP) in the long-term post-accident period and to conduct a comparative analysis with official epidemiological data at both regional and national levels.

**Methods.** In 1998–2000, within a classical prospective cohort design implemented through collaboration between State Institution «V.P. Komisarenko Institute of Endocrinology and Metabolism of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» and the U.S. National Cancer Institute, a cohort was established comprising individuals who: (a) resided or stayed in the most contaminated districts of Zhytomyr, Kyiv, and Chernihiv regions; (b) were under 18 years of age at the time of the accident; (c) underwent thyroid radioactivity measurements in the first weeks after exposure; (d) were selected by random sampling. The screening protocol included participant registration, thyroid ultrasound, laboratory testing (thyroid-stimulating hormone, free thyroxine, thyroglobulin, ionized calcium, antibodies to thyroid peroxidase and thyroglobulin), urinary iodine assessment, endo-

ну), визначення йоду в сечі, консультацію ендокринолога та анкетування для реконструкції доз опромінення ЩЗ. За показаннями проводили поглиблені обстеження, зокрема тонкоголкову аспіраційну пункційну біопсію ЩЗ, і призначали відповідне лікування. Для аналізу використовували клінічні діагнози, встановлені за підсумковими ендокринологічними висновками. Проведено 5 активних циклів скринінгу: 1-й (1998–2000 роки), 2-й (2001–2003 роки), 3-й (2003–2005 роки), 4-й (2005–2008 роки) і 5-й (2012–2015 роки). Показники захворюваності розраховували з урахуванням середньої тривалості між обстеженнями та виражали у вигляді кількості випадків на 1000 людино-років. Статистичний аналіз виконували з використанням відповідних програмних пакетів. Усі учасники (або батьки неповнолітніх) надали письмову інформовану згоду.

**Результати.** За даними 5 циклів обстеження встановлено суттєво вищі показники захворюваності серед учасників УАП на злоякісні новоутворення ЩЗ, фолікулярну аденому, дифузний нетоксичний і токсичний зоб, вузловий нетоксичний зоб, аутоімунний тиреоїдит, післяопераційний та набутий гіпотиреоз порівняно з офіційними даними Міністерства охорони здоров'я України для відповідних регіонів і країни загалом. Підвищені показники значною мірою зумовлені особливостями реалізації УАП, притаманними масовим скринінговим програмам: активним медичним наглядом незалежно від наявності скарг, високою кваліфікацією персоналу, кращим матеріально-технічним забезпеченням і ширшим спектром діагностичних процедур. Додатково на відмінності могли впливати різні діагностичні критерії, йододефіцит у північних регіонах України та радіаційний фактор, дослідження якого є основною метою УАП.

**Висновки.** Показники захворюваності на основні види тиреоїдної патології серед учасників УАП через 12–29 років після аварії на ЧАЕС суттєво перевищують відповідні офіційні дані Міністерства охорони здоров'я України для регіонів та України за цей же період.

crinologist consultation, and dose-reconstruction questionnaire. When indicated, fine-needle aspiration biopsy and treatment were performed. Final endocrinological diagnoses were used for subsequent analyses. Five screening cycles were conducted: 1998–2000; 2001–2003; 2003–2005; 2005–2008 and 2012–2015. Incidence rates were estimated with consideration of the average follow-up interval between screening visits and expressed per 1,000 person-years. Statistical analyses were conducted using validated statistical software. Written informed consent was obtained from all adult participants and from parents of minor children.

**Results.** Based on data from five screening cycles, substantially higher incidence rates were observed among UAP participants for thyroid malignancies, follicular adenoma, diffuse non-toxic and toxic goiter, nodular non-toxic goiter, autoimmune thyroiditis, as well as postoperative and acquired hypothyroidism, compared with the official statistics of the Ministry of Health of Ukraine for the corresponding regions and for the country overall. The elevated rates are largely attributable to specific features of the UAP implementation inherent to large-scale screening programs, including active medical surveillance irrespective of symptoms, high professional expertise of clinical staff, superior technical and diagnostic resources, and the application of more comprehensive diagnostic procedures. Additional contributors to the observed differences may include variability in diagnostic criteria, iodine deficiency in the northern regions of Ukraine, and the radiation factor itself, which constitutes the principal focus of the UAP research framework.

**Conclusions.** Incidence rates of the major thyroid disorders among UAP participants 12–29 years after the Chornobyl accident were substantially higher than the corresponding official statistics reported by the Ministry of Health of Ukraine for both the affected regions and the country as a whole over the same period.

## СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ НЕЙРОПСИХІАТРИЧНИХ НАСЛІДКІВ ВПЛИВУ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У ЛІКВІДАТОРІВ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС

Перчук І. В., Куц К. В., Крейніс Г. Ю., Антипчук К. Ю.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

## SYSTEMIC ANALYSIS OF NEUROPSYCHIATRIC CONSEQUENCES OF IONIZING RADIATION EXPOSURE IN CHORNOBYL ACCIDENT CLEAN-UP WORKERS

Perchuk I. V., Kuts K. V., Kreinis H. Yu., Antypchuk K. Yu.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** В умовах сьогодення існує необхідність розширення знань і уявлень про вплив іонізуючої радіації на головний мозок людини, як при аварійному, так і при професійному опроміненні для удосконалення радіаційної безпеки і радіологічного захисту при плановому та післяаварійному виведенні з експлуатації об'єктів ядерного паливно-енергетичного комплексу, потенційних радіаційних надзвичайних ситуаціях – аваріях на ядерних реакторах, ядерному тероризмі із використанням диспергуючого радіологічного пристрою («брудної бомби»), а також застосуванні тактичної і стратегічної ядерної зброї.

**Мета роботи.** Узагальнення сучасних доказів щодо спектра нейропсихіатричних порушень в учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції (УЛНА на ЧАЕС).

**Матеріали та методи.** Проаналізовано дані клінічних, нейропсихіатричних, нейропсихологічних досліджень УЛНА на ЧАЕС.

**Результати.** Аналіз стану психічного здоров'я ліквідаторів у динаміці (1987–2025 рр.) свідчить про домінування органічних порушень психіки та поведінки з чіткою тенденцією до формування структурних змін мозкової тканини, що клінічно маніфестує через комплекс психоневрологічних симптомів (зокрема депресивний, тривожний, емоційно-лабільний (астенічний) та розлад особистості). Був виявлений комплексний та мультидоменний характер психоневрологічної дезадаптації в довгостроковій перспективі після дії іонізуючого випромінювання та травматичного стресу аварійного періоду. Характерна значна поширеність коморбідності цереброваскулярних захворювань, органічних психічних та депресивних розладів переважно радіаційно-стресорного

**Background.** Under current conditions, there is a need to expand knowledge and understanding of the effects of ionizing radiation on the human brain, both in accidental and occupational exposure. This is important for improving radiation safety and radiological protection during planned and post-accident decommissioning of nuclear fuel and energy facilities, as well as in potential radiological emergencies such as nuclear reactor accidents, nuclear terrorism involving radiological dispersal devices («dirty bombs»), and the possible use of tactical or strategic nuclear weapons.

**Objective.** To summarize current evidence regarding the spectrum of neuropsychiatric disorders in Chornobyl accident clean-up workers (CACWs).

**Materials and Methods.** Data from clinical, neuropsychiatric, and neuropsychological studies of CACWs were analyzed.

**Results.** Longitudinal analysis of the mental health status of CACWs (1987–2025) demonstrates the predominance of organic mental and behavioral disorders with a clear tendency toward the development of structural changes in brain tissue, clinically manifested by a complex of psychoneurological symptoms, including depressive, anxiety, emotionally labile (asthenic) syndromes and personality disorders. A complex and multidomain pattern of psychoneurological maladaptation was identified in the long-term period following exposure to ionizing radiation and traumatic stress associated with the Chornobyl accident. A high prevalence of comorbid cerebrovascular diseases, organic mental disorders, and depressive disorders, predominantly of a radiation-stress origin, was observed.

характеру. Вважається, що ці ефекти є результатом поєднання атеросклеротичних, серцево-судинних, хронічних цереброваскулярних (ХМС, «хвороба малих судин»), нейродегенеративних, нейрозапальних та інших процесів. Виявлений статистично значущий зв'язок в УЛНА між індивідуальною дозою опромінення та ризиком розвитку нейропсихіатричних захворювань, частота та вираженість яких збільшуються пропорційно до дози опромінення, більшої за 0,30 Зв. Нейропсихіатричні дослідження у віддалений період опромінення у дорослому віці верифікували в УЛНА наявність психопатологічних проявів та нейрокогнітивної дисфункції. Зокрема, нейрокогнітивний дефіцит відповідає рівню помірного когнітивного порушення та й вище із погіршенням вербальної пам'яті та аудиторно-вербального навчання; концентрації уваги; планування; абстрактного мислення, вербалізації; елементами акустико-гностичної (сенсорної) афазії Верніке тощо. Зберігається дисгармонія інтелекту за рахунок зменшення вербального коефіцієнта інтелектуальності (vIQ), що має тенденцію до збільшення відповідно до дози опромінення, особливо при дозах  $\geq 0,30$  Зв. Й зараз УЛНА мають підвищені рівні реактивної та особистісної тривожності, а також посттравматичних стресових розладів (ПТСР). Спостерігається неврологічний дефіцит легкого ступеню.

**Висновки.** Тривале вивчення когорти УЛНА на ЧАЕС дозволяє зробити висновки, що іонізуюче випромінювання у поєднанні з травматичним стресом призводить до формування стійкої нейропсихіатричної патології, де провідну роль відіграють органічні порушення. Прогресуючий характер виявлених порушень, особливо у контексті вікового старіння пацієнтів, робить нейропсихіатричний тягар однією з найгостріших медико-соціальних проблем сучасності. Необхідний позитивний моніторинг когорти УЛНА на ЧАЕС із застосуванням комплексного мультидисциплінарного інтегрованого підходу, що дозволить мінімізувати інвалідизацію та покращити прогноз.

These effects are considered to result from the interaction of atherosclerotic, cardiovascular, chronic cerebrovascular (including cerebral small vessel disease), neurodegenerative, neuroinflammatory, and other pathological processes. A statistically significant association was found between the individual radiation dose and the risk of developing neuropsychiatric disorders, the frequency and severity of which increase proportionally with radiation doses exceeding 0.30 Sv. Neuropsychiatric studies conducted in the long-term period after adult radiation exposure confirmed the presence of psychopathological manifestations and neurocognitive dysfunction in CACWs. In particular, the identified neurocognitive deficit corresponds to the level of mild cognitive impairment or higher, with deterioration of verbal memory and auditory-verbal learning, attention concentration, planning ability, abstract thinking, and verbalization, as well as features of acoustic-gnostic (sensory) Wernicke-type aphasia. Intellectual functioning remains disharmonious due to a decrease in verbal intelligence quotient (vIQ), which tends to increase proportionally with radiation dose, especially at doses  $\geq 0.30$  Sv. CACWs also demonstrate elevated levels of state and trait anxiety, as well as post-traumatic stress disorder (PTSD). A mild neurological deficit is also observed.

**Conclusions.** Long-term follow-up of the CACW cohort indicates that ionizing radiation combined with traumatic stress contributes to the development of persistent neuropsychiatric pathology, with organic disorders playing a leading role. The progressive nature of these disorders, particularly in the context of age-related aging of the cohort, makes the neuropsychiatric burden one of the most significant medical and social challenges today. Lifelong monitoring of the CACW cohort using a comprehensive multidisciplinary and integrated approach is required to minimize disability and improve prognosis.

## СОРОКАРІЧНИЙ МОНІТОРИНГ АЛКОГОЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ У ЛІКВІДАТОРІВ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС: КЛІНІКО-ЕПІДЕМІОЛОГІЧНІ ТА ДЕМОГРАФІЧНІ ПІДСУМКИ

Пострелко В. М.<sup>1</sup>, Гуцько Н. В.<sup>2</sup>, Білий Д. О.<sup>2</sup>, Короткова Н. В.<sup>2</sup>, Дубова Н. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Приватний заклад вищої освіти «Міжнародна академія екології та медицини», м. Київ, 03187, Україна

<sup>2</sup>Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

## FORTY-YEAR MONITORING OF ALCOHOL DEPENDENCE IN CHORNOBYL NPP ACCIDENT CLEAN-UP WORKERS: CLINICAL, EPIDEMIOLOGICAL AND DEMOGRAPHIC OUTCOMES

Postrelko V. M.<sup>1</sup>, Gunko N. V.<sup>2</sup>, Bilyi D. O.<sup>2</sup>, Korotkova N. V.<sup>2</sup>, Dubova N. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Private Higher Education Institution «International Academy of Ecology and Medicine», Kyiv, 03187, Ukraine

<sup>2</sup>State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Haematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Вступ.** Чорнобильська катастрофа 1986 р. є унікальною науковою моделлю для вивчення довгострокових медико-психологічних наслідків поєданого впливу іонізуючого випромінювання та хронічного екстремального стресу. Сорок років систематичного клінічного та епідеміологічного спостереження когорти учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) дозволили сформувати доказову базу щодо закономірностей розвитку адиктивних розладів, передусім синдрому залежності від алкоголю (СЗА). В умовах тривалого збройного конфлікту в Україні отримані дані набувають особливого практичного значення – як підґрунтя для реабілітаційних протоколів щодо ветеранів та інших осіб, що зазнали психотравматичних впливів.

**Мета роботи.** Узагальнити результати сорокарічного клінічного та епідеміологічного моніторингу СЗА у УЛНА, встановити структуру його медико-демографічних наслідків та оцінити внесок алкоголь-асоційованої смертності у втрати потенційного життя когорти.

**Матеріали та методи.** Проаналізовано знеособлені дані Державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи (ДРУ), за 1987–2017 рр. (понад 197,6 тис. УЛНА), а також результати клінічного дослідження вибірки за 1989 – 2007 рр. (680 УЛНА). Поширеність СЗА визначалася за клініко-психопатологічним обстеженням і психометричним тестуванням; ці

**Introduction.** The 1986 Chernobyl disaster represents a unique scientific model for studying the long-term medical and psychological consequences of combined exposure to ionising radiation and chronic extreme stress. Four decades of systematic clinical and epidemiological follow-up of the accident clean-up worker (ACW) cohort have made it possible to build an evidence base on the patterns of addictive disorder development, primarily alcohol dependence syndrome (ADS). Under conditions of the prolonged armed conflict in Ukraine, these findings acquire particular practical relevance as a foundation for rehabilitation protocols for veterans and other individuals exposed to psychotraumatic influences.

**Aim.** To summarise the results of forty-year clinical and epidemiological monitoring of ADS in ACWs, to determine the structure of its medical and demographic consequences, and to assess the contribution of alcohol-associated mortality to years of potential life lost in the cohort.

**Materials and Methods.** We analysed anonymised data from the State Register of Ukraine of Persons Affected by the Chernobyl Disaster (SRU) for 1987–2017 (>197,600 ACWs), as well as results of a clinical study of a sample observed in 1989–2007 (680 ACWs). ADS prevalence was determined by clinical-psychopathological examination and psychometric testing; these figures relate only to the 680-person sample and are not extrapolated to the entire registry cohort. Alcohol-associated mortality was identified

показники стосуються лише вибірки з 680 осіб і не є екстраполяцією на всю реєстрову когорту. Алкоголь-асоційована смертність ідентифікувалась за кодами МКХ-10 (Т51,0–Т51,9) та МКХ-9 (980,0–980,9). Втрачені роки потенційного життя (YPLL) розраховували відповідно до методології ВООЗ із використанням таблиць очікуваної тривалості життя Держстату України.

**Результати.** У клінічній вибірці з 680 УЛНА поширеність СЗА становила 26,8% проти 13,6% у контрольній групі; 12,2% були у ремісії, 14,6% мали активну симптоматику, 17,2% належали до групи ризику, тобто алкоголь-пов'язані проблеми реєструвалися у 44% обстежених. У підгрупі чоловіків виявлено нелінійну (порогового типу) залежність між дозою зовнішнього опромінення та ризиком СЗА ( $p < 0,05$ ). До незалежних предикторів належали вік на момент аварії <35 років, низька освіта, незадовільний матеріальний стан, наявність психічної та соматоневрологічної патології й спадкова обтяженість адиктивними розладами. За даними ДРУ, у 1987–2017 рр. зареєстровано 1 411 смертей від токсичної дії алкоголю серед УЛНА (18,2% усіх смертей від зовнішніх причин). Максимум припадав на 2001–2005 рр.; пік віку – 45–49 років (26,1%). У працездатному віці померли 93,0% чоловіків і 72,2% жінок; середня тривалість життя становила  $47,79 \pm 2,49$  року. Сумарні YPLL від алкоголь-асоційованих смертей дорівнювали 31,47 тис. людино-років (у середньому 22,3 року на одного померлого), 50–60% цих втрат припадали на вік 35–49 років.

**Висновки.** СЗА є поширеним наслідком психосоматичної дезадаптації УЛНА; клінічні дані ( $n = 680$ ) демонструють значно вищу поширеність порівняно з контрольною популяцією. Алкоголь-асоційована смертність у реєстровій когорті ( $n > 197,6$  тис.) зумовлює істотні демографічні втрати і потребує врахування при розробці протоколів медико-психологічної допомоги постраждалим від техногенних катастроф і тривалих збройних конфліктів.

using ICD-10 codes T51.0–T51.9 and ICD-9 codes 980.0–980.9. Years of potential life lost (YPLL) were calculated in accordance with WHO methodology using life-table data from the State Statistics Service of Ukraine.

**Results.** In the clinical sample of 680 ACWs, ADS prevalence was 26.8% versus 13.6% in the control group; 12.2% were in remission, 14.6% had active symptomatology, and 17.2% belonged to the risk group, that is, alcohol-related problems were recorded in 44% of examined individuals. In the male subgroup, a non-linear (threshold-type) relationship was found between external radiation dose and ADS risk ( $p < 0.05$ ). Independent predictors included age <35 years at the time of the accident, low educational level, poor material status, presence of psychiatric and somato-neurological pathology, and family history of addictive disorders. According to SRU data for 1987–2017, 1,411 deaths from the toxic effects of alcohol were registered among ACWs (18.2% of all deaths from external causes). The maximum number of deaths occurred in 2001–2005; the peak age was 45–49 years (26.1%). Among men, 93.0% of deaths occurred at working age, and among women, 72.2%; mean age at death was  $47.79 \pm 2.49$  years. Total YPLL due to alcohol-associated deaths amounted to 31,470 person-years (on average 22.3 years per deceased), with 50–60% of these losses occurring in the 35–49-year age group.

**Conclusions.** ADS is a frequent consequence of psychosomatic maladaptation in ACWs; clinical data ( $n = 680$ ) show substantially higher prevalence compared with the control population. Alcohol-associated mortality in the registry cohort ( $n > 197,600$ ) leads to significant demographic losses and must be taken into account in developing medical and psychological care protocols for individuals affected by technological disasters and prolonged armed conflicts.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ НАЯВНОСТІ ЦИРКУЛЮЮЧИХ КЛІТИН-ПОПЕРЕДНИКІВ У ПЕРИФЕРІЙНІЙ КРОВІ ОПРОМІНЕНИХ ЛАБОРАТОРНИХ ТВАРИН

Руссу І. З., Білько Д. І., Білько Н. М.

Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ, Україна

## EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF THE PRESENCE OF CIRCULATING PROGENITOR CELLS IN THE PERIPHERAL BLOOD OF IRRADIATED LABORATORY ANIMALS

Russu I. Z., Bilko D. I., Bilko N. M.

National University of Kyiv-Mohyla Academy, Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Дія іонізуючої радіації на гемопоез суттєвою мірою змінює його функціонування, адже ця система є однією з найбільш радіочутливих. Серед наслідків такого впливу можуть бути, зокрема, порушення процесів дозрівання та виходу клітин у периферійну кров, а також зміни у кровотворному мікрооточенні.

**Мета** дослідження. Визначення наявності гемопоетичних клітин-попередників, що циркулюють у периферійній крові лабораторних тварин, за умов їх опромінення у різних дозах.

**Методи.** Дослідження було проведено із використанням щурів Wistar, підданих дії іонізуючої радіації. Моделі опромінення лабораторних тварин розроблені в Інституті експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р. Є. Кавецького НАН України. У даній роботі оцінювали показники кровотворення щурів, опромінених у сублетальній дозі 6 Гр (зовнішнє одноразове  $\gamma$ -опромінення), а також підданих довготривалому внутрішньому опроміненню стронцієм-90 (поглинута у скелеті доза – 1 Гр). Для визначення наявності у крові клітин-попередників, що володіють клоногенним потенціалом, було проведено культивування мононуклеарів у культурі *in vivo*. З цією метою здійснювали забір периферійної крові тварин із правого передсердя, після чого відбувалося розділення клітин на градієнті щільності. Готували суспензію клітин для подальшого культивування на основі повного живильного середовища та напіврідкого агару. Гелеві дифузійні камери із суспензією імплантували мишам-реципієнтам лінії СВА та проводили культивування клітин *in vivo* протягом 18 діб.

**Результати.** Аналіз результатів культивування гемопоетичних клітин у культурі *in vivo* дав змогу

**Relevance.** The action of ionizing radiation on hematopoiesis significantly changes its functioning, since this system is one of the most radiosensitive. Among the consequences of such influence may be, in particular, disruption of the processes of cells' maturation and their release into the peripheral blood, as well as the changes in the hematopoietic microenvironment.

**Aim** of the study. Determination of the presence of hematopoietic progenitor cells, which circulate in the peripheral blood of laboratory animals, in case of their irradiation in different doses.

**Methods.** The investigation was conducted using Wistar rats exposed to ionizing radiation. Models of laboratory animals' irradiation were developed at the R. E. Kavetsky Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology of NAS of Ukraine. In this work the indices of hematopoiesis were assessed in rats irradiated at a sublethal dose of 6 Gy (external single  $\gamma$ -irradiation) and also subjected to long-term internal irradiation with strontium-90 (dose absorbed in the skeleton – 1 Gy). To determine the presence of progenitor cells with clonogenic potential in the blood, the cultivation of mononuclear cells was performed in the *in vivo* culture. For this purpose, peripheral blood of animals was collected from the right atrium, after which cells separation was carried out on a density gradient. Cell suspension was prepared for further cultivation on the basis of complete nutrient medium and semi-solid agar. Gel diffusion chambers with suspension were implanted into recipient CBA mice and the cultivation was performed *in vivo* for 18 days.

**Results.** Analysis of the results of hematopoietic cells' cultivation in the *in vivo* culture allowed assessing the content of progenitor cells in the

оцінити вміст клітин-попередників у периферійній крові опромінених тварин. В обох групах спостерігався підвищений рівень незрілих форм клітин, що здатні давати початок колоніям у культурі, у порівнянні із контрольною групою інтактних щурів. Зокрема, дія іонізуючої радіації в сублетальній дозі зумовлювала вихід у кровоносне русло значної кількості гемопоетичних клітин-попередників (ефективність колонієутворення складала  $10,7 \pm 1,0$  КУО на 100 тис. експлантованих клітин). Довготривале внутрішнє опромінення також зумовлювало появу у крові клітин із високим проліферативним потенціалом (ефективність колонієутворення складала  $5,1 \pm 0,7$  КУО). У той же час у контрольній групі тварин такі колонії в культурі були практично відсутні ( $0,8 \pm 0,4$  КУО на 100 тис. експлантованих клітин). Таким чином, оцінка клоногенного потенціалу мононуклеарів периферійної крові дозволила визначити рівень ушкодження гемопоезу внаслідок дії іонізуючого опромінення.

**Висновки.** Отже, вплив іонізуючої радіації у різних дозах на кровотворну систему лабораторних тварин зумовлював появу у їхній периферійній крові підвищеної кількості незрілих гемопоетичних клітин-попередників, у порівнянні із контрольною групою, де такі клітини у нормі практично відсутні. Це свідчило про суттєві порушення у функціонуванні кровотворної системи опромінених тварин, ушкодження процесів нормального дозрівання гемопоетичних клітин та їх виходу у кровоносне русло.

peripheral blood of irradiated animals. In both groups, an increased level of immature cell forms, capable of giving rise to colonies in culture, was observed, compared to the control group of intact rats. In particular, the action of ionizing radiation in a sublethal dose caused the release of a significant number of hematopoietic progenitor cells into the bloodstream (colony-forming efficiency was  $10.7 \pm 1.0$  CFU per 100,000 explanted cells). Long-term internal irradiation has also caused the appearance of cells with high proliferative potential in the blood (colony-forming efficiency was  $5.1 \pm 0.7$  CFU). At the same time, in the control group of animals, such colonies were practically absent in the culture ( $0.8 \pm 0.4$  CFU per 100,000 explanted cells). So, the assessment of the clonogenic potential of peripheral blood mononuclear cells allowed determining the level of damage to hematopoiesis due to the action of ionizing radiation.

**Conclusions.** Thus, the influence of ionizing radiation in different doses on the hematopoietic system of laboratory animals caused the appearance in their peripheral blood of an increased number of immature hematopoietic progenitor cells, compared to the control group, in which these cells are normally practically absent. This revealed significant disorders in the functioning of the irradiated animals' hematopoietic system, damage to the processes of hematopoietic cells' normal maturation and their release into the bloodstream.

## ПЕРЕБУДОВА ВЕГЕТАТИВНОЇ РЕГУЛЯЦІЇ У ВОЯКІВ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ, ЯКІ ПРИЙМАЛИ УЧАСТЬ В БОЙОВИХ ДІЯХ

Сидоренко Г.В., Білий Д.О.

Державна Установа «Національний Науковий Центр Радіаційної Медицини, Гематології і Онкології» НАМН України, Київ, Україна

**Актуальність.** В умовах проведення бойових дій зростає активність симпато-адреналової активності і як наслідок порушення регуляторних механізмів, адаптації до чинників зовнішнього і внутрішнього середовища.

**Мета** дослідження. На основі дослідження варіабельності серцевого ритму (ВСР) можлива оцінка вегетативної регуляції, змін симпатичної і парасимпатичної активності для виявлення осіб з високим ризиком для попередження ускладнень перебігу гіпертонічної (ГХ) та ішемічної (ІХС) хвороб серця.

**Об'єкт і методи.** Групу І склали 84 учасника бойових дій (УББ) з ГХ, середній вік  $45,9 \pm 0,9$  р, II – контроль – 125 осіб з ГХ, середній вік  $47,5 \pm 0,7$  р. Показники ВСР досліджували за добу: середнє всіх 5 хвилинних сегментів R–R за весь час реєстрації (SDNN-i, мс); квадратний корінь середньої суми квадратів відмінностей подовженості сусідніх інтервалів R–R (RMSSD, мс); відсоток сусідніх R–R інтервалів, різниця між якими перевищує 50 мс (pNN50, %); загальну потужність спектру (TP, мс<sup>2</sup>); потужність в діапазоні дуже низьких (VLF, мс<sup>2</sup>), низьких (LF, мс<sup>2</sup>), високих (HF, мс<sup>2</sup>) частот; відношення LF/HF ум.од.

**Результати.** Встановлено вірогідне зменшення ВСР в УББ відносно контролю. Зменшення SDNN-i в УББ становило 6,4 % ( $p < 0,05$ ), суттєве зменшення SDNN-i <40 мс у них реєстрували в 23,8 % проти 11,2 % в контролі. Зменшення по-

казників, які відображають парасимпатичну складову становило в I групі відносно контролю для RMSSD – 17,3 % ( $p < 0,05$ ), pNN50 – 29,0 %. В I гр. зниження RMSSD < 15 мс встановлено в 17,9 %, pNN50 < 1,5 % – 21,2 % обстежених, відповідні зміни в контролі становили 8,0 % і 10,4 %. У більшості випадків в I групі реєстрували зменшення складових спектру відносно контролю. Зниження TP становило 647 мс<sup>2</sup>, у 23,8 % встановлено TP < 2000 мс<sup>2</sup>, в контролі TP < 2000 реєстрували у 12,5 % обстежених. Відношення LF/HF переважало 2,0 ум. од. і в середньому становило  $4,2 \pm 0,1$  ум.од. проти  $3,7 \pm 0,1$  ум.од в контролі. У 25 % обстежених в I гр. і 20 % – II гр. реєстрували LF/HF > 5,0 ум.од., що характеризувало перебудову вегетативної регуляції серцевої діяльності у бік гіперсимпатикотонії. За даними кореляційного аналізу встановлено обернений достовірний зв'язок показників ВСР і парасимпатичну активність, і рівнем артеріального тиску, індексом маси міокарда.

**Висновок.** В УББ встановлено зміни показників ВСР, що характеризують дисбаланс між симпатичною і парасимпатичною активністю з перевагою гіперсимпатикотонії. У них достовірно збільшувалась частота випадків з SDNN-i < 40 мс, RMSSD < 15 мс, pNN50 % < 1,5 %, TP < 2000 мс<sup>2</sup>, LF/HF > 5,0 ум.од, що заслуговує особливої уваги для виявлення і корекції вегетативної регуляції серцевої діяльності, попередження ускладнень перебігу хвороб системи кровообігу.

## ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РАДІОЛОГІЧНИХ ЛАБОРАТОРІЙ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я, ЩО ЗДІЙСНЮЮТЬ ДОЗИМЕТРИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА ВИМІРЮВАННЯ РАДІОАКТИВНОСТІ У НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Сорочинський Б.В.<sup>1</sup>, Акбаров К.<sup>1</sup>, Оперчук А.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Бюро ВООЗ в Україні, Київ, Україна

<sup>2</sup>Центр Громадського Здоров'я МОЗ України, Київ, Україна

## LABORATORY ASSESSMENT TOOL FOR PUBLIC HEALTH SYSTEM'S RADIOLOGICAL LABORATORIES PERFORMING DOSIMETRY CONTROL AND MEASURING ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY

Sorochynskyi B.V.<sup>1</sup>, Akbarov K.<sup>1</sup>, Operchuk A.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>WHO country office in Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Public Health Center of Ukraine, MoH of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Зростаючі ризики, що пов'язані з радіаційними надзвичайними ситуаціями, становлять серйозну загрозу для здоров'я людей, особливо в зонах конфліктів. Ця ситуація вимагає створення надійних механізмів для оцінки можливостей і потенціалу лабораторій, що здійснюють моніторинг радіоактивності навколишнього середовища.

**Мета** дослідження. Розробити інструмент для стандартизованого оцінювання радіологічних лабораторій, що є у системі охорони здоров'я, і які здійснюють дозиметричний контроль та вимірювання радіоактивності у навколишньому середовищі (LAT RadLab) з метою визначення потреб цих лабораторій та їхнього потенціалу щодо реагування на хімічні, біологічні, радіологічні та ядерні (ХБРЯ) загрози.

**Методи.** Інструмент було реалізовано у вигляді модульного електронного опитувальника на базі інструменту Excel. Питання для оцінки об'єднано в кілька окремих модулів, що відповідають основним завданням радіологічної лабораторії. Кожен з модулів містить різні індикатори, для яких сформульовано кілька питань (загалом, до опитувальника включено понад 250 питань) із трьома можливими варіантами відповідей, що оцінюються за стандартизованою системою: «Так» приносить 1 бал, «Частково» — 0,5 бала, а «Ні» — 0 балів. Після заповнення RadLab LAT відсоток позитивних відповідей за кожним індикатором розраховується автоматично, що дозволяє кількісно оцінити здатність лабораторії виконувати, чи інші завдання в межах своєї компетенції. За

**Relevance.** The increasing risks associated with radiation-related emergencies pose significant threats to human health, especially in conflict zones. This situation calls for strong mechanisms to evaluate the capacity of environmental radioactivity monitoring laboratories.

**Research purpose.** To develop the Laboratory Assessment Tool for the standardized evaluation of radiological laboratories within public health systems performing dosimetry control, monitoring and measuring environmental radioactivity (LAT RadLab) to assess the laboratories' needs and potential to respond to the CBRN threats.

**Methods.** The tool was implemented as a modular electronic questionnaire, allowing for standardized evaluations and generating quantitative metrics across 12 indicators. The assessment questions are organized into a few distinct modules, each corresponding to different tasks performed by the radiology laboratory. Each module contains various indicators, and each indicator comprises multiple questions (over 250 in total) with closed-ended responses. Each response is scored using a standardized system: «Yes» earns 1 point, «Partially» earns 0.5 points, and «No» earns 0 points. Excel formulas calculate both indicator-specific and overall capacity scores. Once the RadLab LAT is completed, the percentage of positive responses for each indicator is calculated

індикатори було обрано такі ключові напрямки діяльності лабораторії:

- Індикатор 1. Акредитація
- Індикатор 2. Підготовка до аналізу
- Індикатор 3. Персонал та умови праці
- Індикатор 4. Індивідуальний дозиметричний контроль
- Індикатор 5. Наявне обладнання та його стан
- Індикатор 6. Здатність проводити радіохімічний аналіз
- Індикатор 7. Наявність і укомплектованість мобільної лабораторії
- Показник 8. Можливість визначити певні радіонукліди
- Показник 9. Моніторинг навколишнього середовища та дозиметрія
- Показник 10. Контроль якості
- Показник 11. Готовність до реагування на надзвичайні ситуації
- Показник 12. Група швидкого реагування

Максимальне значення для кожного показника встановлено на рівні 100 відсотків, виходячи з припущення, що на кожне запитання надано ствердну відповідь. Кількість позитивних або частково позитивних відповідей для кожного показника обчислюється як середній відсоток.

**Результати.** Ми використовували LAT RadLab для он-сайт-оцінювання радіологічних лабораторій, що є у складі різних обласних ЦКПХ в Україні. Головною метою є не ранжування лабораторій, що оцінюються, а систематизація зібраної інформації та виявлення найважливіших викликів, з якими стикаються радіологічні лабораторії. Відповіді на запитання опитувальника LAT RadLab дають загальне уявлення про стан, потреби та можливості радіологічної лабораторії на основі конкретних показників, пов'язаних з її діяльністю.

**Висновки.** LAT RadLab продемонстрував свою ефективність, та забезпечує гнучкий підхід для ширшого міжнародного застосування.

automatically, quantifying the laboratory's ability to perform various tasks within its scope. The following key laboratory activities were selected as indicators:

- Indicator 1. Accreditation
- Indicator 2. Preparation for analysis
- Indicator 3. Personnel and working conditions
- Indicator 4. Individual dosimetric control
- Indicator 5. Equipment
- Indicator 6. Radiochemical analysis
- Indicator 7. Mobile laboratory
- Indicator 8. Detection of selected radionuclides
- Indicator 9. Environmental monitoring and dosimetry
- Indicator 10. Quality control
- Indicator 11. Emergencies
- Indicator 12. Rapid Response Team

The maximum value for each indicator is set at 100 percent, assuming a positive response to each question. The number of positive or partially positive answers for each indicator is calculated with an average percentage.

**Results.** The responses to the LAT RadLab questions provide a general overview of the situation, needs, and capabilities of the radiology laboratory, based on specific indicators related to its activities. We have utilized LAT RadLab for onsite assessments of radiology laboratories affiliated with various regional CDCPs in Ukraine. The main purpose of the assessment is not to rank the laboratories being evaluated. Instead, it aims to organize the collected information and identify the most significant challenges faced by radiology laboratories.

**Conclusions.** The LAT RadLab has demonstrated its effectiveness in the assessments conducted in Ukraine and provides a flexible approach for broader international application.

## ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ У ВІДДАЛЕНОМУ ПІСЛЯВАРІЙНОМУ ПЕРІОДІ (40-ві РОКОВИНИ АВАРІЇ НА ЧАЕС)

Сушко В.О., Колосинська О.О., Вдовенко В.Ю.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ Україна

## LONG-TERM CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL DISASTER FOR THE HEALTH OF THE POPULATION OF UKRAINE IN THE REMOTE POST-ACCIDENT PERIOD (40<sup>th</sup> ANNIVERSARY OF THE CHORNOBYL NPP ACCIDENT)

Sushko V.O., Kolosynska O.O., Vdovenko V.Yu.

State Institution «National Scientific Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of The National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Через чотири десятиліття після аварії на ЧАЕС її віддалені наслідки мають суттєвий вплив на стан постраждалого населення України. Постраждале населення включає учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА), евакуйованих та мешканців радіоактивно забруднених територій (РЗТ).

**Мета.** Систематизувати сучасні дані щодо структури онкологічної та неонкологічної захворюваності, смертності, інвалідності та дозових чинників у головних когортах постраждалих, а також визначити пріоритети медичних контрзаходів напередодні 40-х роковин аварії.

**Матеріали і методи.** Огляд даних Державного реєстру постраждалих, багаторічних описових і аналітичних епідеміологічних міжнародними і вітчизняних досліджень, результатів радіаційно-гігієнічного моніторингу РЗТ та нормативно-правових рішень 2024–2025 років щодо дозиметричної паспортизації. Основні показники: стандартизовані коефіцієнти захворюваності (SIR), надлишковий відносний ризик на одиницю дози (ERR/Гр), структура смертності та інвалідності.

**Результати.** Поточні індивідуальні дози формуються переважно внутрішнім опроміненням (надходження <sup>137</sup>Cs з місцевих харчових продуктів та дарів лісу) на фоні неоднорідного територіального забруднення. Загальна онкологічна захворюваність у мешканців РЗТ та евакуйованих у середньому не перевищує національних рівнів, тоді як у УЛНА спостерігається підвищення сумарної онкозахворюваності (SIR > 1) з виразними сигнатурами для раку щитоподібної за-

**Background.** Four decades after the Chernobyl accident, its long-term consequences have a significant impact on the state of the affected population of Ukraine. The affected population includes participants in the liquidation of the consequences of the accident (PLCA) – clean-up workers, evacuees and residents of radioactively contaminated territories (RCT).

**Objective.** To systematize modern data on the structure of oncological and non-oncological morbidity, mortality, disability and dose factors in the main cohorts of victims, as well as to determine the priorities of medical countermeasures on the eve of the 40<sup>th</sup> anniversary of the accident.

**Materials and methods.** Review of data from the State Register of Victims, long-term descriptive and analytical epidemiological international and Ukrainian studies, results of radiation and hygienic monitoring of RCT and regulatory decisions of 2024–2025 on dosimetric certification. Main indicators: standardized incidence rates (SIR), excess relative risk per unit dose (ERR/Gy), structure of mortality and disability.

**Results.** Current individual doses are formed mainly by internal irradiation (intake of <sup>137</sup>Cs from local food products and forest gifts) against the background of heterogeneous territorial pollution. The total oncological incidence in residents of RCT and evacuees does not exceed national levels on average, while in PLCA there is an increase in the total cancer incidence (SIR > 1) with distinct sig-

натури (найбільше зростання у ліквідаторів), а також підвищенням ризику лейкемій/лімфом; для лейкемій та мієломної хвороби показано дозозалежні ефекти (ERR/Гр > 0). Домінуючий внесок у тягар хвороб становлять неонкологічні стани: серцево-судинні та цереброваскулярні захворювання, хронічні респіраторні (ХОЗЛ та БА), ендокринні та травні хвороби; у більшості представників когорт фіксується мультиморбідність (3–5 хронічних захворювань на особу) й стійке підвищення смертності з кінця 1990-х років, яке у найбільш вразливих групах перевищує показники загальної популяції. Війна 2022 року посилила ризики через руйнування медичної інфраструктури північних регіонів і ускладнення доступу до допомоги.

**Висновки.** Через 40 років після аварії головний тягар для постраждалих зумовлений неонкологічними захворюваннями (передусім кардіо- та цереброваскулярними), доповненими підвищеним ризиком окремих солідних і гематологічних неоплазій у специфічних когортах (УЛНА). Пріоритети охорони здоров'я включають: відновлення системної дозиметричної паспортизації та контролю внутрішнього опромінення; довготривале диспансерне спостереження кардіоваскулярного, ендокринно-метаболического, неврологічного та пульмонологічного профілю; скринінг і раннє виявлення раку щитоподібної залози та молочної залози, онкогематологічних захворювань та раку легень у груп ризику; підтримку функціонування реєстру постраждалих з переходом до аналітичної моделі даних; гарантування безпеки радіаційно-небезпечних об'єктів проммайданчику ЧАЕС; адресні медико-соціальні програми для осіб, які зазнали опромінення у дитячому віці. Представлені висновки можуть слугувати основою для корекції протирадіаційних, клінічних та соціальних заходів у найближчій перспективі.

natures for thyroid cancer (the largest increase in liquidators), as well as an increased risk of leukemia/lymphomas; for leukemias and myeloma, dose-dependent effects (ERR/Gy > 0) are shown. The dominant contribution to the burden of diseases is made up of non-oncological conditions: cardiovascular and cerebrovascular diseases, chronic respiratory (COPD and BA), endocrine and digestive diseases; Most representatives of the cohorts have multimorbidity (3–5 chronic diseases per person) and a steady increase in mortality since the late 1990s, which in the most vulnerable groups exceeds the indicators of the general population. The war of 2022 increased the risks due to the destruction of the medical infrastructure of the northern regions and the complication of access to care. **Conclusions.** 40 years after the accident, the main burden for victims is due to non-oncological diseases (primarily cardio- and cerebrovascular), complemented by an increased risk of individual solid and hematological neoplasias in specific cohorts (ULNAs). Health priorities include: restoration of systemic dosimetric certification and internal radiation control; long-term dispensary follow-up of cardiovascular, endocrine-metabolic, neurological and pulmonological profile; screening and early detection of thyroid and breast cancer, oncohematological diseases and lung cancer in risk groups; support for the functioning of the register of victims with the transition to an analytical data model; guaranteeing the safety of radiation-hazardous facilities of the Chernobyl NPP industrial site; targeted medical and social programs for persons who were exposed to radiation in childhood. The presented findings can serve as a basis for the correction of antiradiation, clinical and social measures in the near future.

## СТРУКТУРА ПРИЧИН СМЕРТІ ЧЕРЕЗ НАЙПОШИРЕНІШІ НЕОНКОЛОГІЧНІ ТА ОНКОЛОГІЧНІ ЗАХВОРЮВАННЯ СЕРЕД ПОСТРАЖДАЛИХ ВНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС У ВІДДАЛЕНОМУ ПІСЛЯАВАРІЙНОМУ ПЕРІОДІ ЗА МАТЕРІАЛАМИ МЕДИЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ПРИЧИННОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗАХВОРЮВАНЬ З ВПЛИВОМ НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Сушко В.О., Колосинська О.О., Вдовенко В.Ю.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України», Київ, Україна*

**Актуальність.** З плином часу після Чорнобильської катастрофи зростає смертність серед постраждалих, що підтверджено демографічними та популяційними дослідженнями. Проблема експертизи причин смерті у постраждалих контингентів набуває все більшої актуальності. З 1988 року на базі ННЦРМГО діє Центральна міжвідомча експертна комісія по встановленню причинного зв'язку хвороб, що привели інвалідності і смерті з дією іонізуючого випромінювання та інших шкідливих чинників внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС (ЦМЕК).

**Мета** роботи – провести системний аналіз структури смертності через найпоширеніші неонкологічні та онкологічні хвороби серед постраждалих внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС за матеріалами медичної експертизи причинного зв'язку захворювань з впливом наслідків Чорнобильської катастрофи.

**Методи.** Робота виконана в дизайні ретроспективного-проспективного дослідження за матеріалами медичних експертних справ ЦМЕК (впродовж 2013–2024 років розглянуто 64 174 експертних медичні справи, в т.ч. 21 085 посмертно) із застосуванням системного аналітичного підходу та доказового статистичного аналізу. Станом на 01.01.2026 року статус постраждалих внаслідок Чорнобильської катастрофи в Україні мали 1 460 626 дорослих осіб, в тому числі 208 545 дітей. Загальна кількість постраждалих громадян дорослого віку станом на 01.01.2026 року порівняно з 2008 роком зменшилася на 582 455 осіб, або на 31,75 % (з 1 834 536 до 1 252 081 осіб). Кількість учасників ліквідації аварії (ЛНА) за цей період скоротилась з 276 327 до 135 180, або на 141 147 осіб (51,08 %), тобто впродовж останніх 17 років помер більше ніж кожний другий учасник ліквідації наслідків

аварії на ЧАЕС. Кількість потерпілих дорослого віку скоротилась з 1 558 209 у 2008 році до 908 336 у 2026 році, або на 41,71 % (649 873 особи). Кількість дітей, постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС, скоротилась з 534 568 осіб у 2008 році до 208 545 у 2026 році, або на 326 023 особи. Дружина/чоловік (вдови) померлого громадянина, смерть якого пов'язана з Чорнобильською катастрофою – 39 788. Серед постраждалих до категорії 1 (наявність встановленого шляхом медичної експертизи зв'язку захворювання, що призвело до інвалідності з впливом наслідків аварії на ЧАЕС) станом на 01.01.2026 року належали 87 206 осіб (43 727 – ЛНА, 43 479 – потерпілі); дітей інвалідів ЧАЕС – 824), максимум цієї групи постраждалих зафіксований в 2014 рік – 117 158 осіб. В структурі посмертних справ медичної експертизи зв'язку захворювань що призвели до смерті постраждалих абсолютно домінуючою є категорія 1 – 51,25 % (10 807 випадків), які як пацієнти з експертно вивіреним причинно-наслідковим зв'язком з впливом радіаційного опромінення та наслідками аварії на ЧАЕС і підтвердженою втратою працездатності мали більш важкий декомпенсований перебіг захворювань. На другому місці – ліквідатори 2А категорії (22,01 %), які брали участь у роботах з ЛНА і на перших етапах аварії та отримали підвищені дози опромінення. Злоякісні новоутворення стали в 2013–2024 роках стали причиною смерті 52,59 % постраждалих. У структурі онкологічних посмертних експертних випадків (n = 11 090) впродовж 2019–2024 років основна причина смерті належить до онкогематологічних захворювань (16,16 %), раку товстої кишки (15,00 %), раку молочної залози у жінок (12,69 %), раку передміхурової залози у чоловіків (13,38 %), раку легень та верхніх дихальних шляхів (10,15 %). Причиною

смерті через основні серцево-судинні захворювання у постраждалих внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС стали 42,79 % випадків експертизи, хронічні захворювання дихальної системи – 3,0 %, інші хвороби загалом – 2,9 %. Хронічна серцево-судинна патологія стала причиною смерті у 44,0 % (n=4 468) випадків неонкологічних захворювань, хронічна церебро-васкулярна патологія – у 45,56 % (n=4 554) випадків. Ці результати відповідають найважливішими непухлинними та пухлинними ефектами через 40 років після аварії, а саме підвищенню захворюваності та смертності учасників ЛНА від серцево-судинних захворювань; високої частоти цереброваскулярних захворювань та когнітивних порушень у учасників ЛНА; високому рівню захворюваності на усі форми раку в учасників ЛНА, що перевищує національний рівень; істотному перевищенню очікуваного рівня захворюваності на рак щитовидної залози серед УЛНА – у 4,4 рази, евакуйованих – у 4,0 рази, мешканців забруднених тери-

торій – у 1,3 рази; захворюваність на лейкемії та лімфоми УЛНА у 1,5 рази та евакуйованих у 1,4 рази вищими за національний рівень; захворюваність жінок-учасниць ЛНА на рак молочної залози у 1,6 рази вища за очікуваний рівень.

**Висновки.** Впродовж 2008-2025 років має місце суттєве зростання смертності і, відповідно, скорочення чисельності всіх категорій постраждалих, але в першу чергу – учасників ЛНА. У віддалений післяаварійний період медична експертиза щодо наслідків аварії на Чорнобильській АЕС демонструють стійке й незмінне домінування онкологічних та тяжких хронічних неонкологічних захворювань як визначальних причин втрати здоров'я, інвалідності та смерті постраждалих, а збереження значного обсягу експертної діяльності на тлі тривалого скорочення чисельності контингентів переконливо засвідчує системний, прогресуючий і соціально значущий характер віддалених медичних наслідків катастрофи та ключову доказову роль медичної експертизи у їх встановленні.

## STRUCTURE OF CAUSES OF DEATH DUE TO THE MOST COMMON NON-ONCOLOGICAL AND ONCOLOGICAL DISEASES AMONG VICTIMS OF THE CHORNOBYL ACCIDENT IN THE REMOTE POST-ACCIDENT PERIOD ACCORDING TO THE MATERIALS OF THE MEDICAL EXPERTISE OF THE CAUSAL RELATIONSHIP OF DISEASES WITH THE IMPACT OF THE CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE

Sushko V.O., Kolosynska O.O., Vdovenko V.Yu.

*State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of The National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine*

**Background.** With the passage of time after the Chernobyl catastrophe, mortality among the affected people (participants of works for liquidation of accident consequences – PLC and victims – evacuees, residents of contaminated territories) is increasing, which is confirmed by demographic and population studies. The problem of expertise of the causes of death in the affected contingents is becoming more and more relevant. Since 1988, the Central Interdepartmental Expert Commission (CIEC) has been operating on the basis of the NRCRMHO to establish the causal relationship of diseases that led to disability and death with the action of ionizing radiation and other harmful factors as a result of the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant.

**Objective.** To conduct a systematic analysis of the structure of mortality due to the most common non-oncological and oncological diseases among the affected contingents of the Chernobyl accident based on the materials of the medical expertise of the causal relationship of diseases with the impact of the consequences of the Chernobyl catastrophe.

**Methods.** The work was carried out in the design of a retrospective-prospective study based on the materials of medical expert cases of CIEC (during 2013–2024, 64,174 expert medical cases were considered, including 21,085 post-mortem) using a systematic analytical approach and evidence-based statistical analysis. As of 01.01.2026, 1,460,626 adults, including 208,545 children, had the status of victims of the Chernobyl catastrophe in Ukraine. The total number of affected adult citizens as of 01.01.2026 compared to 2008 decreased by 582,455 people, or by 31.75 % (from 1,834,536 to 1,252,081 people). The number of PLC during this period decreased from 276,327 to 135,180, or by 141,147 people (51.08 %), that is, over the past 17 years, more than every second participant in the liqui-

dation of the consequences of the Chernobyl accident – clean-up worker has died. The number of adult victims decreased from 1,558,209 in 2008 to 908,336 in 2026, or by 41.71 % (649,873 people). The number of children affected by the Chernobyl accident decreased from 534,568 people in 2008 to 208,545 in 2026, or by 326,023 people. The number of spouse (widow) of a deceased citizen whose death is related to the Chernobyl catastrophe on 01 January 2026 is 39,788 people. As of 01.01.2026, 87,206 people (43,727 – clean-up worker, 43,479 – victims) belonged to category 1 (the presence of a link between the disease that led to disability with the impact of the Chernobyl accident) as of 01.01.2026 (43,727 – PLC, 43,479 – victims); children disabled by the Chernobyl NPP – 824), the maximum of this group of category 1 was recorded in 2014 – 117,158 people. In the structure of post-mortem cases of medical expertise of the causal relationship of diseases that led to disability and death with the action of ionizing radiation, category 1 – 51.25 % (10,807 cases) is absolutely dominant, which, as patients with an expertly verified causal relationship and confirmed disability, had a more severe decompensated course of diseases. In second place are the PLC of the 2A category (22.01 %), who participated in the work the first stages of the accident and received high radiation exposure. Malignant neoplasms in 2013–2024 caused the death of 52.59 % of cases that undergone medical expertise. In the structure of oncological post-mortem expert cases (n=11,090) during 2019–2024, the main cause of death is oncohematological diseases (16.16 %), colon cancer (15.00 %), breast cancer in women (12.69 %), prostate cancer in men (13.38 %), lung and upper respiratory tract cancer (10.15 %). The cause of death due to major cardiovascular diseases in people affected due to the Chernobyl accident (PLC and victims) was 42.79 % of

expertise cases, chronic diseases of the respiratory system – 3.0 %, other diseases in general – 2.9 %. Chronic cardiovascular pathology caused death in 44.0 % (n=4,468) of non-oncological diseases, chronic cerebrovascular pathology in 45.56 % (n = 4,554) of cases. These results correspond to the most important non-tumor and tumor effects 40 years after the accident, namely an increase in the morbidity and mortality of PLC from cardiovascular diseases; high incidence of cerebrovascular disease and cognitive impairment in PLC; high incidence of all forms of cancer in PLC, which exceeds the national level; a significant excess of the expected incidence of thyroid cancer among PLC – by 4.4 times, evacuees – by 4.0 times, residents of contaminated territories – by 1.3 times; the incidence of leukemia and lymphoma of the PLC is 1.5 times and the incidence of evacuees is 1.4 times higher than the national level; the incidence

of breast cancer in PLC-womens is 1.6 times higher than expected.

**Conclusions.** During 2008–2025, there was a significant increase in mortality and, accordingly, a reduction in the number of all categories of affected cohorts of people, but primarily PLC. In the remote post-accident period, medical expertise on the consequences of the Chernobyl accident demonstrates a stable and constant dominance of oncological and severe chronic non-oncological diseases as the determining causes of loss of health, disability and death of affected contingents, and the preservation of a significant amount of expert activity against the background of long-term reduction in the number of contingents convincingly testifies to the systemic, progressive and socially significant nature of the long-term medical consequences of the catastrophe and the key evidentiary role of medical expertise in their establishment.

## РАДІАЦІЙНО ІНДУКОВАНІ УРАЖЕННЯ БРОНХОЛЕГЕНЕВОЇ СИСТЕМИ ПРИ ІНГАЛЯЦІЙНОМУ НАДХОДЖЕННІ РАДІОНУКЛІДІВ ВНАСЛІДОК ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Сушко В. О., Швайко Л.І., Бази́ка К.Д., Колосинська О. О., Апосто́лова О.В.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна*

**Актуальність.** Аварія на Чорнобильській атомній електростанції спричинила масштабне радіоактивне забруднення довкілля та призвела до значного опромінення населення. Одним із провідних шляхів надходження радіонуклідів в організм став інгаляційний, що зумовило суттєве ураження бронхолегеневої системи. Найбільшого впливу зазнали учасники ліквідації наслідків аварії (УЛНА), особливо в ранній післяаварійний період. Враховуючи високу поширеність і тяжкість віддалених наслідків, проблема радіаційних уражень органів дихання залишається актуальною і сьогодні.

**Мета** роботи. Проаналізувати особливості формування, перебігу та віддалених наслідків уражень бронхолегеневої системи внаслідок інгаляційного надходження радіонуклідів після аварії на ЧАЕС.

**Матеріали та методи.** Проведено аналітичний огляд публікацій авторів і партнерів за 1988–2025 роки.

**Результати.** Інгаляційне надходження радіоактивних аерозолів було одним із ключових факторів формування внутрішнього опромінення у УЛНА 1986 року. Розподіл радіонуклідів у дихальних шляхах залежав від розміру часток: великі частки осідали у верхніх дихальних шляхах, тоді як дрібні проникали у бронхи та альвеоли, створюючи умови для тривалого локального опромінення тканин. Основний внесок у дозу опромінення легень забезпечували рутеній, нептуній і церій. Доведено, що внутрішнє опромінення реалізується переважно протягом першого року після аварії, тоді як у подальшому значення мають довгоживучі трансуранові елементи. Сумарні дози опромінення легеневої тканини у УЛНА були значно вищими, ніж у загального населення, що зумовило формування як ранніх, так і віддалених патологічних змін бронхолегеневої системи. Епідеміологічні дослідження свідчать про значне зростання захворюваності на хронічні неспецифічні захворювання легень серед УЛНА. Провідне місце в їх структурі займає хронічне обструктивне захворювання

легень, частка якого становить близько 77%. Встановлено достовірний зв'язок між рівнем опромінення та ризиком розвитку цієї патології (500+ мЗв). Клінічний перебіг уражень бронхолегеневої системи має характерні особливості. У ранньому періоді відзначається так званий «чорнобильський респіраторний синдром», який проявляється подразненням дихальних шляхів, кашлем і задишкою. Водночас початкові стадії захворювання характеризуються маловираженою симптоматикою. У подальшому відбувається прогресування патології з розвитком тяжких обструктивних порушень, гнійного ендобронхіту, частими загостреннями та зниженням функціональних показників дихання. Морфологічні зміни включають розвиток атрофічного ендобронхіту, фіброзу, деформації бронхів, емфіземи та пневмосклерозу. Функціональні дослідження виявляють порушення вентиляційної та дифузійної здатності легень, що нерідко супроводжується легеневою гіпертензією. Встановлено дозову залежність між ступенем опромінення та вираженістю функціональних порушень. Системний патоморфологічний аналіз верифікує у слизовій оболонці бронхів трансформованість регенераційних процесів, своєрідність ураження мікросудин, порушення фібрилогенезу та особливості хронізації запалення. Для УЛНА, які зазнали інгаляційної дії радіонуклідів була характерною наявність ознак прискорення оновлення клітинних популяцій та епітеліальні клітини зі зміненим фенотипом у слизовій оболонці бронхів, значна експресія плоскоклітинної метаплазії та виразної базально-клітинної гіперплазії поверхневого епітелію, а також дисплазії поверхневого епітелію різного ступеню; деформації, склерозу та гіалінозу епітеліальної базальної мембрани бронхів. Водночас у пацієнтів УЛНА встановлено значний спектр (9 підтипів) патології циліарного апарату війчастих клітин. Виявлення радіонуклідів у клітинах легеневої тканини підтверджує їх безпосередню участь у патогенезі цих змін. При проведенні мікробіологічного

аналізу мокротиння і ендобронхіального вмісту у УЛНА (1994–2004 рр.) був виділений цілий ряд мікроорганізмів, що відносяться як до резидентної, так і до патогенної мікрофлори. У всіх обстежених УЛНА при бактеріологічному дослідженні ендобронхіальних змивів були виділені мікроорганізми в асоціаціях 2-4 видів різних родів, які мали різну чутливість до антибактеріальних препаратів. За даними морфологічного ультраструктурного аналізу в УЛНА присутнє глибоке проникнення мікроорганізмів у власну пластинку слизової оболонки бронхів. Важливою особливістю є висока коморбідність у постраждалих, що включає патологію серцево-судинної, нервової, ендокринної систем і органів травлення. Це суттєво ускладнює перебіг бронхолегеневих захворювань і погіршує прогноз. Імунологічні зміни характеризуються порушенням клітинного та гуморального імунітету. У ранньому періоді переважає імунна недостатність, тоді як у віддаленому – активація цитотоксичних та імунокомплексних реакцій. Виявлено зв'язок між імунологічними показниками та ступенем порушення функції дихання. Формування патології має стадійний характер: від

гострих респіраторних проявів у перші місяці до розвитку хронічних обструктивних захворювань легень упродовж 10–15 років і підвищення ризику раку легень у віддаленому періоді (13–45 років після опромінення).

### Висновки

1. Бронхолегенева система є однією з основних мішеней при дії іонізуючого випромінювання в умовах Чорнобильської катастрофи.
2. Інгаляційне надходження радіонуклідів відіграє ключову роль у формуванні як ранніх, так і віддалених уражень органів дихання.
3. Провідною патологією є хронічне обструктивне захворювання легень, яке характеризується патоморфозом, прогресуючим перебігом і тяжкими функціональними порушеннями.
4. Встановлено дозову залежність між рівнем опромінення та розвитком клінічних, функціональних і імунологічних змін.
5. Ураження бронхолегеневої системи супроводжується високою коморбідністю та системними порушеннями організму.
6. У віддаленому періоді значно зростає ризик розвитку злоякісних новоутворень легень.

## RADIATION-INDUCED DAMAGES OF THE BRONCHOPULMONARY SYSTEM UNDER RADIONUCLIDES INHALATION AS A RESULT OF THE CHORNOBYL CATASTROPHE

Sushko V.O., Shvaiko L.I., Bazyka K.D., Kolosynska O.O., Apostolova O.V.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of The National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Background.** The accident at the Chernobyl nuclear power plant caused large-scale radioactive contamination of the environment and led to significant exposure of the population. One of the leading ways of radionuclide entry into the body was inhalation, which led to significant damages to the bronchopulmonary system. The participants of the liquidation of the consequences of the accident – clean-up workers (PLCA), especially in the early post-accident period, were most affected. Given the high prevalence and severity of long-term consequences, the problem of radiation damage of respiratory system remains actual today.

**Objective.** To analyze the features of the formation, course and long-term consequences of the bronchopulmonary system damage as a result of radionuclides inhalation after the Chernobyl accident.

**Materials and methods.** An analytical review of the publications of authors and partners for 1988–2025 was carried out.

**Results.** Inhalation intake of radioactive aerosols was one of the key factors in the formation of internal irradiation for the PLCA in 1986. The distribution of radionuclides in the respiratory tract depended on the size of the particles: large particles were deposited in the upper respiratory tract, while small particles penetrated into the bronchi and alveoli, creating conditions for long-term local irradiation of tissues. The main contribution to the dose of lung irradiation was provided by ruthenium, neptunium and cerium. It has been proven that internal irradiation is realized mainly during the first year after the accident, while in the future long-lived transuranic elements are important. The total doses of lung tissue irradiation in PLCA were significantly higher than in the general population, which led to the formation of both early and long-term pathological changes in the bronchopulmonary system. Epidemiological studies indicate a significant increase in the incidence of chronic nonspecific lung diseases among PLCA. The leading place in their structure is occupied by chronic obstructive pulmonary disease, the share of which is about 77%. A reliable relationship has been established between the level of radiation and the risk of developing this

pathology (500+ mSv). The clinical course of lesions of the bronchopulmonary system has characteristic features. In the early period, the so-called «Chernobyl respiratory syndrome» is noted, which is manifested by irritation of the respiratory tract, cough and shortness of breath. At the same time, the initial stages of the disease are characterized by mild symptoms. In the future, the pathology progresses with the development of severe obstructive disorders, purulent endobronchitis, frequent exacerbations and a decrease in respiratory function. Morphological changes include the development of atrophic endobronchitis, fibrosis, bronchial deformities, emphysema, and pneumosclerosis. Functional studies reveal a violation of the ventilation and diffusion ability of the lungs, which is often accompanied by pulmonary hypertension. A dose relationship between the degree of exposure and the severity of functional disorders has been established. Systemic pathomorphological analysis verified in the bronchial mucosa the transformability of regenerative processes, the peculiarity of microvascular damage, fibrilogenesis disorders and features of the chronicity of inflammation. PLCA exposed to the inhalation effect of radionuclides were characterized by the presence of signs of acceleration of cell population renewal and epithelial cells with an altered phenotype in the bronchial mucosa, significant expression of squamous cell metaplasia and expressive basal cell hyperplasia of the superficial epithelium, as well as dysplasia of the superficial epithelium of varying degrees; deformity, sclerosis and hyalinosis of the epithelial basement membrane of the bronchi. At the same time, a significant spectrum (9 subtypes) of the ciliary apparatus of ciliated cells has been established in patients of PLCA. The detection of radionuclides in lung tissue cells confirms their direct participation in the pathogenesis of these changes. During the microbiological analysis of sputum and endobronchial content in PLCA (1994–2004), a number of microorganisms belonging to both resident and pathogenic microflora were isolated. In all PLCA examined, during the bacteriological study of endobronchial swabs, microorganisms were isolated in associations of 2–4 species of different generation,

which had different sensitivity to antibacterial drugs. According to the morphological ultrastructural analysis in PLCA, there is a deep penetration of microorganisms into the own plate of the bronchial mucosa. An important feature is the high comorbidity in the victims, which includes pathology of the cardiovascular, nervous, endocrine and digestive systems. This significantly complicates the course of bronchopulmonary diseases and worsens the prognosis. Immunological changes are characterized by a violation of cellular and humoral immunity. In the early period, immune deficiency prevails, while in the distant period – the activation of cytotoxic and immunocomplex reactions. A relationship between immunological indicators and the degree of respiratory dysfunction has been revealed. The formation of pathology is of a staged nature: from acute respiratory manifestations in the first months to the development of chronic obstructive pulmonary diseases within 10–15 years and an increased risk of lung cancer in the long term (13–45 years after irradiation).

### Conclusions

1. The bronchopulmonary system is one of the main targets when exposed to ionizing radiation in the conditions of the Chernobyl catastrophe.
2. Inhalation intake of radionuclides plays a key role in the formation of both early and long-term respiratory damages.
3. The leading pathology is chronic obstructive pulmonary disease, which is characterized by pathomorphosis, progressive course and severe functional impairment.
4. A dose relationship between the level of exposure and the development of clinical, functional and immunological changes has been established.
5. Damage of the bronchopulmonary system is accompanied by high comorbidity and systemic disorders of the organism.
6. In the long term, the risk of developing malignant neoplasms of the lungs increases significantly.

## РАДІОБІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АВАРІЇ НА ЧАЕС

Талько В. В.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна*

## RADIOBIOLOGY ASPECTS OF THE CHORNOBYL NPP ACCIDENT

Talko V. V.

*State Institution «National Reserch Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Science of Ukraine», Kyiv, Ukraine*

Сучасна загальна (фундаментальна) радіобіологія являє собою комплексну міждисциплінарну область біологічної науки, що має чітко виділені окремі напрямки: медична радіобіологія (включає протирадіаційний захист і терапію, радіаційну гігієну, радіаційну імунологію і радіобіологію пухлин), радіаційна екологія, радіаційна генетика, сільськогосподарська радіобіологія, радіаційна цитологія, радіаційна біофізика, космічна радіобіологія тощо. Головним завданням радіобіології як фундаментальної науки, що складає предмет її досліджень, є вивчення закономірностей біологічної дії іонізуючої радіації на живий організм з метою оволодіння керування його реакціями на опромінення. Самостійне значення має похідне від головного завдання окремого великого напрямку так званої прикладної радіобіології, що слугує практичному втіленню завдань усіх напрямків радіобіології. Виходячи з методології теорії пізнання в науковому пізнанні є два рівні: емпіричний і теоретичний, в яких застосовуються загальні методи, відповідно, емпіричні (моделювання, факт, експеримент, опис і спостереження) і теоретичні (синтез і аналіз). Радіобіологія була і залишається значною мірою емпіричною науковою дисципліною, коли відповіді отримуються головним чином у результаті експерименту. Водночас розвиток радіобіології характеризується певними етапами (періодами), які завершуються формулюванням нових закономірностей, концепцій, законів, та переходом на вищий щабель наукового пізнання. В історії розвитку радіобіології виділяють чотири етапи. Четвертий етап розвитку радіобіології (сучасний) пов'язаний із впливом на біоту наслідків ядерних та інших техногенних катастроф, у тому числі, аварії на Чорнобильській АЕС. Чорнобильська катастрофа загострила увагу фахівців до проблем радіобіології та радіаційної медицини, серед яких особливої актуальності набули досліджен-

Modern general (fundamental) radiobiology is a complex interdisciplinary area of biological science, which has clearly identified separate areas: medical radiobiology (including radiation protection and therapy, radiation hygiene, radiation immunology and tumor radiobiology), radiation ecology, radiation genetics, agricultural radiobiology, radiation cytology, radiation biophysics, space radiobiology, etc. The main task of radiobiology as a fundamental science, which is the subject of its research, is to study the regularities of the biological action of ionizing radiation on a living organism in order to master the control of its reactions to irradiation. An independent significance is derived from the main task of a separate major direction of the so-called applied radiobiology, which serves as a practical implementation of the tasks of all directions of radiobiology. Based on the methodology of the theory of knowledge, there are two levels in scientific knowledge: empirical and theoretical, in which general methods are used, respectively, empirical (modeling, fact, experiment, description and observation) and theoretical (synthesis and analysis). Radiobiology was and remains to a large extent an empirical scientific discipline, when answers are obtained mainly as a result of an experiment. At the same time, the development of radiobiology is characterized by certain stages (periods), which end with the formulation of new patterns, concepts, laws, and the transition to a higher level of scientific knowledge. In the history of the development of radiobiology, four stages are distinguished. The fourth stage of the development of radiobiology (modern) is associated with the impact on biota of the consequences of nuclear and other man-made disasters, including the accident at the Chernobyl nuclear power plant. The Chernobyl disaster has drawn the attention of specialists to the problems of radiobiology and radiation medicine, among which the study of the

ня механізмів дії «малих» доз опромінення, ефектів сполучної дії іонізуючої радіації з іншими чинниками фізичної, хімічної або біологічної природи, а також розробка і випробування засобів з радіопротекторними властивостями. Паралельно із результатами клінічних та епідеміологічних досліджень з визначення віддалених медичних наслідків суттєвий доробок у вирішенні зазначених фундаментальних та прикладних проблем зроблено завдяки експериментальному моделюванню радіобіологічних ефектів Чорнобильської катастрофи. Зокрема, застосування методології, притаманній радіобіології як інтегративній міждисциплінарній науці, сприяло поглибленню знань щодо особливостей радіоадаптивної відповіді внаслідок інкорпорації радіонуклідів, хронічної та/або пролонгованої дії низько- та щільноіонізуючої радіації, а також ефективності існуючих та нових радіопротекторів і радіомодифікаторів. Отримані численні нові дані у радіобіологічних дослідженнях наслідків радіаційної аварії примусили переглянути деякі парадигми радіобіології і спонукали до формулювання нових парадигм. Серед пріоритетних радіобіологічних ефектів, які впливають на зміст парадигм, відзначено радіоадаптацію, індукцію геномної нестабільності, втрату здатності опромінених клітин адекватно сприймати позиційну інформацію, кумулятивність доз при хронічній дії радіації, нееквівалентність зовнішнього і внутрішнього опромінення. Оскільки віддзеркалення радіаційного ураження у формі тривалих епігенетичних змін або нагромадженні і відстроченні реалізації прихованих радіаційних пошкоджень у послідовності клітинних поколінь є переконливо доведеним фактом, окреслилась проблема розрахунків доз за умов хронічного опромінення, а також трансгенераційні ефекти опромінення.

mechanisms of action of «small» doses of radiation, the effects of the combined action of ionizing radiation with other factors of a physical, chemical or biological nature, as well as the development and testing of means with radioprotective properties have become particularly relevant. In parallel with the results of clinical and epidemiological studies on the determination of long-term medical consequences, significant progress in solving the above-mentioned fundamental and applied problems has been made thanks to the experimental modeling of the radiobiological effects of the Chernobyl disaster. In particular, the application of the methodology inherent in radiobiology as an integrative interdisciplinary science has contributed to the deepening of knowledge about the features of the radioadaptive response due to the incorporation of radionuclides, chronic and/or prolonged exposure to low- and densely ionizing radiation, as well as the effectiveness of existing and new radioprotectors and radiomodifiers. Numerous new data obtained in radiobiological studies of the consequences of the radiation accident forced to reconsider some paradigms of radiobiology and prompted the formulation of new paradigms. Among the priority radiobiological effects that affect the content of the paradigms, radioadaptation, induction of genomic instability, loss of the ability of irradiated cells to adequately perceive positional information, cumulative doses during chronic radiation exposure, non-equivalence of external and internal radiation were noted. Since the reflection of radiation damage in the form of long-term epigenetic changes or accumulation and delay of the implementation of latent radiation damage in the sequence of cell generations is a convincingly proven fact, the problem of calculating doses under conditions of chronic radiation, as well as transgenerational effects of radiation, has been outlined.

## ДЕРЖАВНИЙ РЕЄСТР УКРАЇНИ ОСІБ, ЯКІ ПОСТРАЖДАЛИ ВНАСЛІДОК ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ, ТА ЙОГО ВНЕСОК У НАУКОВУ ОЦІНКУ РАДІАЦІЙНИХ РИЗИКІВ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ КРАЇНИ

Терещенко С.О.<sup>1</sup>, Гунько Н.В.<sup>2</sup>, Федірко П.А.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Український центр інформаційних технологій та Національного реєстру» Міністерства охорони здоров'я України, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

<sup>3</sup>Національна академія медичних наук України, м. Київ, Україна

## UKRAINE'S STATE REGISTER OF PERSONS AFFECTED AS A RESULT OF THE CHORNOBYL DISASTER AND ITS CONTRIBUTION TO THE SCIENTIFIC ASSESSMENT OF RADIATION RISKS FOR THE HEALTH OF THE POPULATION OF THE COUNTRY

Tereshchenko S.O.<sup>1</sup>, Gunko N.V.<sup>2</sup>, Fedirko P.A.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>State Institution «Ukrainian Center for Information Technologies and National Registry» of the Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** У багатьох країнах світу існує досвід розробки, створення та функціонування медичних, дозиметричних та медико-дозиметричних реєстрів, які передбачені сучасними стандартами ядерної безпеки. Не є винятком і Україна, де в червні 1986 р. вперше в Радянському Союзі було прийнято рішення про створення спеціального реєстру – Всесоюзного реєстру осіб, що зазнали впливу радіації у зв'язку з аварією на Чорнобильській АЕС, який у подальшому був реорганізований у Державний реєстр України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи (ДРУ).

**Мета.** Узагальнення досвіду співпраці ДРУ та Державної установи «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України» (ННЦРМГО).

**Результати.** На сьогодні ДРУ це єдина персоналізована інформаційна система країни, яка майже 40 років накопичує та зберігає інформацію про стан здоров'я осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи, та їх нащадків і дозволяє вивчати медичні та соціальні наслідки аварії. Станом на 1 січня 2026 р. в ДРУ перебувало на обліку 2,5 млн постраж-

**Relevance.** In many countries of the world there is experience in the development, establishment and operation of medical, dosimetric and medical-dosimetric registers, which are provided for by modern nuclear safety standards. Ukraine is no exception, where in June 1986 for the first time in the Soviet Union a decision was made to establish a special register - the All-Union Register of Persons Exposed to Radiation due to the Chernobyl NPP Accident, which was later reorganized into Ukraine's State Register of Persons Affected as a Result of the Chernobyl Disaster (SRU).

**Purpose.** Summarizing the experience of cooperation between the SRU and the State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (NRCRMHO).

**Results.** Today, the SRU is the only personalized information system in the country, which for almost 40 years has been accumulating and storing information on the health of people affected by the Chernobyl disaster and their descendants and allows studying the medical and social conse-

quences of the accident. As of January 1, 2026, 2.5 million affected people were registered with the SRU, including: 324,746 Chernobyl NPP accident clean-up workers, 83,526 evacuees from the exclusion zone, 1,615,192 residents of radiation contaminated territories and 480,036 people born to irradiated parents, including 22,776 children under 14 years of age (inclusive). The number of changes made to information on affected people in the SRU database in 2025 is 5.8 million records. But, unfortunately, across the country, the number of examined persons from among those subject to regular medical examination is gradually decreasing from 45% in 2020 to 29% in 2024. The NRCRMHO was involved in the work on the establishment of the SRU and throughout the years has been providing scientific support for its functioning and using existing databases for scientific epidemiological, clinical, medical-demographic and ecological-dosimetric studies. In total, the SRU data was used in more than 60 scientific research works, which were financed from the state budget. Obtaining up-to-date information on the health status of persons affected contributed to the development of the epidemiology of emergency situations in Ukraine (Buzunov V.O., Omelyanets M.I., Prisyazhnyuk A.E. and others, NRCRMHO, 1987–2025), and morbidity and mortality rates allowed us to adequately assess the risks caused by radiation factors and prove to the world scientific community the effects of radiation of technogenic origin on health of persons affected. A separate area of research is the reconstruction of individualized doses of radiation and inclusion of them into the databases of the SRU (Likhtaryov I.A. Kovgan L.M., Masyuk S.V., Ivanova O.M. and others, NRCRMHO, 1991–2025).

**Висновки.** ДРУ є джерелом офіційної статистики щодо стану здоров'я осіб, які постраждали внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Довготривала співпраця фахівців ННЦРМГО та ДРУ сприяла отриманню нових знань про популяційне здоров'я жителів країни й окремих категорій постраждалих внаслідок аварії. Нажаль, сучасний стан надходження інформації до ДРУ потребує дієвих заходів з боку керівництва Міністерства охорони здоров'я України, спрямованих на своєчасність надходження даних результатів диспансеризації та поліпшення її якості за ознаками точності, надійності, узгодженості й порівнянності.

**Conclusions.** The SRU is a source of official statistics on the health status of people affected by the Chernobyl accident. Long-term cooperation between specialists of the NRCRMHO and the SRU contributed to obtaining new knowledge about the population health of the country's residents and specific categories of persons affected due to the accident. Unfortunately, the current state of information inflow into the SRU requires effective measures from the leadership of the Ministry of Health of Ukraine aimed at the timely inflow of data on the results of regular medical examination and improving its quality in terms of accuracy, reliability, consistency and comparability.

## РОБОТА ДУ «ЗАПОРІЗЬКИЙ ОБЛАСНИЙ ЦЕНТР КОНТРОЛЮ І ПРОФІЛАКТИКИ ХВОРОБ МОЗ УКРАЇНИ» В УМОВАХ ЗАГРОЗИ РАДІАЦІЙНОЇ АВАРІЇ НА ЗАПОРІЗЬКІЙ АЕС

Тищенко Т.М., Нурієва О.Ф., Костенецький М.І.

*Державна установа «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України», м. Запоріжжя, Україна*

**Актуальність.** Згідно Закону України «Про систему громадського здоров'я» (ст. 9.4) Центри контролю і профілактики хвороб (ЦКПХ) здійснюють реагування на надзвичайні ситуації у сфері громадського здоров'я на рівні регіонів в рамках роботи функціональних і територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту України. Однією із складових цієї роботи є реагування на надзвичайні ситуації радіаційного характеру (НСРХ).

**Мета** дослідження. З самого початку російської агресії на території Запорізької області склалася небезпечна радіаційна ситуація в зв'язку з захопленням ворогом найпотужнішої в Європі Запорізької АЕС і можливою радіаційною аварією. В зв'язку з цим існуюча в Запорізькому Обласному ЦКПХ система радіаційного моніторингу потребувала перегляду і корекції. За мету було поставлено визначення основних показників радіоактивності стану довкілля, за допомогою яких можна оперативно оцінити наявність і масштаби можливої радіаційної аварії, на підставі чого прийняти рішення щодо застосування контрзаходів. Крім того було потрібно переробити структуру Центру, посилити його спроможність з контролю радіоактивності довкілля, а також відпрацювати систему взаємодії з зацікавленими відомствами і органами влади.

**Результати** роботи. В результаті аналізу багаторічних спостережень і наукових даних визначено наступні оперативні показники стану радіоактивності довкілля на випадок виникнення радіаційної аварії на Запорізькій АЕС для прийняття рішень щодо захисту населення:

- > гамма-фон території Запорізької області в декількох населених пунктах – 3 точки;
- > сумарна альфа-, бета-активність питної води – 1 точка;
- > сумарна бета-активність атмосферних опадів та осадів та осідаючого пилу – 1 точка.

Оцінювання результатів моніторингу здійснювалось згідно з Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97), чинними санітарними нормами і пра-

вилами та порівнювалось з даними багаторічних спостережень радіологічної ситуації в Запорізькій області. Всього за 4 роки війни (2022– 2025 рр.) було здійснено 144613 вимірів гамма-фону, 548 досліджень питної води та 175 досліджень атмосферних опадів і пилу. Перевищення нормативів по усім показникам не спостерігалось. В зв'язку з нагальними потребами в Обласному Центрі було створено «Оперативний центр реагування на надзвичайні ситуації» під керівництвом генерального директора, розроблено положення про його роботу та оновлено його склад з залученням фахівців відділу готовності та реагування на надзвичайні ситуації, в складі якого створені чотири групи радіаційного спостереження і дозиметричного контролю, оснащенні сучасним дозиметричним та радіометричним обладнанням, отриманим від українського офісу ВООЗ. ДУ «Запорізький ОЦКПХ МОЗ» знаходиться на постійному зв'язку з місцевими органами державної влади, Запорізьким обласним центром гідрометрології та ГУ ДСНС у Запорізькій області та регулярно інформують їх про стан радіаційної обстановки в області. Крім того Центр на постійному зв'язку з зовнішнім кризовим центром філії «ВП ЗАЕС» АТ «НАЕК Енергоатом», розташованим в м. Запоріжжі.

### **Висновки**

1. Для оперативного контролю радіоактивності довкілля в умовах можливої радіаційної аварії на АЕС цілком достатньо вимірювання гамма-фону території, визначення радіоактивності питної води та дослідження радіоактивності атмосферних опадів та пилу.
2. Оперативний контроль радіоактивності об'єктів спостереження Запорізької області за 4 роки показав відсутність аварійного радіоактивного викиду в оточуюче середовище.
3. Робота за визначеним аварійним радіаційним моніторингом дало змогу оперативно інформувати органи державної влади і зацікавлені відомства, а також населення про стан радіаційної безпеки в Запорізькій області.

## ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «РАДІАЦІЙНА МЕДИЦИНА» В НАЦІОНАЛЬНОМУ МЕДИЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ ІМЕНІ О.О. БОГОМОЛЬЦЯ

Ткаченко М.М., Поперека Г.М.

*Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, кафедра радіології та радіаційної медицини, Київ, Україна*

### TEACHING THE DISCIPLINE «RADIATION MEDICINE» AT THE BOGOMOLETS NATIONAL MEDICAL UNIVERSITY

Tkachenko M.M., Popereka G.M.

*Bogomolets National Medical University, Department of Radiology and Radiation Medicine, Kyiv, Ukraine*

**Актуальність.** Великомасштабна техногенна катастрофа, що сталася на Чорнобильській АЕС у 1986 році обумовила актуальність радіаційної медицини в Україні. Медичні, соціальні, екологічні, економічні, психологічні наслідки цієї аварії були і залишаються великими.

**Мета** роботи: довести актуальність і необхідність застосування сучасних засобів викладання радіаційної медицини в умовах ядерної загрози і воєнного стану в Україні.

**Результати.** Радіаційна медицина – наука, яка вивчає особливості впливу іонізуючого випромінювання на організм людини, принципи лікування радіаційних уражень та профілактики можливих наслідків опромінення населення в тому числі і дітей. Радіаційна медицина – це комплексна наукова дисципліна, тісно пов'язана з фундаментальними науками та клінічною медициною. Зрозуміти процеси, які відбуваються в організмі людини, що піддався впливу іонізуючого опромінення, студенту неможливо без знань у галузі біохімії, біофізиці, патофізіології, патоморфології, педіатрії, імунології, гематології, ендокринології, онкології, клінічної фармакології, медичної генетики та інших дисциплін. Клінічна спрямованість радіаційної медицини обумовлює раціональне використання нарівні з новими формами навчання і традиційні, зокрема семінарські заняття в вигляді клінічного розбору хворих. Викладання такого інтеграційного міждисциплінарного предмету можливо на останніх курсах навчання і здійснюється за кредитно-модульною системою на 5 курсі. Практичні заняття передбачають вивчення студентами фізичних і радіобіологічних основ радіаційної медицини, діагностичних методів щодо індикації доз опромінення в організмі, наслідків впливу радіації на організм та окремі орга-

**Relevance.** The large-scale man-made disaster at the Chernobyl Nuclear Power Plant in 1986 determined the relevance of radiation medicine in Ukraine. The medical, social, ecological, economic, and psychological consequences of this accident were and remain significant.

**Purpose** of the work: to demonstrate the relevance and necessity of using modern means of teaching radiation medicine under the conditions of nuclear threat and martial law in Ukraine.

**Results.** Radiation medicine is a science that studies the characteristics of the impact of ionizing radiation on the human body, the principles of treating radiation injuries, and the prevention of possible consequences of population exposure, including children. Radiation medicine is a complex scientific discipline, closely related to fundamental sciences and clinical medicine. It is impossible for a student to understand the processes occurring in a human body subjected to ionizing radiation without knowledge in the fields of biochemistry, biophysics, pathophysiology, pathomorphology, pediatrics, immunology, hematology, endocrinology, oncology, clinical pharmacology, medical genetics, and other disciplines. The clinical orientation of radiation medicine determines the rational use of modern teaching forms alongside traditional ones, specifically seminar sessions in the form of clinical case reviews of patients. The teaching of such an integrative interdisciplinary subject is possible in the final years of study and is carried out according to the credit-module system in the 5<sup>th</sup> year. Practical classes involve students studying: physical and radiobiological foundations of radiation medicine; diagnostic methods regarding the indication of radiation doses in the body;

ни та системи, диференційованого лікування та невідкладної допомоги при гострих радіаційних ураженнях, профілактики променевих уражень та методів реабілітації осіб, що постраждали внаслідок радіаційного впливу. Методика організації клінічних практичних занять з радіаційної медицини передбачає необхідність сформувати відповідальність студента як майбутнього фахівця за рівень своєї підготовки, її удосконалення протягом навчання і професійної діяльності та зробити студента учасником процесу надання медичної допомоги пацієнту на всіх етапах лікування хворого з оволодінням професійних практичних навичок. З початком повномасштабної агресії, введенням воєнного стану, великою загрозою використання ядерної зброї, захопленням Чорнобильської і Запорізької АЕС актуальність вивчення радіаційної медицини серед студентів значно зросла. Тому більший акцент при вивченні дисципліни надається невідкладним станам при радіаційних, комбінованих радіаційних ураженнях, методам захисту і мінімізації радіаційного впливу, йодній профілактиці в тому числі осіб дитячого віку у разі виникнення радіаційної аварії і ядерної загрози.

**Висновки.** Актуальність радіаційної медицини в підготовці майбутніх лікарів є безперечною, бо допомагає обізнано виконувати медичні заходи по збереженню життя, здоров'я та професійної працездатності людей при дії іонізуючого опромінення, особливо при виникненні надзвичайних ситуацій.

consequences of radiation impact on the body and individual organs and systems; differentiated treatment and emergency aid for acute radiation injuries; prevention of radiation injuries and methods of rehabilitation for persons affected by radiation exposure. The methodology for organizing clinical practical classes in radiation medicine involves the need to form a student's responsibility as a future specialist for their level of preparation, its improvement throughout their studies and professional activities, and to make the student a participant in the process of providing medical care to a patient at all stages of treatment while mastering professional practical skills. With the start of full-scale aggression, the introduction of martial law, the significant threat of the use of nuclear weapons, and the seizure of the Chernobyl and Zaporizhzhia NPPs, the relevance of studying radiation medicine among students has significantly increased. Therefore, a greater emphasis in studying the discipline is placed on emergency states during radiation and combined radiation injuries, methods of protection and minimization of radiation impact, and iodine prophylaxis, including for children, in the event of a radiation accident and nuclear threat.

**Conclusions.** The relevance of radiation medicine in training future doctors is unquestionable, as it helps to competently perform medical measures to preserve the life, health, and professional working capacity of people under the influence of ionizing radiation, especially in the event of emergency situations.

## УКРАЇНСЬКО-АМЕРИКАНСЬКА ТИРЕОЇДНА КОГОРТА: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ДОВГОТРИВАЛЕ ЕПІДЕМІОЛОГІЧНЕ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Тронько М.Д., Замотаєва Г.А., Лапікура О.В., Пастер І.П.

*Державна установа «Інститут ендокринології та обміну речовин ім. В.П. Комісаренка  
Національної академії медичних наук України», Київ, Україна*

**Актуальність.** Аварія на Чорнобильській АЕС зумовила необхідність тривалого епідеміологічного спостереження за патологією щитоподібної залози в осіб, опромінених радіоактивними ізотопами йоду. Українсько-Американський тиреоїдний проєкт є одним із найбільших проспективних когортних досліджень з індивідуалізованими дозиметричними оцінками, спрямованих на кількісну оцінку віддалених радіаційно асоційованих ризиків.

**Мета.** Оцінити сучасний стан об'єднаної когорти Українсько-Американського тиреоїдного проєкту (УкрАм-когорти), ефективність механізмів її довготривалого підтримання та результати демографічного й онкологічного моніторингу в умовах воєнного стану.

**Матеріал і методи.** Об'єднана УкрАм-когорта налічує 15 826 осіб, які на момент аварії на Чорнобильській АЕС були дітьми, підлітками або зазнали внутрішньоутробного опромінення. Після завершення активних скринінгових циклів із 2021 року впроваджено модель пасивного спостереження, що передбачає регулярні демографічні огляди з актуалізацією контактної та медичної інформації, а також періодичне детерміністичне зіставлення записів з Національним канцер-реєстром України. Для збереження когорти застосовуються комбіновані підходи до встановлення контакту з оцінкою повноти охоплення та якості даних.

**Результати.** Станом на початок 2026 року зареєстровано 1 173 смерті (7,4%). Серед 14 653 живих учасників у межах четвертого циклу демографічного огляду, розпочатого у липні 2022 року, опитування проведено для 62,5% членів когорти; охоплення є вищим серед жінок (75%), ніж серед чоловіків (51%). Сукупна тривалість спостереження перевищує 328 тисяч людино-років, що забезпечує високий аналітичний потенціал для кількісної оцінки ризиків. Проведення демо-

рафічного моніторингу та процедур зіставлення записів відбувається в умовах воєнного стану, що супроводжується суттєвими інфраструктурними обмеженнями: порушенням логістики, перебоями електропостачання та зв'язку, внутрішніми й зовнішніми міграційними переміщеннями учасників, обмеженим доступом до окремих територій, а також варіабельністю функціонування локальних реєстрових і медичних джерел. Попри це, щороку вдається зібрати в середньому 2000–2500 анкет, а інформація щодо життєвого статусу систематично актуалізується. Стабільність показників охоплення та регулярність оновлення даних свідчать про функціональну стійкість когорти та ефективність адаптованих механізмів підтримання довготривалого контакту з учасниками. Регулярне детерміністичне зіставлення записів з Національним канцер-реєстром України забезпечує високу повноту виявлення онкологічних подій навіть за умов часткового обмеження роботи окремих інфраструктурних компонентів. За результатами процедур зіставлення серед членів когорти встановлено 102 випадки злоякісних новоутворень, діагностованих у 2022–2024 роках, без явних ознак зниження повноти реєстрації порівняно з попередніми періодами спостереження. Висновки. Об'єднана УкрАм-когорта зберігає функціональну цілісність та аналітичний потенціал через чотири десятиліття після аварії на Чорнобильській АЕС. Модель пасивного спостереження, доповнена регулярним зіставленням реєстрових даних, демонструє ефективність та відтворюваність навіть у складних умовах воєнного часу. Отримані показники збереження когорти та безперервності збору даних підтверджують довгострокову життєздатність цього наукового ресурсу для подальших оцінок віддалених радіаційно асоційованих ризиків і можуть слугувати методологічним орієнтиром для інших довготривалих епідеміологічних досліджень.

## ВІДДАЛЕННІ НАСЛІДКИ ВПЛИВУ ХРОНІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА БІОЛОГІЧНУ АКТИВНІСТЬ ПОСТРАДІАЦІЙНИХ ГЕНЕРАЦІЙ *ASPERGILLUS VERSICOLOR*

Тугай Т. І.<sup>1,2</sup>, Тугай А. В.<sup>2,1</sup>, Желтоножський В. О.<sup>3</sup>, Садовніков Л. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», Київ, Україна

<sup>2</sup>Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, Київ, Україна

<sup>3</sup>Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

## LONG-TERM EFFECTS OF CHRONIC IRRADIATION ON THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF POST-RADIATION GENERATIONS OF *ASPERGILLUS VERSICOLOR*

Tugay T. I.<sup>1,2</sup>, Tugay A. V.<sup>2,1</sup>, Zheltonozhskiy V. O.<sup>3</sup>, Sadovnikov L. V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Open International University of Human Development «Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Чорнобильська катастрофа призвела не лише до гострого радіаційного ураження екосистем, але й сформувала довготривалий фон хронічного опромінення, який продовжує впливати на біоту. Одним із важливих, але недостатньо досліджених аспектів віддалених наслідків є зміни у мікробних угрупованнях, зокрема формування адаптивних механізмів у мікроорганізмів. Хронічний вплив низьких доз іонізуючого випромінювання в умовах радіоактивно забруднених територій сприяв формуванню у багатьох представників мікробіоти комплексу адаптаційних реакцій. До таких реакцій належать підвищення біологічної активності, зміни метаболічних шляхів та перебудова систем антиоксидантного захисту. Одним із потенційно небезпечних представників мікробіоти є *Aspergillus versicolor* – вид, здатний продукувати біологічно активні метаболіти, зокрема мікотоксини та алергени, що можуть спричинити алергічні реакції, запальні процеси та інші захворювання дихальної системи.

**Метою** роботи було дослідження віддалених наслідків впливу хронічного опромінення на біологічну активність пострадіаційних генерацій *Aspergillus versicolor*.

**Методи** дослідження. Була досліджена зміни фізіолого-біохімічних властивостей *Aspergillus versicolor*, включаючи інтенсивність росту, спорування, особливості функціонування прооксидантно-антиоксидантної системи та синтез вторинних метаболітів.

**Результати.** Встановлено, що хронічне низькоінтенсивне опромінення опромінення стимулювало про-

**Introduction.** The Chernobyl disaster not only caused acute radiation damage to ecosystems but also established a long-term background of chronic exposure that continues to affect biota. One of the critical yet insufficiently studied aspects of long-term consequences is the shift in microbial communities, particularly the development of adaptive mechanisms in microorganisms. Chronic exposure to low doses of ionizing radiation in radioactively contaminated areas has fostered a complex of adaptive responses in many members of the microbiota. These responses include increased biological activity, alterations in metabolic pathways, and the restructuring of antioxidant defense systems. *Aspergillus versicolor* is one of the potentially hazardous members of the mycobiota-a species capable of producing biologically active metabolites, including mycotoxins and allergens, which can cause allergic reactions, inflammatory processes, and other respiratory diseases.

The **aim** of this work was to study the long-term effects of chronic irradiation on the biological activity of post-radiation generations of *Aspergillus versicolor*.

**Research Methods.** Changes in the physiological and biochemical properties of *Aspergillus versicolor* were studied, including growth rate, sporulation, the functioning of the pro-oxidant/antioxidant system, and the synthesis of secondary metabolites.

**Results.** It was established that chronic low-intensity radiation stimulated conidia germination and

ростання конідій і ріст грибних гіф *Aspergillus versicolor*. За дії опромінення виявлено збільшення активності антиоксидантних ферментів, синтезу антиоксидантних пігментів – каротиноїдів та меланінів. Встановлено, що опромінення призводить до підвищення антиоксидантної ємності меланінових пігментів. Виявлені суттєві відмінності у збільшенні продуктів перекисного окиснення ліпідів та активності ферментів антиоксидантного захисту у пострадіаційних генераціях *Aspergillus versicolor*, які залежали від середовища культивування, та були більш виражені на бідному за джерелом вуглецю середовищі, від місця виділення вихідних штамів та кількості опромінь, яких вони зазнали (генерацій, відповідно). Встановлено, що хронічне опромінення призводить до змін як на онтогенетичному так і на філогенетичному у досліджених видів мікроміцетів, що дає нам підставу для припущення, що у них відбувається епігенетична адаптація до дії опромінення, яка у кожного виду має певні відмінності, подібно до того, як вона відбувається у інших представників біоти.

**Висновки.** Підсумовуючи отримані дані можна зазначити, що за умов пролонгації опромінювання нові спалахи ПОЛ супроводжуються послідовним підвищенням активності АО механізмів, доки їхні резервні можливості не буде вичерпано. Зміни у прооксидантно-антиоксидантній системі *Aspergillus versicolor* дають підстави вважати про можливу роль продуктів перекисного окиснення в якості одного із можливих первинних медіаторів стресу. Можливо, зміщення рівноваги в даній системі є одним із ключових і швидких ланок в процесі формування адаптивних реакцій мікроміцетів на дію хронічного опромінення. Отримані результати можуть сприяти прогнозуванню змін активності мікробних угруповань у радіаційно забруднених екосистемах і визначенню збільшеної потенційної ролі аспергілів як джерел алергенних і токсичних сполук, що впливають на стан здоров'я населення.

the growth of *Aspergillus versicolor* fungal hyphae. Under the influence of radiation, an increase in the activity of antioxidant enzymes and the synthesis of antioxidant pigments, specifically carotenoids and melanins, was observed. It was found that radiation leads to an increase in the antioxidant capacity of melanin pigments. Significant differences were identified in the increase of lipid peroxidation products and the activity of antioxidant defense enzymes in post-radiation generations of *Aspergillus versicolor*. These differences depended on the cultivation medium (being more pronounced on carbon-poor media), the site of initial strain isolation, and the cumulative number of radiation exposures (generations, respectively). It was established that chronic irradiation leads to changes at both the ontogenetic and phylogenetic levels in the studied micromycete species. This provides a basis for the assumption that epigenetic adaptation to radiation occurs in these species, with specific differences for each species, similar to the processes observed in other representatives of the biota.

**Conclusions.** Summarizing the obtained data, it can be noted that under conditions of prolonged irradiation, new bursts of lipid peroxidation (LPO) are accompanied by a consistent increase in the activity of antioxidant (AO) mechanisms until their reserve capacities are exhausted. Changes in the pro-oxidant/antioxidant system of *Aspergillus versicolor* suggest a potential role for peroxidation products as primary stress mediators. It is possible that the shift in the equilibrium of this system is one of the key and rapid links in the formation of adaptive responses of micromycetes to chronic radiation. The results obtained can contribute to predicting changes in the activity of microbial communities in radioactively contaminated ecosystems and identifying the increased potential role of aspergilli as sources of allergenic and toxic compounds affecting public health.

## ВІДНОСНІ РИЗИКИ СМЕРТНОСТІ УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧАЕС ВІД НЕПУХЛИННИХ ХВОРОБ У ВІДДАЛЕНИЙ ПЕРІОД ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

Федірко П. А., Бабенко Т. Ф.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

### CHORNOBYL CLEAN-UP WORKERS MORTALITY RELATIVE RISKS DUE TO NON-CANCEROUS DISEASES IN THE LONG TERM FOLLOWING THE CHORNOBYL DISASTER

Fedirko P. A., Babenko T. F.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology, and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Аналіз статистичних показників захворюваності свідчить про те, що захворюваність внаслідок непухлинних хвороб та їх поширеність серед населення України за останні десятиліття збільшились. Відомо, що дія іонізуючого випромінювання на організм людини має багатовекторне спрямування та викликає численні біологічні ефекти. Останнім часом з'являється все більше даних щодо підвищеного ризику виникнення непухлинної патології, особливо захворювань системи кровообігу, у відповідь на опромінення низькими та помірними дозами радіації.

**Мета.** Провести аналіз радіогенних ризиків смертності учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС (УЛНА) від основних класів непухлинних хвороб залежно від дози зовнішнього  $\gamma$ -опромінення всього тіла з урахуванням віку і часу з моменту опромінення.

**Методи.** Епідеміологічні, медико-статистичні, математичного моделювання, ризик-аналіз.

**Результати.** Дані Державного реєстру України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи (ДРУ) Державної установи «Український центр інформаційних технологій та Національного реєстру МОЗ України» стали джерелом вихідної інформації для епідеміологічного дослідження і аналізу. Когорта епідеміологічного моніторингу (період спостереження 1988–2021 рр.) включала 64 490 учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС, які перебувають на обліку в ДРУ, з них 58 862 особи були у віці 18–39 років на дату аварії на Чорнобильській АЕС і 5 628 осіб були у віці 40–60 років. Для вивчення залежності смертності від впливу радіації загальну і вікові когорти

**Background.** Morbidity statistics analysis indicates that the incidence of non-neoplastic diseases and their prevalence among the Ukrainian population have increased over the past decades. It is known that the effects of ionizing radiation on the human body are multifaceted and cause numerous biological effects. Recently, there has been an increasing amount of data regarding an elevated risk of non-neoplastic pathologies, particularly cardiovascular diseases, in response to exposure to low and moderate doses of radiation.

**Objective.** Analyze of radiation-related mortality risks among Chornobyl clean-up workers (ChCUW) from major classes of non-neoplastic diseases depending on the dose of whole-body external  $\gamma$ -irradiation, taking into account age and time elapsed since exposure was conducted.

**Methods.** Epidemiological, medical statistical, mathematical modeling, and risk analysis.

**Results.** Data from the State Register of Ukraine of Persons Affected by the Chornobyl Disaster (SRU), maintained by the State Institution «Ukrainian Center for Information Technologies and the National Register of the Ministry of Health of Ukraine», served as the source of raw data for the epidemiological study and analysis. The epidemiological monitoring cohort (observation period 1988–2021) included 64,490 participants in the cleanup of the Chornobyl accident who are registered with the SRU, of whom 58,862 were aged 18–39 at the time of the Chornobyl accident and 5,628 were aged 40–60. To study the relationship between mortality and radiation exposure, the total and age-specific cohorts of the Chornobyl clean-up workers were divided into subgroups

УЛНА розподілили на підгрупи відповідно до отриманої дози зовнішнього  $\gamma$ -опромінення всього тіла – < 0,05 Гр (група порівняння), 0,05–0,09 Гр, 0,1–0,199 Гр, 0,2–0,249 Гр та 0,25–0,7 Гр. Відносні ризики смертності УЛНА віком 18–39 років на дату аварії на ЧАЕС від непухлинних хвороб були достовірно вищими у всіх дозових підгрупах відносно підгрупи порівняння з дозою опромінення < 0,05 Гр. Достовірно вищий відносний ризик смертності УЛНА молодшої вікової групи спостерігається в наступні періоди спостереження: 1993–2002 рр. у всіх дозових підгрупах з найвищим показником 1,80 (1,37–2,37); 2003–2007 рр. і 2013–2017 рр. в дозовій підгрупі 0,05–0,09 Гр. Достовірно вищі відносні ризики смертності УЛНА віком 18–39 років на дату аварії встановлено від хвороб системи кровообігу в усіх дозових підгрупах та від хвороб органів травлення в підгрупі з дозою опромінення 0,05–0,09 Гр відносно підгрупи порівняння. Виявлено статистично достовірно вищі відносні ризики смертності УЛНА молодшої вікової групи від цереброваскулярних хвороб та кардіоміопатії за весь період спостереження в усіх дозових підгрупах порівняно з дозовою підгрупою < 0,05 Гр; від інфаркту міокарда – майже в усіх дозових підгрупах в період спостереження 1993–1997 рр.; від інфаркту головного мозку – в усіх дозових підгрупах в період спостереження 2013–2017 рр.

**Висновки.** Таким чином, під час епідеміологічного дослідження визначено захворювання, які зумовлюють підвищену дозозалежну смертність УЛНА у віддаленому періоді аварії на ЧАЕС, що слід враховувати при проведенні диспансеризації і профілактичного лікування. Особливо чутливими до дії іонізуючого випромінювання були УЛНА молодшої вікової групи, які зазнали впливу радіації у віці до 40 років. Одержані результати епідеміологічних досліджень пропонуються для впровадження в спеціалізованих закладах охорони здоров'я, що здійснюють диспансеризацію осіб, постраждалих від аварії на ЧАЕС. Отримані результати також слід врахувати при плануванні заходів спеціалізованої медичної допомоги в умовах надзвичайних та інших ситуацій опромінення.

according to the received dose of whole-body external  $\gamma$ -irradiation—< 0.05 Gy (comparison group), 0.05–0.09 Gy, 0.1–0.199 Gy, 0.2–0.249 Gy, and 0.25–0.7 Gy. The relative risks of mortality from non-neoplastic diseases among Chornobyl clean-up workers aged 18–39 years at the time of the Chornobyl accident were significantly higher in all dose subgroups compared to the comparison subgroup with an irradiation dose of < 0.05 Gy. Significantly higher relative risk of mortality among the younger age group of the Chornobyl clean-up workers was observed during the following observation periods: 1993–2002 in all dose subgroups, with the highest rate of 1.80 (1.37–2.37); 2003–2007 and 2013–2017 in the 0.05–0.09 Gy dose subgroup. Statistically significantly higher relative risks of mortality among Chornobyl clean-up workers aged 18–39 years at the time of the accident were observed for diseases of the circulatory system in all dose subgroups and for diseases of the digestive system in the subgroup with an irradiation dose of 0.05–0.09 Gy compared to the comparison subgroup. Statistically significantly higher relative mortality risks were found among younger-age ULNA subjects from cerebrovascular diseases and cardiomyopathy over the entire observation period in all dose subgroups compared to the <0.05 Gy dose subgroup; from myocardial infarction — in almost all dose subgroups during the 1993–1997 observation period; from cerebral infarction—in all dose subgroups during the 2013–2017 observation period.

**Conclusions.** Thus, the epidemiological study identified diseases that contribute to increased dose-dependent mortality among the affected population in the long term following the Chernobyl accident, a factor that should be taken into account during medical examinations and preventive treatment. ULNA in the younger age group, who were exposed to radiation before the age of 40, were particularly sensitive to the effects of ionizing radiation. The results of these epidemiological studies are recommended for implementation in specialized healthcare facilities that conduct medical examinations of individuals affected by the Chornobyl accident. These findings should also be considered when planning specialized medical care measures in emergency and other radiation exposure situations.

## ІСТОРИЧНІ НАРИСИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ: 40 РОКІВ ОСМИЛЕННЯ НАСЛІДКІВ ТА ЗАГРОЗ

Хижняк М.В., Комаров М.П., Васюта В.А., Ключникова А.І.

*Державна установа «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України»*

## HISTORICAL ESSAYS OF THE CHERNOBYL DISASTER: 40 YEARS OF UNDERSTANDING THE CONSEQUENCES AND THREATS

Khizhnyak M.V., Komarov M.P., Vasyuta V.A., Klyuchnikova A.I.

*State Institution «Institute of Neurosurgery named after Acad. A.P. Romodanova of the National Academy of Sciences of Ukraine»*

Через 40 років після аварії особливої актуальності набуває переосмислення історичних наративів Чорнобиля в умовах сучасних безпекових викликів, пов'язаних із воєнною агресією росії. Вагомий внесок у дослідження медико-біологічних аспектів Чорнобильської аварії зробили науковці ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України», серед яких слід згадати імена: М.І. Лісяного, А.П. Ромоданова, Ю.П. Зозулі, І.В. Степаненко, Л.Д. Любич, І. Г. Васильєвої, Д.А. Суткового, О.В. Маркової, В.А. Руденко, О.Б. Горобець, В.І. Цимбалюка, Г. М. Яхненко, Г. М. Олійник, Л.Л. Чеботарьової, Г.В. Міхаль, Т.С. Бондарь, Т.М. Черенько, В.В. Деньгуб, О.Р. Вінницького, О.В. Ярмолук, І.Ю. Попової Л.В. Задояного, Н.Г. Чопик, А.П. Черченко, М.І. Шамаєва. У межах наукових досліджень вивчався вплив іонізуючого випромінювання на центральну нервову систему і ці напрацювання стали важливим елементом формування сучасного медичного уявлення. Котроль за ліквідаторами наслідків аварії на ЧАЕС показав суттєве зростання захворювань з ураженням головного мозку, особливо це стосується хворих з гострою променевою хворобою. Сформовані уявлення про патофізіологію та механізми розвитку уражень головного мозку і визначені діагностичні методи оцінки неврологічних розладів. Саме на підставі комплексних клініко – неврологічних, нейрофізіологічних, нейровізуальних, біохімічних та імунологічних досліджень різних категорій хворих вищезгаданими науковцями вперше вивчені основні механізми радіаційного ураження мозку. Встановлено, що радіаційне ураження має фазність розвитку реакції головного мозку на опромінення, визначено клінічні особливості і фактори, які впливають на перебіг. Результати експериментальних досліджень та клінічних спостережень представлені в монографіях, присвячених після-

40 years after the accident, the rethinking of the historical narratives of Chornobyl in the context of modern security challenges related to Russia's military aggression is of particular relevance. A significant contribution to the study of the medical and biological aspects of the Chernobyl accident was made by scientists of the State University «Institute of Neurosurgery named after Acad. A.P. Romodanova of the National Academy of Sciences of Ukraine», among which we should mention the following names: M.I. Lisyanyo, A.P. Romodanova, Yu.P. Zozuli, I.V. Stepanenko, L.D. Lyubich, I.G. Vasyliovoi, D.A. Sutkovo, O.V. Markova, V.A. Rudenko, O.B. Gorobetz, V.I. Tsybalyuka, H.M. Yakhnenko, H.M. Oliynyk, L.L. Chebotaryova, G.V. Michal, T.S. Bondar, T.M. Cherenko, V.V. Dengub, O.R. Vinnytskoho, O.V. Yarmolyuk, I.Yu. Popova L.V. Zadoyanogo, N.G. Chopyk, A.P. Cherchenko, M.I. Shamaev. Within the framework of scientific research, the impact of ionizing radiation on the central nervous system was studied, and these developments became an important element in the formation of modern medical ideas. Monitoring of liquidators of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant showed a significant increase in diseases with brain damage, especially in patients with acute radiation sickness. Concepts about the pathophysiology and mechanisms of development of brain lesions have been formed and diagnostic methods for the assessment of neurological disorders have been defined. It was on the basis of complex clinical-neurological, neurophysiological, neurovisual, biochemical and immunological studies of various categories of patients that the aforementioned scientists first studied the main mechanisms of radiation damage to the brain. It was established that radiation damage has a phasic development of the brain's response to irradiation, clinical features and factors affecting the course were determined. The results of experimental

радіаційній енцефалопатії (А.П. Ромоданова) та механізмам імунонейропатологічних процесів при дії радіаційного опромінення (Лісяний М.І., Любич Л.Д), хронічному впливу малих доз опромінення на нервову систему, антиоксидантним властивостям природних сполук в умовах впливу іонізуючого випромінювання (Ю.П. Зозуля), антиоксидантам в профілактиці і терапії променевих уражень, шляхам корекції окислювального метаболізму при променевої дії на ЦНС (Зозуля Ю.П., Сутковий Д.А.). Степаненко І.В вивчала клініко-неврологічні, імунологічні та метаболічні зміни при енцефалопатії внаслідок радіаційного опромінення, Сутковий Д. А. стан окисно-антиоксидантної системи головного мозку за умов впливу іонізуючої радіації та його корекції, Любич Л.Д. досліджувались нейроаутоімунні реакції при дії малих доз опромінення на організм. Встановлено, що пошкодження головного мозку при дії іонізуючого випромінювання має багатofакторний патогенез розвитку і полягає в його первинному ураженні з одночасним виникненням дисметаболічних, імунопатологічних і дисциркуляторних механізмів. Ураження головного мозку проявляється ознаками енцефалопатії, яка має 3 фази розвитку (первинної реакції головного мозку на опромінення, псевдоодужання і прогресуючого поглиблення неврологічної симптоматики. Ступінь тяжкості зростає пропорційно дозі опромінення і залежить від характеру променевого впливу (зовнішнє, внутрішнє, комбіноване). Спостерігалась взаємозалежність між змінами імунологічних і біохімічних показників, серед яких провідну роль мали ознаки ендогенної інтоксикації, які корелювали з ознаками енцефалопатії і вираженістю імунних розладів. Метаболічні та імунні дисфункції у віддалені терміни після аварії на ЧАЕС свідчать про формування «регуляторної» патології. Сучасний етап осмислення катастрофи характеризується поєднанням історичної пам'яті, наукового аналізу та етичних аспектів відповідальності за техногенні ризики. Чорнобиль залишається постійним нагадуванням про вразливість людства у сфері ядерної безпеки. Історичні нариси Чорнобильської катастрофи зазнали суттєвої трансформації протягом 40 років. Інтеграція медичного науково обґрунтованого знання, зокрема результатів нейронаукових досліджень, сприяє глибшому розумінню довготривалих наслідків катастрофи та формує підґрунтя для відповідальності держави перед суспільством.

studies and clinical observations are presented in monographs devoted to post-radiation encephalopathy (A.P. Romodanova) and mechanisms of immunoneuropathological processes under the action of radiation exposure (M.I. Lisyanyi, L.D. Lyubich), chronic effects of small doses of radiation on the nervous system, antioxidant properties of natural compounds under the influence of ionizing radiation (Y.P. Zozulya), antioxidants in the prevention and therapy of radiation injuries, by correcting oxidative metabolism during radiation exposure to the central nervous system (Zozulya Y.P., Sutkovy D.A.). I.V. Stepanenko studied clinical-neurological, immunological and metabolic changes in encephalopathy due to radiation exposure, D.A. Sutkovy the state of the oxidizing-antioxidant system of the brain under the conditions of exposure to ionizing radiation and its correction, L.D. Lyubich studied neuroautoimmune reactions under the influence of small doses of radiation on the body. It has been established that damage to the brain caused by ionizing radiation has a multifactorial pathogenesis of development and consists in its primary damage with the simultaneous occurrence of dysmetabolic, immunopathological, and dyscirculatory mechanisms. Brain damage is manifested by signs of encephalopathy, which has 3 phases of development (primary reaction of the brain to radiation, pseudo-recovery and progressive deepening of neurological symptoms. The degree of severity increases in proportion to the radiation dose and depends on the nature of the radiation exposure (external, internal, combined). Interdependence was observed between changes in immunological and biochemical indicators, among which signs of endogenous intoxications, which were correlated with signs of encephalopathy and the severity of immune disorders. Metabolic and immune dysfunctions in the long term after the accident at the Chernobyl nuclear power plant indicate the formation of «regulatory» pathology. The modern stage of disaster understanding is characterized by a combination of historical memory, scientific analysis and ethical aspects of responsibility for man-made risks. Chernobyl remains a constant reminder of humanity's vulnerability in the field of nuclear security. Historical accounts of the Chernobyl disaster have undergone a significant transformation over the course of 40 years. The integration of medical science-based knowledge, in particular the results of neuroscientific research, contributes to a deeper understanding of the long-term consequences of the disaster and forms the basis for the state's responsibility to society.

## СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ НЕВРОЛОГІЧНОЇ ПАТОЛОГІЇ У ДІТЕЙ З РАДІАЦІЙНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

Цимбалюк В.І.<sup>1,2</sup>, Антипкін Ю.Г.<sup>3</sup>, Кирилова Л.Г.<sup>3</sup>, Мірошников О.О.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національна академія наук України, Київ, Україна

<sup>2</sup>Національна академія медичних наук України, Київ, Україна

<sup>3</sup>Державна установа «Всеукраїнський центр материнства та дитинства Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

## A CONTEMPORARY VIEW ON THE PROBLEM OF NEUROLOGICAL PATHOLOGY IN CHILDREN FROM RADIATION-CONTAMINATED TERRITORIES

Tsybaliuk V.I.<sup>1,2</sup>, Antypkin Yu.H.<sup>3</sup>, Kyrylova L.H.<sup>3</sup>, Miroshnykov O.O.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>State Institution «Ukrainian Centre of Maternity and Childhood of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Радіоактивне забруднення північних районів Житомирської області ізотопами цезію-137 та стронцію-90 зберігається дотепер, формуючи кумулятивне мутагенне та епігенетичне навантаження на організм дітей. Незважаючи на чотири десятиліття після Чорнобильської катастрофи, системного аналізу структури неврологічної патології у дітей постраждалих районів із урахуванням сучасних діагностичних методів (магнітно-резонансної трактографії та повноекзомного секвенування) досі не проводилося.

**Мета** дослідження. Систематизувати дані щодо спектру неврологічної патології у дітей із радіаційно забруднених територій Житомирської області, проаналізувати трансформацію її структури та оцінити роль хронічного малодозового радіаційного впливу як тератогенного і мутагенного чинника в контексті сучасних нейробиологічних концепцій.

**Методи.** Проведено систематичний огляд літератури з баз PubMed, Google Scholar, Cochrane Library та репозиторію Національної бібліотеки України (1990–2025 рр.). Додатково проаналізовано регіональні медико-статистичні дані, популяційні дані програми моніторингу вроджених вад OMNI-Net) та власні клінічні спостереження, верифіковані методами магнітно-резонансної трактографії) та та повноекзомного секвенування.

**Результати.** Структура неврологічної патології на радіаційно забруднених територіях Житомирської області зазнала значної трансформації протягом останнього десятиліття. Якщо в перші постчорнобильські роки переважали грубі вроджені вади центральної нервової системи (дефекти нервової трубки та мікроцефалія), то сьогодні на перший план

**Background.** Radioactive contamination of the northern districts of Zhytomyr Oblast with caesium-137 and strontium-90 persists to the present day, creating a cumulative mutagenic and epigenetic burden on children's organisms. Despite four decades having passed since the Chornobyl disaster, no systematic analysis of the structure of neurological pathology in children from the affected districts, incorporating modern diagnostic methods such as magnetic resonance tractography and whole-exome sequencing, has yet been conducted.

**Objective.** To systematise data on the spectrum of neurological pathology in children from radioactively contaminated territories of Zhytomyr Oblast, to analyse the transformation of its structure, and to evaluate the role of chronic low-dose radiation exposure as a teratogenic and mutagenic factor in the context of current neurobiological concepts.

**Methods.** A systematic literature review was performed using the databases PubMed, Google Scholar, Cochrane Library, and the repository of the Vernadsky National Library of Ukraine (1990–2025). In addition, regional medical-statistical data, population-based data from the OMNI-Net congenital anomalies monitoring programme, and original clinical observations verified by magnetic resonance tractography (DTI) and whole-exome sequencing were analysed.

**Results.** The structure of neurological pathology in the radioactively contaminated territories of Zhytomyr Oblast has undergone significant transformation over the past decade. While gross congenital malformations of the central nervous system (neural tube defects and microcephaly) predomi-

вийшли аномалії задньої черепної ямки, мозолистого тіла та гіпокампу — структур, особливо вразливих до хронічного малодозового радіаційного впливу. За даними популяційного моніторингу OMNI-Net у регіоні українського Полісся частота дефектів нервової трубки становила 26,1 на 10 000 живонароджених (OR = 1,59;  $p < 0,001$ ), мікроцефалії — 6,1 (OR = 1,85;  $p < 0,01$ ), що є найвищими показниками в Європі. Водночас у структурі звернень дітей із постраждалих районів Житомирщини домінують не вроджені вади розвитку, а розлади нейророзвитку — розлади аутистичного спектра, епілептичні та розвиткові енцефалопатії. Точних статистичних даних щодо поширеності цих розладів в Україні немає, оскільки жодного спеціального епідеміологічного дослідження в зонах радіаційного забруднення не проводилося. Ілюстрацією типової поєднаної нейропатології є клінічний випадок дитини В., 4 роки, мешканки одного з постраждалих районів Житомирської області. Дитина народилася передчасно від вагітності, отриманої шляхом екстракорпорального запліднення, з ускладненнями (багатоводдя, анемія, гестаційний діабет). Після народження діагностовано внутрішньощлуночковий крововилив III ступеня, перивентрикулярну лейкомаляцію та постгеморагічну гідроцефалію. На момент обстеження спостерігалися затримка рухового та психомовленнєвого розвитку, епілептичні напади, спастичний геміпарез справа та аутистикоподібний профіль (ехолалія, відсутність діалогової мови). МРТ головного мозку з дифузійно-тензорною трактографією виявила виражену атрофію та кістозно-гліозні зміни тім'яних і потиличних часток, вентрикулоділятацію, атрофію мозолистого тіла та грубі порушення цілісності провідних трактів білої речовини (відсутність лівого поясного пучка, редукція задніх відділів верхнього та нижнього поздовжніх і лобово-потиличного пучків). Цей випадок демонструє поєднання структурного ураження мозку, епілептичної енцефалопатії та розладу нейророзвитку, характерне саме для дітей з радіаційно забруднених територій.

**Висновки.** Хронічний малодозовий радіаційний вплив залишається персистуючим чинником формування неврологічної патології у дітей з радіаційно забруднених територій Житомирської області. Відбувається трансформація структури патології від грубих вроджених вад центральної нервової системи до переважання розладів нейророзвитку. Необхідне створення регіонального реєстру нейророзвиткових розладів, впровадження обов'язкового неврологічного обстеження дітей з ознаками розладів аутистичного спектра (зокрема з використанням МРТ з трактографією) та проведення популяційних епідеміологічних досліджень у постраждалих районах.

nated in the first post-Chornobyl years, anomalies of the posterior cranial fossa, corpus callosum, and hippocampus — structures particularly vulnerable to chronic low-dose radiation exposure — have now come to the fore. According to the OMNI-Net population monitoring data in the Ukrainian Polissia region, the frequency of neural tube defects was 26.1 per 10,000 live births (OR = 1.59;  $p < 0.001$ ), and microcephaly was 6.1 per 10,000 (OR = 1.85;  $p < 0.01$ ), representing the highest rates in Europe. At the same time, referrals from the affected districts of Zhytomyr Oblast are now dominated not by congenital malformations but by neurodevelopmental disorders — autism spectrum disorders, epileptic and developmental encephalopathies. Precise statistical data on the prevalence of these disorders in Ukraine are lacking, as no special epidemiological studies have been conducted in radiation-contaminated zones. An illustrative example of typical combined neuropathology is the clinical case of patient V., a 4-year-old child from one of the affected districts of Zhytomyr Oblast. The child was born prematurely (following in vitro fertilisation) from a pregnancy complicated by polyhydramnios, anaemia, and gestational diabetes. After birth, grade III intraventricular haemorrhage, periventricular leukomalacia, and posthaemorrhagic hydrocephalus were diagnosed. At examination, delayed motor and speech development, epileptic seizures, right-sided spastic hemiparesis, and an autism-like profile (echolalia and absence of dialogic speech) were observed. Brain MRI with diffusion tensor tractography revealed marked atrophy and cystic-gliotic changes in the parietal and occipital lobes, ventriculodilatation, atrophy of the corpus callosum, and severe disruption of the integrity of major white matter tracts (absence of the left cingulum bundle and reduction of the posterior segments of the superior and inferior longitudinal fasciculi and fronto-occipital fasciculus). This case demonstrates the combination of structural brain damage, epileptic encephalopathy, and neurodevelopmental disorder that is characteristic of children from radiation-contaminated territories.

**Conclusions.** Chronic low-dose radiation exposure remains a persisting factor in the formation of neurological pathology in children from the radioactively contaminated territories of Zhytomyr Oblast. There is a clear transformation in the structure of pathology from gross congenital malformations of the central nervous system to the predominance of neurodevelopmental disorders. The establishment of a regional registry of neurodevelopmental disorders, the introduction of mandatory neurological examination for children with signs of autism spectrum disorders (including MRI with tractography), and the conduct of population-based epidemiological studies in the affected districts are urgently needed.

## ЗАСТОСУВАННЯ ПОБУТОВИХ РАДІОМЕТРІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ РАДІОЙОДУ У ЩИТОПОДІБНІЙ ЗАЛОЗІ

Чепурний М. І.<sup>1</sup>, Гулеватий С. В.<sup>2</sup>, Морозов В. В.<sup>1</sup>, Курята М. С.<sup>1</sup>, Василенко В. В.<sup>1</sup>, Масюк С. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України», Київ, Україна

<sup>2</sup>Державна установа «Інститут ендокринології та обміну речовин ім. В. П. Комісаренка НАМН України», Київ, Україна

## USE OF HOUSEHOLD RADIOMETERS FOR MEASURING OF RADIOIODINE IN THE THYROID

Chepurny M. I.<sup>1</sup>, Gulevatiy S. V.<sup>2</sup>, Morozov V. V.<sup>1</sup>, Kuriata M. S.<sup>1</sup>, Vasylenko V. V.<sup>1</sup>, Masiuk S. V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Institution «National Scientific Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>State Institution «V. P. Komisarenko Institute of Endocrinology and Metabolism of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Після аварії на ЧАЕС основна частина (60%) вимірів вмісту радіоїоду у щитоподібній залозі (ЩЗ) була виконана геологічними радіометрами СРП-68-01 завдяки їх масовості і простоті використання. На сьогодні ці прилади вже вийшли з ужитку. В умовах розв'язаної РФ війни існує вірогідність широкомасштабної радіаційної аварії унаслідок актів тероризму на об'єктах ядерної промисловості України, а також можливість використання країною-агресором тактичної ядерної зброї. Тому існує необхідність в оцінці можливості використання поширених нині побутових радіометрів для масової експрес-оцінки доз опромінення ЩЗ. **Мета** дослідження. Виконати аналіз чутливості поширених в Україні побутових радіометрів до випромінювання радіонуклідів <sup>131</sup>I в ЩЗ людини з метою оцінки можливості їхнього застосування у випадку необхідності проведення масового тиреодозиметричного моніторингу.

**Методи.** Чутливість радіометрів до випромінювання <sup>131</sup>I в ЩЗ людини визначалась шляхом вимірювань гамма-випромінювання від імітатора (фантома) ЩЗ, наповненого водним розчином йодиду натрію. Активність <sup>131</sup>I в розчині визначалась на сертифікованому доз-калібраторі і в подальшому корегувалась на величину розпаду радіонуклідів. Фантом ЩЗ був виготовлений у вигляді циліндра з органічного (акрилового) скла діаметром 120 мм, в якому були висвердлені отвори діаметрами 24 та 14 мм на відстані 5 та 3 мм від краю циліндра. В отвори опускались ємності з 10 мл та 1,5 мл розчину

**Relevance.** After the Chernobyl accident, the main part (60%) of all measurements of radioiodine content in the thyroid was performed by geological radiometers SRP-68-01 due to their mass availability and ease of using. Today, these devices have already fallen into disuse. In the conditions of the war unleashed by the Russian Federation, there is a probability of a large-scale radiation accident due to acts of terrorism at the facilities of the nuclear industry of Ukraine, as well as the possibility of the use of tactical nuclear weapons by the state-aggressor. Therefore, there is a need to assess the possibility of using currently widespread household radiometers for mass express assessment of thyroid radiation doses.

**Objective.** To analyze the sensitivity of household radiometers widespread in Ukraine to <sup>131</sup>I in the human thyroid gland in order to assess the possibility of their use in the event of the need for mass thyroid dosimetric monitoring.

**Methods.** The sensitivity of radiometers to <sup>131</sup>I in the thyroid was determined by measuring gamma radiation from a thyroid simulator (phantom) filled with an aqueous solution of sodium iodide. The activity of <sup>131</sup>I in the solution was determined on a certified dose calibrator and subsequently corrected for the decay rate of radionuclides. The thyroid phantom was made in the form of a cylinder of organic (acrylic) glass with a diameter of 120 mm, in which holes with diameters of 24 and 14 mm were drilled at a distance of 5 and 3 mm from the edge of the cylin-

<sup>131</sup>I, які імітували ЩЗ дорослої людини та дитини відповідно. Для вимірювання гамма-випромінювання були використані 5 приладів найпоширенішої в Україні моделі побутових радіометрів – МКС-05 Терра підприємства Екотест (м. Львів). **Результати.** Чутливість приладів МКС-05 до гамма-випромінювання <sup>131</sup>I фантома ЩЗ очікувано виявилась суттєво залежною від геометрії вимірювань. Найбільша чутливість досягалась у геометрії, коли прилад прикладався до імітатора ший нижньою стороною, на якій виробником нанесено спеціальну позначку «+». В цій геометрії калібрувальний фактор, усереднений для 5-и приладів, був оцінений у 30 кБк × год/мкЗв для фантома ЩЗ дорослої людини та 15 кБк × год/мкЗв для фантома ЩЗ дитини. Розходження в величинах калібрувальних факторів для окремих приладів не виходило за межі відносної похибки вимірювань, оціненої в ході декількох серій вимірювань в 5–7%. При віддаленні приладу від імітатора ший навіть на величину в 1–2 см чутливість приладів помітно падала (в 1,5–2,4 рази для дорослого фантома).

**Висновки.** Поширені побутові радіометри МКС-05 впевнено реєструють типову для травня-червня 1986 року активність <sup>131</sup>I ЩЗ (5–20 кБк) та демонструють стабільність результатів з часом. Чутливість для різних екземплярів приладу суттєво не відрізняється. МКС-05 можуть бути застосовані з метою первинного медичного сортування осіб, постраждалих внаслідок радіоїодної атаки, а також для грубої оцінки потенційних доз опромінення ЩЗ. В той же час при використанні МКС-05 для вимірювання вмісту <sup>131</sup>I в ЩЗ важливо суворо дотримуватись однієї і тої ж самої геометрії вимірювань, через суттєву залежність чутливості цих приладів від геометрії вимірювань.

der. Containers with 10 ml and 1.5 ml of <sup>131</sup>I solution were lowered into the holes, which simulated the thyroid gland of an adult and a child, respectively. To measure gamma radiation, 5 devices of the most common model of household radiometers in Ukraine – MKS-05 Terra of the Ecotest enterprise (Lviv) were used.

**Results.** The sensitivity of MKS-05 devices to gamma radiation of <sup>131</sup>I in the thyroid phantom was found to be significantly dependent on the geometry of measurements. The highest sensitivity was achieved in the geometry when the device was applied to the neck simulator with the lower side, on which the manufacturer applied a special «+» mark. In this geometry, the calibration factor averaged for 5 devices was estimated at 30 kBq × h/μSv for the thyroid phantom of an adult and 15 kBq × h/μSv for the thyroid phantom of a child. The difference in the values of the calibration factors for individual devices did not exceed the relative measurement error, estimated during several series of measurements at 5–7%. When the device was removed from the neck simulator even by 1–2 cm, the sensitivity of the devices dropped noticeably (by 1.5–2.4 times for the adult phantom).

**Conclusions.** Widespread household radiometers MKS-05 confidently register the <sup>131</sup>I thyroid activity typical for May-June 1986 (5–20 kBq) and demonstrate stability of results over time. The sensitivity for different devices does not differ significantly. MKS-05 can be used for the purpose of primary medical triage of persons affected by radioiodine, as well as for a rough assessment of potential thyroid radiation doses. At the same time, when using MKS-05 to measure the <sup>131</sup>I content in the thyroid, it is important to strictly adhere to the same measurement geometry, due to the significant dependence of the sensitivity of these devices on the measurement geometry.

## РОЛЬ НАЦІОНАЛЬНОГО НАУКОВОГО ЦЕНТРУ РАДІАЦІЙНОЇ МЕДИЦИНИ, ГЕМАТОЛОГІЇ ТА ОНКОЛОГІЇ В ВООЗ МЕРЕЖІ МЕДИЧНОЇ ГОТОВНОСТІ І РЕАГУВАННЯ НА РАДІАЦІЙНІ І ЯДЕРНІ НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ (REMPAN)

Чумак А.<sup>1</sup>, Акбаров К.<sup>2</sup>, Сушко В.<sup>1</sup>, Жовнір В.<sup>1</sup>, Василенко В.<sup>1</sup>, Король Н.<sup>1</sup>, Янович Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

<sup>2</sup>Технічний співробітник (ХБРЯ), Бюро ВООЗ в Україні, Київ, Україна

## THE ROLE OF THE NATIONAL RESEARCH CENTRE FOR RADIATION MEDICINE, HEMATOLOGY AND ONCOLOGY IN WHO REMPAN

Chumak A.<sup>1</sup>, Akbarov K.<sup>2</sup>, Sushko V.<sup>1</sup>, Zhovnir V.<sup>1</sup>, Vasilenko V.<sup>1</sup>, Korol N.<sup>1</sup>, Yanovich L.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology, National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Technical Officer (CBRN), WHO Country Office in Ukraine, Kyiv, Ukraine

З грудня 2025 року Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології (ННЦРМГО) Національної академії медичних наук України всьоме перепризначено на наступний чотирирічний період як Центр, що співпрацює з ВООЗ в мережі медичної готовності і реагування на радіаційні і ядерні надзвичайні ситуації (REMPAN) WHO CC Ukr-6. Це було не просто адміністративне продовження терміну дії. Це було визнанням величезної стійкості ННЦРМГО, його відданості справі порятунку життів та його зусиль щодо зміцнення стійкості системи охорони здоров'я до загрози радіаційних та ядерних надзвичайних ситуацій в умовах триваючого військового конфлікту та воєнного стану. За підтримки Представництва ВООЗ в Україні, з лютого 2023 року по грудень 2025 року ННЦРМГО організував 33 семінари «Управління оцінкою опромінення та медичне реагування на радіаційну надзвичайну ситуацію в Україні». Ці семінари були розроблені для медичного персоналу та осіб, які приймають рішення у сфері охорони здоров'я, з територій, прилеглих до зон планування надзвичайних ситуацій на атомних електростанціях, загалом 499 осіб. Робоча зустріч відповідних зацікавлених сторін та партнерів, залучених до питань готовності та реагування на радіаційні надзвичайні ситуації в Україні, була зосереджена на посиленні міжсекторальної координації для реагування на радіаційну надзвичайну ситуацію та зменшення її потенційного впливу по всій країні (включаючи різні сценарії, такі як застосування ядерної зброї, аварії на атомній електростанції з викидом радіоак-

Since December 2025, the National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology (NRCRM) of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine has been redesignated for the next four-year period as the WHO CC Ukr-6 for the 7<sup>th</sup> time. This was not a mere administrative renewal extension. It was a recognition of the Center's tremendous resilience, dedication to saving lives, and its efforts to strengthen the resilience of the public health system under the threat of radiation and nuclear emergencies under the conditions the ongoing military conflict and martial law. With support of the WHO Country office in Ukraine, the since February 2023 to December 2025 NRCRM organized 33 workshops «Managing exposure assessment and medical response to a radiation emergency in Ukraine». These workshops were tailored for medical staff and public health decision-makers of the areas adjacent to nuclear power plants emergency planning zones, 499 persons in total. A working meeting of relevant stakeholders and collaborators involved in the area of radiation emergency preparedness and response in Ukraine focused on strengthening cross-sector coordination to respond to and reduce a potential impact of a radiation emergency all over the country (including various scenarios, such as the use of nuclear weapons, accidents at a nuclear power plant with a release of radioactive substances, etc.). Significant gap in the availability of

тивних речовин тощо). Значна прогалина в наявності дозиметричних приладів та обладнання для діагностики радіаційних уражень була заповнена завдяки постачанню, наданому ВООЗ та МАГАТЕ. Співробітники ННЦРМГО допомогли у виборі оптимального обладнання та підготували короткі інструкції українською мовою для його експлуатації. Нарешті, під керівництвом Представництва ВООЗ в Україні в ННЦРМГО було відкрито Навчальний центр радіаційної дозиметрії, який використовується для проведення регулярних навчальних курсів з квітня 2025 року. Фахівці ННЦРМГО також підтримували навчання ВООЗ у Молдові та Словаччині у 2024–2025 роках, а також взяли участь у міжнародних навчаннях з питань ядерної надзвичайної ситуації Convex-3 у червні 2025 року, що відбулися на АЕС «Чернавода» в Румунії.

**Висновок.** Співпраця ННЦРМГО з ВООЗ у рамках REMPAN має вирішальне значення для посилення загальної готовності до загроз ХБРЯ та виділення ресурсів для її подальшого вдосконалення. Допомога донорів у вигляді обладнання для дозиметричного моніторингу та діагностики розладів, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями, сприяє підвищенню готовності системи охорони здоров'я України до адекватного реагування на загрози радіаційних та ядерних надзвичайних ситуацій.

dosimetric devices and equipment for diagnosis of radiation injuries was filled due to supplies provided by the WHO and the IAEA. The staff of the NRCRM supported selection of the optimal equipment and completed short manuals in Ukrainian for its operation. Finally, under the guidance of the WHO Country office in Ukraine, the Training Center for Radiation Dosimetry was inaugurated within the NRCRM and is being used for regular training courses since April 2025. The NRCRM specialists have also supported WHO trainings in Moldova and Slovakia in 2024–2025, and took part in the international nuclear emergency exercise Convex-3 in June 2025 held in Chernavoda NPP in Romania.

**Conclusion.** Cooperation of the NRCRM with WHO under the REMPAN framework is crucial for strengthening the overall preparedness for CBRN threats and allocating resources for its further improvement. Donor assistance in the form of equipment for dosimetric monitoring and diagnostics of emergency-related disorders contributes to increasing the readiness of the Ukrainian healthcare system to adequately respond to the threats of radiation and nuclear emergencies.

## ДРУ, КЕР ТА ІНШІ «ЧОРНОБИЛЬСЬКІ» РЕЄСТРИ – PROGNOSIS PESSIMA

Чумак А.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна*

## SRU, KER AND OTHER «CHORNOBYL» REGISTERS – PROGNOSIS PESSIMA

Chumak A.

*State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine*

Реєстри постраждалих осіб мають всі країни, які зазнали радіаційних та ядерних надзвичайних ситуацій. Тому в Україні Законом України «Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи» від 28 лютого 1991 року № 796-ХІІ було створено Державний реєстр України осіб, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи (ДРУ), а в ННЦРМГО – Клініко-епідеміологічний реєстр (КЕР) – аналог японського Life Span Study постраждалих від атомного бомбардування, дозиметричний реєстр внутрішнього опромінення, кардіологічний та ряд інших клінічних реєстрів. Попри певні дефекти в наповненні, саме з ДРУ було відібрано понад 104 тисячі осіб для міжнародного дослідження лейкемій у ліквідаторів, лінкідж даних з Національним канцер-реєстром України виявив підвищену захворюваність ліквідаторів на солідні пухлини, регулярні диспансерні обстеження пацієнтів КЕР щрічно виявляли понад 200 злоякісних новоутворень на ранніх, курабельних стадіях. Аудит ДРУ 2026 р. виявив ряд недоліків у його формуванні і в кінцевому підсумку прийшов до висновку про недоцільність витрат на його продовження. Диктат Національної служби здоров'я України ліквідував специфіку обстеження і надання допомоги пацієнтам КЕР нівелюючи його наукове значення.

**Висновок.** ДРУ, КЕР та інші «чорнобильські» реєстри – це національне надбання. Подальший їх розвиток повинен уникнути механічного відтворення реєстрової логіки 1990-х років у нових ІТ-рішеннях і водночас зберегти головне – можливість системного аналізу медичних наслідків радіаційного впливу у довгостроковій перспективі.

Registers of affected persons were available in all countries that have experienced radiation and nuclear emergencies. Therefore, in Ukraine, the Law of Ukraine «On the Status and Social Protection of Citizens Affected by the Chernobyl Disaster» dated February 28, 1991 No. 796-XII established the State Register of Ukraine of Persons Affected by the Chernobyl Disaster (SRU), and in the NRCRMHO – the Clinical and Epidemiological Register (CER) – an analogue of the Japanese Life Span Study of atomic bomb survivors, – a dosimetric register of internal irradiation, cardiological and a number of other clinical registers. Despite certain defects in the filling, it was from the SRU that more than 104 thousand people were selected for an international study of leukemia in clean-up workers, data linkage with the National Cancer Registry of Ukraine revealed an increased incidence of solid tumors in in clean-up workers, regular dispensary examinations of CER patients successfully detected more than 200 malignant neoplasms at early, curable stages. The audit of the SRU in 2026 revealed a number of shortcomings in its formation and ultimately came to the conclusion that the costs of its continuation were inappropriate. The dictates of the National Health Service of Ukraine eliminated the specificity of examination and assistance to CER patients, leveling its scientific significance.

**Conclusion.** The DRU, KER and other «Chernobyl» registries must be treated as a national treasure. Their further development should avoid the mechanical reproduction of the register logic of the 1990s in new IT solutions and at the same time preserve the main thing – the possibility of systematic analysis of the medical consequences of radiation exposure in the long term.

## РЕТРОСПЕКТИВНА ПІСЛЯВАРІЙНА ДОЗИМЕТРІЯ: ВІД ЧОРНОБИЛЯ ДО СЬОГОДЕННЯ

Чумак В. В.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна*

## RETROSPECTIVE POST-ACCIDENT DOSIMETRY: FROM CHORNOBYL TO THE PRESENT

Chumak V. V.

*State Institution «National Research Centre for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine*

Всі надзвичайні ситуації трапляються зненацька й висувають надзвичайні вимоги до заходів з реагування та подолання наслідків. Аварія на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) не є винятком. Одним з аспектів, що потребував розробки та застосування унікальних підходів стала оцінка індивідуальних доз осіб з охоплених аварією контингентів – евакуйованого населення 30-км зони, учасників ліквідації наслідків аварії (ЛНА), мешканців територій, що потрапили під вплив «йодної атаки». Причини відсутності даних про індивідуальні доз для цих категорій відрізнялися, але спільним було те, що, через надзвичайну неоднорідність забруднення та варіабільність індивідуальних режимів поведінки (історій опромінення), застосування усереднених чи навіть групових оцінок виявилось неінформативним. У відповідь на ці виклики від 1986 року в ННЦРМГО спільно із міжнародними партнерами було проведено величезних комплекс досліджень та розробок, спрямованих на ретроспективну реконструкцію доз опромінення. Було здійснено аналітичну реконструкцію індивідуальних доз більше 35 тисяч евакуйованих мешканців Прип'яті та населених пунктів 30-км зони. Основою для розрахунку доз стали вимірювання потужності дози на території зони відчуження та опитування евакуантів у місцях їх нового проживання за допомогою спеціально розроблених дозиметричних анкет. Було освоєно та застосовано на практиці методику ТЛ (термолюмінесцентної) дозиметрії по кварцу відпаленої кераміки (червоної цегли), яка дозволила у незалежний спосіб оцінити дози, накопичені у місцевостях, забруднених внаслідок аварійних викидів ЧАЕС. Для високоточної реконструкції індивідуальних доз учасників ЛНА було розроблено та валідовано методику ЕПР (електронний парамагнітний резонанс) дозиметрії по емалі зубів. Було налагоджено пасив-

All emergencies happen unexpectedly and put forward extraordinary requirements for response and mitigation measures. The accident at the Chornobyl NPP (Chornobyl nuclear power plant) is no exception. One of the aspects that required development and application of unique approaches was assessment of individual doses of persons from the contingents affected by the accident – evacuated population of the 30-km zone, clean-up workers (liquidators), residents of the territories affected by the «iodine attack». The reasons for this lack of data regarding individual doses for these categories differed, but in common was that, due to the extreme heterogeneity of contamination and the variability of individual modes of behavior (exposure histories), the use of average or even group estimates was not informative. In response to these challenges, since 1986, NRCRM in cooperation with international partners has carried out a huge complex of research and development aimed at retrospective reconstruction of individual doses. An analytical reconstruction of individual doses for more than 35 thousand evacuated residents of Prip'yat and settlements of the 30-km zone was carried out. The basis for calculating the doses was the measurement of the dose rates on the territory of the exclusion zone and survey of evacuees in their new places of residence using specially designed dosimetric questionnaires. The method of TL (thermoluminescence) dosimetry on quartz in annealed ceramics (red brick) was mastered and applied in practice, which made it possible to independently assess the doses accumulated in areas contaminated as a result of releases from the Chornobyl NPP. For high-precision reconstruction of individual doses of liquidators, the EPR (electron paramagnetic resonance) with tooth enamel

ний збір зубів ліквідаторів, результатом якого стало накопичення в банку біопроб дозиметричного призначення більше 10 тисяч зубів, видалених в учасників ЛНА за медичними показаннями. Надалі цей масив став основою для верифікації історичних дозових записів та валідації інших методів ретроспективної дозиметрії у якості «золотого стандарту». Було проведено великий комплекс робіт для верифікації та ретроспективної корекції історичних дозових записів («офіційних доз»), який дозволив використати ці дані для цілей епідеміологічних досліджень у когорті учасників ЛНА. Крім того, було оцінено на індивідуальній основі дози опромінення кришталіка ока з урахуванням внеску дистанційного бета-випромінювання. Для тотального охоплення учасників ЛНА ретроспективною оцінкою індивідуальних доз було розроблено аналітичний метод RADRUE та його модифікацію Rockville. Ці методики базувалися на дозиметричному опитуванні учасників ЛНА-суб'єктів епідеміологічних досліджень (лейкемії, раку щитоподібної залози, TRIO, раку молочної залози тощо) та використовували для розрахунку доз стохастичне моделювання з використанням програмного забезпечення, розробленого спільно з закордонними партнерами. Роботи з ретроспективної оцінки доз тривають. Доповідь представить огляд 40-річного досвіду реконструкції індивідуальних доз та окреслить завдання на майбутнє.

method was developed and validated. A passive collection of teeth of liquidators was established, yielding in the accumulation of more than 10 thousand teeth extracted from liquidators by medical reasons in the dosimetric bioprobe bank. In the following years, this array became the basis for the verification of historical dose records and the validation of other methods of retrospective dosimetry serving as a «gold standard». A large complex of works was carried out for verification and retrospective correction of historical dose records («official doses»), which made it possible to use these data for the purposes of epidemiological studies in the cohort of clean-up workers. In addition, the radiation doses to the lens were evaluated on an individual basis, taking into account the contribution of remote beta radiation. For the total coverage of clean-up workers, the analytical method RADRUE and its modification Rockville were developed for retrospective assessment of individual doses. These techniques were based on a dosimetric survey of liquidators within epidemiological studies (leukemia, thyroid cancer, TRIO, breast cancer, etc.) and used stochastic modeling using the software developed jointly with foreign partners to calculate doses. Work on retrospective dose estimation is ongoing. The report will provide an overview of 40 years of experience in the reconstruction of individual doses and outline the challenges for the future.

## ПАТЕРНИ УРАЖЕННЯ БРОНХОЛЕГЕНЕВОЇ СИСТЕМИ В ОСІБ, ЯКІ ПОСТРАЖДАЛИ ВНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АТОМНІЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Швайко Л.І., Бази́ка К.Д., Шиле́нко М.В., Савче́нко А.А., Сушко В.О.

Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна

## PATTERNS OF BRONCHOPULMONARY SYSTEM DAMAGE IN PERSONS EXPOSED AS A RESULT OF THE CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT

Shvaiko L.I., Bazyka K.D., Shylenko M.V., Savchenko A.A., Sushko V.O.

State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

**Актуальність.** Надходження радіонуклідів аварійного походження до бронхолегеневої системи осіб, які постраждали внаслідок аварії на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС) обумовлює наявність віддалених наслідків впливу іонізуючого випромінювання. Визначення клініко-функціональних та структурно морфологічних патернів перебігу хронічного обструктивного захворювання легень (ХОЗЛ) у даного контингенту осіб залишається недостатньо вивченим.

**Мета** дослідження. визначити закономірності формування клінічних, функціональних і структурно-морфологічних патернів ураження бронхолегеневої системи в осіб, які зазнали впливу іонізуючого випромінювання, у віддаленому післяаварійному періоді.

**Методи.** Загальноклінічні лабораторні тести, спірометрія, бодіплетизмографія, дослідження дифузійної здатності легень на респіраторному комплексі «МастерСкрин Боді/Діффузжн» (Єгер (Німеччина)) з відповідними модулями, спіральна комп'ютерна томографія органів грудної клітки, інформаційно-статистичні методи.

**Результати.** Проспективне клініко-функціональне пульмонологічне обстеження здійснено 100 хворим на ХОЗЛ, які постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС, та 30 особам групи нозологічного контролю. За клінічними і функціональними характеристиками ХОЗЛ в осіб, які постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС визначені більша кількість симптомів за оцінкою САТ (Chronic Obstructive Pulmonary Disease Assessment Test – тест оцінки ХОЗЛ), ознаки обструктивно-рестриктивних змін функції зовнішнього дихання, істотне зниження толерантності до фізичного навантаження. Встановлений негативний взаємозв'язок ОФВ<sub>1</sub> у відсотках від належних значень і показ-

**Background.** The intake of radionuclides of accidental origin into the bronchopulmonary system of persons, suffered as a result of the Chernobyl nuclear power plant accident leads to long-term consequences of ionizing radiation exposure. The determination of clinical, functional, and structural-morphological patterns of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in this population remains insufficiently studied.

**Objective.** To determine the patterns of formation of clinical, functional, and structural-morphological changes in the bronchopulmonary system in individuals exposed to ionizing radiation in the long-term post-accident period.

**Methods.** General clinical and laboratory tests, spirometry, body plethysmography, and assessment of lung diffusing capacity were performed using the MasterScreen Body/Diffusion system (Jaeger, Germany) with appropriate modules. Spiral computed tomography of the chest was conducted in the morning on an empty stomach. Information-statistical methods were applied.

**Results.** A prospective clinical and functional pulmonary study was conducted in 100 patients with chronic obstructive pulmonary disease exposed as a result of the Chernobyl accident and 30 individuals in the nosological control group. Patients exposed to ionizing radiation demonstrated a higher symptom burden according to the Chronic Obstructive Pulmonary Disease Assessment Test (CAT), signs of combined obstructive-restrictive ventilatory impairment, and significantly reduced exercise tolerance. A negative correlation was found between forced expiratory vol-

ником внутрішньогрудного тиску ( $r = -0,5, p < 0,05$ ) та позитивний взаємозв'язок з показниками ємності вдиху ( $r = 0,42, p < 0,05$ ) та дифузійної здатності легень ( $r = 0,71, p < 0,05$ ), та підтвержене виражене порушення співвідношення легеневих об'ємів з наявністю легеневої гіперінфляції. Структурно-морфологічними ознаками ХОЗЛ за результатами променевих досліджень визначено, що в учасників ЛНА на ЧАЕС поєднання пневмофіброзу та емфіземи легень виявлялось достовірно частіше, порівняно із групою нозологічного контролю, відповідно 68 % і 43,3 %,  $p < 0,05$ . Основними клініко-функціональними патернами перебігу ХОЗЛ в учасників ЛНА на ЧАЕС за результатами комплексного клініко-функціонального обстеження визначені: швидко прогресуючий перебіг, повільно прогресуючий перебіг. Швидко прогресуючий патерн ХОЗЛ достовірно частіше виявлявся в осіб, які зазнали впливу іонізуючого випромінювання у період з 26.04.1986 р. по 15.05.1986 р. і проявлявся значним погіршенням внутрішньогрудного тиску та дифузійної здатності легень. Для повільно прогресуючого патерну ХОЗЛ були характерними нижчий показник індексу пачка-років, ніж при швидко прогресуючому патерні та достовірно кращі показники внутрішньогрудного тиску, дифузійної функції легень

**Висновки.** В осіб, які постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС, використання комплексного клініко-діагностичного підходу із визначенням кількості симптомів ХОЗЛ за бальною оцінкою САТ, оцінкою задишки, визначення порушень толерантності до фізичного навантаження, проведення дослідження функціональних легеневих тестів, та комп'ютерної томографії дозволяє виявляти хворих з ознаками швидко прогресування захворювання, індивідуалізувати лікування та запобігти ризикам розвитку ускладнень та покращити прогноз захворювання.

ume in one second (FEV<sub>1</sub>, % predicted) and intrathoracic pressure ( $r = -0.5, p < 0.05$ ), as well as positive correlations with inspiratory capacity ( $r = 0.42, p < 0.05$ ) and lung diffusing capacity ( $r = 0.71, p < 0.05$ ), confirming pronounced disturbances in lung volume relationships with the presence of pulmonary hyperinflation. According to imaging studies, the combination of pneumofibrosis and pulmonary emphysema was significantly more frequent in exposed individuals compared to the control group (68% vs. 43.3%,  $p < 0.05$ ). The main clinical and functional patterns of chronic obstructive pulmonary disease included rapidly progressive, slowly progressive. The rapidly progressive pattern was significantly more frequent in persons, exposed to ionizing radiation during the period from April 26, 1986, to May 15, 1986, and was characterized by a marked deterioration in intrathoracic pressure and lung diffusing capacity. The slowly progressive pattern of chronic obstructive pulmonary disease was characterized by a lower pack-year index compared to the rapidly progressive pattern, as well as significantly better indicators of intrathoracic gas volume and lung diffusing capacity

**Conclusions.** In persons, exposed as a result of the Chernobyl nuclear power plant accident, the use of a comprehensive clinical and diagnostic approach, including assessment of symptom burden using the Chronic Obstructive Pulmonary Disease Assessment Test, evaluation of dyspnea, assessment of exercise tolerance, pulmonary function testing, and computed tomography, enables identification of patients with rapidly progressive disease. This approach allows for individualized treatment, prevention of complications, and improvement of disease prognosis.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИТОГЕНЕТИЧНИХ ЕФЕКТІВ ОПРОМІНЕННЯ ВНАСЛІДОК АВАРІЇ НА ЧАЕС

Шеметун О.В., Талан О.О.

*Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», Київ, Україна*

## STUDY OF CYTOGENETIC EFFECTS OF RADIATION AS A RESULT OF THE CHRONICLE NPP ACCIDENT

Shemetun O.V., Talan O.O.

*State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine*

Однією з головних мішеней при дії іонізуючого випромінювання на людину є генетичний апарат її соматичних та генеративних клітин. При опроміненні утворюються аберації хромосомного типу (дицентричні, кільцеві хромосоми, транслокації, інверсії, інсерції), що є специфічними цитогенетичними маркерами опромінення і використовуються для біоіндикації та біодозиметрії радіаційного впливу. У лабораторії цитогенетики відділу медичної генетики ІЕР ННЦРМГО впродовж 40 років з часу аварії на Чорнобильській АЕС проводиться цитогенетичний моніторинг контингентів, які постраждали від її наслідків: учасників ліквідації аварії (включно з реконвалесцентами гострої променевої хвороби); працівників ЧАЕС; персоналу об'єкту «Укриття»; евакуйованих осіб; дітей та дорослих, які мешкали на територіях з підвищеними рівнями забруднення радіонуклідами, самоселів з 30-км зони відчуження. У обстежених осіб визначали частоту всіх типів аберацій хромосом в культурі лімфоцитів периферичної крові з використанням напівмікрометоду. Було встановлено, що у осіб, які зазнали дії чинників аварії на Чорнобильській АЕС, протягом двох наступних десятиліть зберігався підвищений рівень цитогенетичних маркерів опромінення. Він залежав від характеру, інтенсивності, тривалості радіаційного впливу і часу, що минув після аварії. Надспонтанний цитогенетичний ефект не корелював з вихідним рівнем аберацій. При однаковому опроміненні цитогенетичні показники у окремих осіб часто розрізнялись, що, ймовірно, зумовлювалось як індивідуальною радіочутливістю організму, так і різною коректністю встановлених фізичних доз опромінення. Після гострого радіаційного впливу частота нестабільних аберацій хромосом зменшувалась з часом, тоді як рівень стабільних маркерів опромінення у перший рік дещо знижувався (що зу-

One of the main targets of ionizing radiation exposure in humans is the genetic apparatus of their somatic and generative cells. During irradiation, chromosomal aberrations (dicentric, ring chromosomes, translocations, inversions, insertions) are formed, which are specific cytogenetic markers of irradiation and are used for bioindication and biodosimetry of radiation exposure. In the cytogenetics laboratory of the medical genetics department of the IER NNCRMGO, for 40 years since the Chernobyl accident, cytogenetic monitoring of contingents who suffered from its consequences has been carried out: participants in the liquidation of the accident (including convalescents of acute radiation sickness); employees of the Chernobyl NPP; personnel of the «Shelter» facility; evacuees; children and adults who lived in territories with increased levels of radionuclide contamination, settlers from 30 km of the exclusion zone. In the examined individuals, the frequency of all types of chromosome aberrations in the culture of peripheral blood lymphocytes was determined using the semimicro method. It was found that in individuals exposed to the factors of the Chernobyl accident, an increased level of cytogenetic markers of radiation remained for the next two decades. It depended on the nature, intensity, duration of radiation exposure and the time elapsed since the accident. The supraspontaneous cytogenetic effect did not correlate with the initial level of aberrations. With the same exposure, cytogenetic indicators in individual individuals often differed, which was probably due to both the individual radiosensitivity of the organism and the different correctness of the established physical doses of radiation. After acute radiation exposure, the frequency of unstable chromosome aberrations decreased over time, while the

мовлено частковою елімінацією клітин, які містили стабільні хромосомні перебудови разом з нестабільними), проте потім лишався незмінним. Зареєстровано збільшення частоти аберацій хроматидного типу, що могло бути як наслідком радіаційно-індукованої хромосомної нестабільності (затриманої/прихованої), так і радіаційно-індукованого ефекту свідка. Таким чином, результати цитогенетичного моніторингу засвідчили підвищення геномної нестабільності соматичних клітин людини, індуковане чинниками аварії на Чорнобильській АЕС. Динаміка хромосомного мутагенезу характеризувалась зменшенням частоти мішеневих нестабільних маркерів гострого опромінення та підвищеною частотою маркерів хромосомної нестабільності, що вказує на зростання ролі немішеневих ефектів радіаційного впливу у дестабілізації геному людини у віддалені терміни після гострого опромінення. У зв'язку з зазначеним, останні роки разом з індикацією прямого пошкоджуючого впливу іонізуючого випромінювання, в лабораторії цитогенетики проводиться вивчення дисгеномних (немішеневих) ефектів дії радіації, серед яких провідна роль належить радіаційно-індукованому ефекту свідка (характеризується пошкоджуючим впливом опромінених клітин на неопромінені), що може сприяти реалізації медичних наслідків променевого ураження людини шляхом розвитку радіаційно-індукованого канцерогенезу.

level of stable radiation markers decreased slightly in the first year (due to partial elimination of cells containing stable chromosomal rearrangements along with unstable ones), but remained unchanged thereafter. An increase in the frequency of chromatid-type aberrations was recorded, which could be a consequence of both radiation-induced chromosomal instability (retained/hidden) and radiation-induced bystander effects. Thus, the results of cytogenetic monitoring showed an increase in genomic instability of human somatic cells induced by factors of the Chernobyl accident. The dynamics of chromosomal mutagenesis was characterized by a decrease in the frequency of target unstable markers of acute radiation and an increased frequency of markers of chromosomal instability. This indicates an increasing role of non-target effects of radiation exposure in destabilizing the human genome in the long term after acute radiation. In connection with the above, in recent years, along with the indication of the direct damaging effect of ionizing radiation, the cytogenetics laboratory has been studying the disgenomic (non-target) effects of radiation, among which the leading role belongs to the radiation-induced bystander effect (characterized by the damaging effect of irradiated cells on non-irradiated cells), which may contribute to the realization of the medical consequences of radiation damage to humans through the development of radiation-induced carcinogenesis.

Алфавітний покажчик за першим автором

Абраменко І. В.	20	Масюк С. В.	100
Антипкін Ю. Г.	22	Матасар І. Т.	102
Базалицька С. В.	24, 25	Мирний С. В.	104
Білий Д. О.	26, 28	Морозова М. М.	106
Білько Д. І.	30	Настіна О. М.	108
Бриченко В.	32	Неумержицька Л. В.	110
Бузинний М.	34	Панасюк М.	112
Василенко В. В.	36, 38	Панченко О. А.	114
Вдовенко В. Ю.	40, 42, 44	Пастер І. П.	116
Вертелецький В.	46	Перчук І. В.	118
Гудзенко Н. А.	48	Пострелко В. М.	120
Гуртавцова М. В.	50	Руссу І. З.	122
Демченко О. М.	52	Сидоренко Г. В.	124
Дрозд І. П.	54	Сорочинский Б. В.	126
Дьоміна Е. А.	56	Сушко В. О.	128, 130, 134
Дягіль І. С.	58	Талько В. В.	138
Жовнір В. А.	60	Терещенко С. О.	140
Задорожна Т. Д.	62	Тищенко Т. М.	142
Зварич Л. М.	64	Ткаченко М. М.	144
Іванова О. М.	66	Тронько М. Д.	146
Камінський О. В.	68, 70, 72	Тугай Т. І.	148
Колпаков І. Є.	74	Федірко П. А.	150
Копилова О. В.	76	Хижняк М. В.	152
Куц К. В.	78	Цимбалюк В. І.	154
Лавренчук Г. Й.	80	Чепурний М. І.	156
Литвиненко О. О.	86, 88, 90, 92	Чумак А.	158, 160
Лівшиць Л. А.	82	Чумак В. В.	162
Лясківська О. В.	94	Швайко Л. І.	164
Малишева Т. А.	96, 98	Шеметун О. В.	166

Index by the first author

Abramenko I. V.	20	Malysheva T. A.	96, 98
Antipkin Yu. G.	22	Masiuk S. V.	100
Belyi D. A.	26, 28	Mirnyi S. V.	104
Bilko D. I.	30	Morozova M. M.	106
Briченко V.	32	Nastina O. M.	108
Buzynnyi M.	34	Neumerzhitska L. V.	110
Chepurny M. I.	156	Panasiuk M.	112
Chumak A.	158, 160	Panchenko O.	114
Chumak V. V.	162	Pasteur I. P.	116
Demchenko O. M.	52	Perchuk I. V.	118
Domina E. A.	56	Postrelko V. M.	120
Droz I. P.	54	Russu I. Z.	122
Dyagil I. S.	58	Shemetun O. V.	166
Fedirko P. A.	150	Shvaiko L. I.	164
Gudzenko N. A.	48	Sorochynskyi B. V.	126
Hurtavtsova M. V.	50	Sushko V. O.	128, 132, 136
Ivanova O. M.	66	Talko V. V.	138
Kaminskyi O. V.	68, 70, 72	Tereshchenko S. O.	140
Khizhnyak M. V.	152	Tkachenko M. M.	144
Kolpakov I. Ye.	74	Tymbaliuk V. I.	154
Kopylova O. V.	76	Tugay T. I.	148
Kuts K. V.	78	Vasylenko V. V.	36, 38
Lavrenchuk G. Y.	80	Vdovenko V. Yu.	40, 42, 44
Livshits L.	82	Wertelecki W.	46
Lyaskivska O. V.	94	Zadorozhna T. D.	62
Lypka A. I.	84, 85	Zhovnir V. A.	60
Lytvynenko O. O.	86, 88, 90, 92	Zvarych L. M.	64

