

ЗАХВОРЮВАНІСТЬ НА НЕПУХЛИННІ ХВОРОБИ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ В ОСІБ, ЕВАКУЙОВАНИХ ІЗ 30-КІЛОМЕТРОВОЇ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ, У ПІСЛЯАВАРІЙНИЙ ПЕРІОД: ЕФЕКТ МАЛИХ ДОЗ РАДІАЦІЇ

Прикашикова К. Є., Капустинська О. А., Ярошенко Ж. С., Костюк Г. В.,
Полянська В. М., Шевельова В. І., Сировенко В. І., Оленір О. В.

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

Вступ. Попередній епідеміологічний аналіз розвитку кардіологічної патології в осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС), віком 18–60 років за 30-річний післяаварійний період (1992–2022 рр.) за відсутності радіації дав змогу отримати високі абсолютні ризики розвитку деяких непухлинних хвороб системи кровообігу. Досліджувані отримали дози гамма-випромінювання від 0,001 Зв до 0,38 Зв. За 30-річний післяаварійний період (1992–2022 рр.) за відсутності радіації в евакуйованих виявлено високі абсолютні ризики розвитку деяких непухлинних хвороб системи кровообігу. Ці дані дали змогу дотримуватися гіпотези детермінантного розвитку кардіологічної патології від дії радіації в малих дозах, що можуть свідчити про причинно-наслідкові зв'язки «фактор-ризик», «доза-ефект». За прямої дії радіації на клітину організму утворюються високоактивні токсичні радіоактивні речовини в малих концентраціях — радіотоксини (РТ). Вплив РТ характеризується посиленням дії прямої радіації в кілька разів у малих концентраціях, ідентичністю прямої дії радіації на організм, посиленням у кілька разів радіобіологічного ефекту. Ці особливості РТ можуть зумовлювати основний розвиток РТ у післярадіаційний період без дії радіації з подальшим їхнім зростанням в опроміненому організмі. Предметом цієї статті є епідеміологічний аналіз і оцінювання ризиків розвитку хвороб системи кровообігу в дорослих віком 18–60 років, евакуйованих із 30-кілометрової зони Чорнобильської АЕС, у післяаварійний період за відсутності радіації для виявлення причинно-наслідкового зв'язку «фактор-ризик», оцінювання ефекту дозових діапазонів «доза-ефект».

Мета дослідження — епідеміологічне оцінювання захворюваності на непухлинні хвороби системи кровообігу в осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони ЧАЕС, за 1992–2022 роки після аварії з погляду на додозалежний медичний ефект від дії малих доз іонізуючого випромінювання.

Матеріали та методи дослідження. На даному етапі проведено аналітичний аналіз додозалежного розвитку захворюваності на непухлинні хвороби системи кровообігу під дією малих доз радіації в післяаварійний період. Кардіологічне обстеження пройшли 3757 осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони ЧАЕС, віком 18–60 років з наявністю індивідуальних сумарних ефективних доз іонізуючого випромінювання від 0,001 Зв до 0,38 Зв. Для встановлення додозалежного розвитку захворюваності на непухлинні хвороби системи кровообігу як віддаленого ефекту впливу малих доз радіації в післяаварійний період когорту досліджуваних евакуйованих стратифіковано за двома інтервалами доз: перша експонована група (ЕГ) — 1934 особи із середньою дозою ($0,070 \pm 0,003$) у діапазоні від 0,051 Зв до 0,38 Зв; друга контрольна група (КГ) — 1822 особи із середньою дозою ($0,040 \pm 0,002$) в діапазоні від 0,001 Зв до 0,05 Зв. Для встановлення причинно-наслідкового зв'язку «фактор-ризик» застосовувалися: абсолютний ризик з 95 % довірчим інтервалом AR (95 % CI); атрибутивний ризик (ATR); відносний ризик з 95 % довірчим інтервалом RR (95 % CI). Для оцінювання ефектів визначених діапазонів доз («доза-ефект») використовувалися експеси абсолютного EAR (95 % CI) та відносного ризиків ERR (95 % CI) з 95 % довірчими інтервалами.

Результати. За результатами епідспостереження тридцятирічного післяаварійного періоду (1992–2022 рр.) за відсутності радіаційного впливу в осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони ЧАЕС, встановлена достовірна залежність розвитку кардіологічної патології від отриманих під час евакуації доз радіації від 0,051 Зв до 0,38 Зв, що можливо розглядати як «фактор-ризик». Свідченням тому є виявлені за класом «Хвороби системи кровообігу» значення ATR — 34,07 з достовірним підтвердженням RR зі значенням нижньої межі варіаційного ряду вище одиниці — 1,08 (1,05–1,10). За окремими досліджуваними непухлинними хворобами значення ATR становить від 0,39 до 14,21 з RR — 1,79 (1,75–1,81), 1,12 (1,09–1,15). Розраховані EAR (95 % CI) та ERR (95 % CI) дали змогу провести абсолютне та відносне оцінювання радіогенного ризику розвитку непухлинної кардіологічної патології як

ефект від доз у межах від 0,051 Зв до 0,38 Зв порівняно з дозами в межах від 0,001 Зв до 0,05 Зв. За класом «Хвороби системи кровообігу (I00–I99)» з екстраполяцією на одиницю дози («доза-ефект») у осіб ЕГ значиться перевищення EAR (95 % CI) на 486,71 (474,92–498,84) проти значень у осіб КГ з достовірним підтвердженням ERR (95 % CI) 1,11 (1,08–1,14). За окремими захворюваннями показники варіювали від 203,03 (198,11–209,09) до 5,63 (5,50–5,77) EAR (95 % CI) проти значень у осіб КГ з достовірним підтвердженням ERR (95 % CI) від 1,68 (1,64–1,73) до 11,33 (11,06–11,62).

Висновки. 1. Встановлено дозозалежний розвиток непухлинних хвороб системи кровообігу у післяаварійний період в осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони ЧАЕС, експонованими в діапазоні малих доз радіації від 0,051 Зв до 0,38 Зв. Цей діапазон доз радіації належить до «фактора-ризик», що підтверджується значеннями ATR та достовірними значеннями RR. 2. Отримані EAR та ERR, які перевищують значення показників з екстраполяцією на одиницю дози опромінення («доза-ефект»), дали змогу оцінювати дози радіації від 0,051 Зв до 0,38 Зв як радіогенний ризик розвитку кардіологічної патології в осіб ЕГ. 3. Епідеміологічне оцінювання радіаційного впливу малими дозами за дескриптивними та кількісними показниками мотивує подальші дослідження з виявлення радіогенних ризиків розвитку кардіологічної патології в осіб залежно від віку та статі.

Ключові слова: евакуйовані особи, хвороби системи кровообігу, ризики розвитку, радіотоксини

Вступ

Попередній епідеміологічний аналіз розвитку кардіологічної патології в осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС), віком 18–60 років за 30-річний післяаварійний період (1992–2022 рр.) за відсутності радіації показує високі абсолютні ризики (AR) розвитку деяких непухлинних хвороб системи кровообігу [1]. Евакуйовані за відносно короткий час (декілька днів – тижнів) отримали дози гамма-випромінювання в діапазоні від 0,001 Зв до 0,38 Зв. Загалом цей контингент радіаційного ризику отримав у середньому 15,9 мЗв [2]. Вітчизняні автори щодо людини вважають значення малих доз у діапазоні від 0,01 мЗв до 1,0–1,22 Зв, а іноземні – від 1,5 мЗв до 2,0 Зв [3–6]. Попередньо отримані нами дані дали змогу дотримуватися гіпотези детермінантного розвитку кардіологічної патології від дії радіації в малих дозах, що можуть свідчити про причинно-наслідкові зв'язки «фактор-ризик», «доза-ефект».

За структурно-метаболічною концепцією в радіобіології дія іонізуючого випромінювання у великих і малих дозах за основними молекулярними механізмами ідентична у формуванні радіобіологічного ефекту (пригнічення синтезу ДНК, зниження клітинного поділу та зростання тканин, зниження обміну речовин, загибель організму) [7]. У перші години прямої дії радіації на клітину організму утворюються високоактивні токсичні радіоактивні речовини в малих концентраціях – радіотоксини (РТ). У разі одночасної дії прямої радіації та РТ внесок останніх становить близько 50 % радіобіологічного ефекту. Перебуваючи в опроміненому організмі РТ є стійкими за хімічною структурою й у

малих концентраціях можуть уражати геном довгоживучими радіоізотопами ^{134}Cs , ^{137}Cs [8–10]. Вплив РТ характеризується не тільки посередньою, а й безпосередньою дією в опроміненому організмі. Це зумовлено наступними особливостями РТ: посиленням дії прямої радіації в кілька разів у малих концентраціях; ідентичністю прямої дії радіації на організм; макродистанційним ефектом поміж клітинами; прискоренням процесів пригнічення клітин, тканин, організму; посиленням у кілька разів радіобіологічного ефекту. Ці особливості РТ можуть обумовлювати основний розвиток РТ у післярадіаційний період без дії радіації з подальшим їхнім зростанням в опроміненому організмі.

Предметом цієї статті є епідеміологічний аналіз і оцінювання ризиків розвитку хвороб системи кровообігу в дорослих віком 18–60 років, евакуйованих із 30-кілометрової зони ЧАЕС, у післяаварійний період за відсутності радіації для виявлення причинно-наслідкового зв'язку «фактор-ризик», оцінювання ефекту дозових діапазонів «доза-ефект».

Мета дослідження – епідеміологічне оцінювання захворюваності на непухлинні хвороби системи кровообігу в осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони ЧАЕС, за 1992–2022 роки після аварії з погляду на дозозалежний медичний ефект від дії малих доз радіації.

Матеріали та методи дослідження

Когорта осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони ЧАЕС у віці від 18 до 60 років на дату аварії на ЧАЕС (середній вік від (23 ± 5) років до $(53 \pm 7,34)$ років) налічувала 3757 осіб з наявністю доз зовніш-

нього опромінення від 0,001 Зв до 0,38 Зв. У 1992–2022 роках досліджувані проходили кардіологічне обстеження один раз на два роки в поліклініці радіаційного реєстру (ПРР) ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України». Результати моніторингу стану кардіологічного здоров'я постраждалих реєструвалися за міжнародною класифікацією хвороб десятого перегляду (МКХ–10). Дані результатів медичного обстеження та індивідуальні ефективні дози іонізуючого випромінювання досліджуваних реєструвалися в науково-інформаційній базі «Автоматизована система клініко-епідеміологічного реєстру» ПРР.

Для оцінювання причинно-наслідкових зв'язків «фактор-ризик» і медичних ефектів при визначених дозах опромінення «доза-ефект» у післяаварійний період проведено епідеміологічний аналіз розвитку захворюваності на непухлинні хвороби системи кровообігу від дії радіації в малих дозах під час евакуації. Когорту досліджуваних стратифіковано за двома діапазонами доз: перша експонована група (ЕГ) – 1934 особи із середньою дозою (De) $(0,070 \pm 0,003)$ Зв у діапазоні $(> 0,05–0,38)$ Зв; друга контрольна група (КГ) – 1822 особи із середньою дозою (Dk) $(0,040 \pm 0,002)$ Зв у діапазоні від 0,001 Зв до 0,05 Зв.

Для встановлення причинно-наслідкового зв'язку «фактор-ризик» застосовувалися наступні коефіцієнти ризиків: атрибутивний – (АТР); абсолютний (AR 95 % CI) і відносний (RR 95 % CI) з 95 % довірчими інтервалами варіацій при рівні значимості $p < 0,05$. Значення АТР понад 0,0 (перевищення AR в осіб ЕГ порівняно з КГ) є підтвердженням впливу «фактора-ризiku» на розвиток захворюваності. Крім того, це показує, наскільки можливо знизити AR, щоб оптимізувати «фактор-ризик» (знизити захворюваність). RR (співвідношення AR КГ до AR ЕГ (AR_E/AR_K), значення якого більше ніж 1,0, є достовірним підтвердженням причинно-наслідкового зв'язку «фактор-ризик».

Для оцінювання медичних ефектів при зазначених варіантах діапазонів доз 0,001–0,05 Зв КГ та від 0,051 Зв до 0,38 Зв ЕГ досліджуваних проводилося абсолютне та відносне оцінювання радіогенного ризику на одиницю значення фактору за припущенням лінійної залежності «доза-ефект». Розраховувалися ексцеси AR (EAR) та RR (ERR) з 95 % довірчими інтервалами (95 % CI) варіацій при рівні значимості $p < 0,05$ за формулами:

$$EAR = (AR_E - AR_K)/De;$$

$$ERR = (RR_E - RR_K)/De,$$

де De – середня доза ЕГ з екстраполяцією на 1 Зв.

Коефіцієнти ризиків розраховані за кількістю людино-років перебування під ризиком за певний проміжок часу (на 1000 люд.-років) [11, 12].

Статистичний аналіз даних виконано за програмними пакетами «Microsoft Office Excel–1997–2017».

Результати дослідження та їх обговорення

У 3757 осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони ЧАЕС, за 30-річний післяаварійний період епідспостереження (1992–2022 рр.) зареєстровано 10 868 непухлинних хвороб за класом «Хвороби системи кровообігу (I00–I99)». У досліджуваних за післяаварійний період, уже без впливу радіації, виявлено високий AR розвитку цієї патології – 425,59 (425,34–425,85) на 10³ люд.-років спостереження під ризиком. Серед серцево-судинних хвороб зазначено найвищий AR за групою «Інші хвороби серця (I30–I52)», що сформована загалом кардіоміопатією, ендокардитом, неревматичними ураженнями клапанів серця, порушеннями провідності, зупинкою серця. Високий AR встановлено за групою «Хвороби, що характеризуються підвищеним кров'яним тиском (I10–I15)», яка представлена в основному есенціальною гіпертензією, гіпертензивною хворобою з переважним ураженням серця та нирок. Ці групи непухлинних хвороб разом становлять 349,42 (349,19–349,73) AR розвитку кардіологічної патології (табл. 1).

Значні показники AR спостерігаються за групами: «Хвороби артерій, артеріол та капілярів», «Ішемічна хвороба серця», «Хронічні ревматичні хвороби серця», які загалом сформовані атеросклерозом, перенесеними в минулому інфарктами міокарда, хронічною ішемічною хворобою серця, стенокардією, ревматичними хворобами аортального, мітрального й тристулкового клапанів й іншими ревматичними хворобами серця.

Значні показники AR спостерігаються за групами: «Хвороби артерій, артеріол та капілярів», «Ішемічна хвороба серця», «Хронічні ревматичні хвороби серця», які загалом сформовані атеросклерозом, перенесеними в минулому інфарктами міокарда, хронічною ішемічною хворобою серця, стенокардією, ревматичними хворобами аортального, мітрального й тристулкового клапанів та іншими ревматичними хворобами серця.

Таблиця 1

Абсолютний ризик з 95 % довірчим інтервалом розвитку непухлинних хвороб системи кровообігу (I00–I99) в осіб 18–60 років на дату аварії на ЧАЕС, евакуйованих із 30-кілометрової Чорнобильської зони відчуження (1992–2022 рр. епідспостереження)

Міжнародна класифікація хвороб системи кровообігу (шифр МКХ–10 (I00–I99))	Абсолютне число	Абсолютний ризик (95 % CI)
Хвороби системи кровообігу	10 868	425,59 (425,34–425,85)
Гостра ревматична гарячка (I00–I02)	15	0,59 (0,58–0,60)
Хронічні ревматичні хвороби серця (I05–I09)	418	16,37 (16,32–16,42)
Хвороби, що характеризуються підвищеним кров'яним тиском (I10–I15)	3026	118,49 (118,37–118,63)
Ішемічна хвороба серця (I20–I25)	722	28,27 (28,21–28,34)
Легеневе серце і порушення легеневого кровообігу (I26–I28)	10	0,39 (0,38–0,40)
Інші хвороби серця (I30–I52)	5897	230,93 (230,74–231,12)
Цереброваскулярні хвороби (I60–I69)	1	0,04 (0,39–0,04)
Хвороби артерій, артеріол і капілярів (I70–I79)	774	30,31 (30,24–30,38)
Хвороби вен, лімфатичних судин і лімфатичних вузлів, не класифіковані в інших рубриках (I80–I89)	5	0,20 (0,19–0,21)

За результатами оцінювання впливу радіації «фактор-ризик» у діапазоні доз від 0,051 Зв до 0,38 Зв на розвиток непухлинних захворювань за класом «Хвороби системи кровообігу» встановлено перевищення AR у осіб ЕГ (472,07 (471,71–472,44) порівняно з особами КГ (438,00 (437,6,3–438,38) за ATR на 34,07 з достовірним підтвердженням RR зі значенням нижньої межі варіаційного ряду – вище одиниці 1,08 (1,05–1,10).

У таблиці 2 надані коефіцієнти AR у досліджуваних ЕГ з дозами від 0,051 Зв до 0,38 Зв та осіб КГ з дозами від 0,001 Зв до 0,05 Зв з розрахованими ATR та RR з 95 % довірчими інтервалами варіацій розвитку непухлинних хвороб системи кровообігу за 1992–2022 роки епідспостереження.

Така особливість зумовлена вищими коефіцієнтами ризиків за окремими групами захворювань: «Хвороби, що характеризуються підвищеним кров'яним тиском (I10–I15)», «Ішемічна хвороба серця (I20–I25)», «Гостра ревматична гарячка (I00–I02)», «Хронічні ревматичні хвороби серця (I05–I09)», «Хвороби артерій, артеріол та капілярів (I70–I79)», що підтверджено достовірними значеннями RR.

За групою «Інші хвороби серця (I30–I52)» спостерігається тенденція до зростання AR у осіб ЕГ, де

значення нижньої межі довірчого інтервалу RR наближається до одиниці. Це може свідчити про набуття залежності розвитку захворювань цієї групи від «фактору-ризiku» – радіації. За хворобами «Легеневе серце і порушення легеневого кровообігу (I26–I28)», «Цереброваскулярні хвороби (I60–I69)», «Хвороби вен, лімфатичних судин та лімфатичних вузлів (I80–I89)» ризики та значення їхніх довірчих інтервалів менше за одиницю. Це вказує на відсутність причинно-наслідкового зв'язку цих захворювань з впливом досліджуваних доз радіації.

Для оцінювання ефектів впливу доз від 0,051 Зв до 0,38 Зв порівняно з дозами від 0,001 Зв до 0,05 Зв на розвиток непухлинних хвороб системи кровообігу визначали EAR та ERR [частки перевищення встановлених AR та RR на одиницю значення фактору – 1 Зв («доза-ефект»)]. За класом «Хвороби системи кровообігу (I00–I99)» EAR (95 % CI) становить 486,71 (474,92–498,84), з достовірним підтвердженням ERR (95 % CI) 1,11 (1,08–1,14). Отже, встановлено перевищення AR на одиницю дози у ЕГ (дози від 0,051 Зв до 0,38 Зв) порівняно з КГ (дози від 0,001 Зв до 0,05 Зв).

У таблиці 3 надані EAR та ERR розвитку окремих непухлинних захворювань системи кровообігу.

Таблиця 2

Коефіцієнти атрибутивного, абсолютного та відносного ризиків з 95 % довірчими інтервалами варіацій розвитку непухлинних хвороб системи кровообігу (I00–I99) в осіб 18–60 років на дату аварії на ЧАЕС, евакуйованих із 30-кілометрової Чорнобильської зони відчуження (1992–2022 рр. епідспостереження)

Групи непухлинних захворювань за класом «Хвороби системи кровообігу (I00–I99)» (шифр МКХ–10)	Абсолютний ризик (95 % CI) експонованої групи	Абсолютний ризик (95 % CI) контрольної групи	Атрибутивний ризик	Відносний ризик (95 % CI)
Гостра ревматична гарячка (I00–I02)	0,89 (0,87–0,91)	0,49 (0,48–0,51)	0,39	1,79 (1,75–1,84)
Хронічні ревматичні хвороби серця (I05–I09)	17,38 (17,31–17,45)	16,81 (16,74–16,89)	0,57	1,03 (1,01–1,06)
Хвороби, що характеризуються підвищеним кров'яним тиском (I10–I15)	134,71 (134,53–134,92)	120,52 (120,32–120,71)	14,21	1,12 (1,09–1,15)
Ішемічна хвороба серця (I20–I25)	35,21 (35,11–35,31)	25,42 (25,33–25,52)	9,77	1,38 (1,35–1,42)
Легеневе серце і порушення легеневого кровообігу (I26–I28)	0,37 (0,36–0,38)	0,49 (0,48–0,51)	–	0,75 (0,73–0,77)
Інші хвороби серця (I30–I52)	247,40 (247,13–247,67)	246,08 (245,81–246,37)	1,31	1,01 (0,98–1,03)
Цереброваскулярні хвороби (I60–I69)	–	0,082 (0,077–0,087)	–	–
Хвороби артерій, артеріол та капілярів (I70–I79)	35,95 (35,84–36,05)	27,83 (27,74–27,92)	8,12	1,29 (1,26–1,32)
Хвороби вен, лімфатичних судин та лімфатичних вузлів, не класифіковані в інших рубриках (I80–I89)	0,15 (0,14–0,16)	0,24 (0,23–0,26)	–	0,60 (0,58–0,61)

У осіб, евакуйованих із зони відчуження ЧАЕС, оцінювання ефектів впливу зазначених доз на розвиток захворюваності на непухлинні хвороби системи кровообігу дало змогу виявити дозозалежний ефект («доза-ефект») розвитку за такими групами хвороб: «Хвороби, що характеризуються підвищеним кров'яним тиском (I10–I15)», «Ішемічна хвороба серця (I20–I25)», «Гостра ревматична гарячка (I00–I02)», «Хронічні ревматичні хвороби серця (I05–I09)», «Інші хвороби серця (I30–I52)», «Хвороби артерій, артеріол та капілярів (I70–I79)». За рештою хвороб з груп «Легеневе серце і порушення легеневого кровообігу (I26–I28)», «Цереброваскулярні хвороби (I60–I69)», «Хвороби вен, лімфатичних судин та лімфатичних вузлів (I80–I89)» дозозалежного ефекту розвитку не встановлено.

Таким чином, за результатами оцінювання в осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони відчуження

ЧАЕС, віком 18–60 років на дату аварії на ЧАЕС, виявлено високий AR (425,59 (425,34–425,85) на 1000 люд.-років) розвитку непухлинних хвороб системи кровообігу (10 868 випадків).

Розвиток кардіологічної патології відбувався в основному за рахунок хвороб серця (AR, 230,93 (230,74–231,12) і хвороб, які пов'язані з підвищенням кров'яного тиску (AR, 118,49 (118,37–18,63), разом – AR, 349,42 (349,19–349,73). Решта діагностованих непухлинних хвороб в основному представлена атеросклерозом, перенесеними в минулому інфарктами міокарда, хронічною ішемічною хворобою серця, стенокардіями, ревматичними хворобами клапанів та серця.

За 30-річне післяаварійне епідспостереження за відсутності радіаційного впливу встановлено достовірну залежність розвитку кардіологічної патології від отриманих під час евакуації доз від 0,051 Зв до 0,38 Зв. Цей дозовий інтервал можна констатувати

Таблиця 3

Ексцеси абсолютного (95 % CI) та відносного ризиків (95 % CI) розвитку непухлинних хвороб системи кровообігу в осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони ЧАЕС, виявлені в післяаварійному періоді (1992–2022 рр. епідспостереження)

Непухлинні захворювання за групами класу «Хвороби системи кровообігу» (шифр МКХ–10)	Ексцеси абсолютного ризиків (95 % CI)	Ексцеси відносного ризиків (95 % CI)
Гостра ревматична гарячка (I00–I02)	5,63 (5,50–5,77)	11,33 (11,06–11,62)
Хронічні ревматичні хвороби серця (I05–I09)	8,07 (7,88–8,28)	0,48 (0,47–0,49)
Хвороби, що характеризуються підвищеним кров'яним тиском (I10–I15)	203,03 (198,11–208,09)	1,68 (1,64–1,73)
Ішемічна хвороба серця (I20–I25)	139,66 (136,27–143,14)	5,49 (5,36–5,63)
Легеневе серце і порушення легеневого кровообігу (I26–I28)	–	–
Інші хвороби серця (I30–I52)	18,77 (18,32–19,24)	0,07 (0,06–0,08)
Цереброваскулярні хвороби (I60–I69)	–	–
Хвороби артерій, артеріол та капілярів (I70–I79)	115,95 (113,14–118,84)	4,16 (4,07–4,27)
Хвороби вен, лімфатичних судин та лімфатичних вузлів, не класифіковані в інших рубриках (I80–I89)	–	–

як фактор ризику розвитку непухлинних хвороб системи кровообігу. Свідченням цьому є перевищення ATR за класом «Хвороби системи кровообігу» на 34,07 та за групами нозологічних форм – від 0,39 до 14,21 у осіб ЕГ проти значень ATR у осіб КГ. Підтвердженням цієї версії є достовірні значення RR (95 %, CI) розвитку непухлинних хвороб за класом 1,08 (1,05–1,10) та за вищевказаними захворюваннями від 1,03 (1,01–1,06) до 1,79 (1,75–1,84). Отримані значення ATR допомогли визначитися у спроможності нівелювання в кількісному значенні «фактору-ризиків» у групі експонованих до величин показника КГ (зниження захворюваності).

Оцінювання медичних ефектів показало залежність розвитку непухлинних хвороб за класом «Хвороби системи кровообігу» в осіб ЕГ з дозами радіаційного опромінення від 0,051 Зв до 0,38 Зв. Свідченням дозозалежного ефекту («доза–ефект») є отримані EAR (95 % CI) на 486,71 (474,92–498,84) за класом «Хвороби системи кровообігу (I00–I99)» та за окремими вищезазначеними захворюваннями – від 203,03 (198,11–209,09) до 5,63 (5,50–5,77) в осіб ЕГ проти значень у осіб КГ з дозами від 0,001 Зв до 0,05 Зв. Підтвердженням цьому є достовірні значення ERR (95 % CI) за класом хвороб – 1,11 (1,08–1,14) та за окремими хворобами – від 1,68 (1,64–1,73) до 11,33 (11,06–11,62).

Висновки

- Епідеміологічний аналіз кардіологічної патології в 3757 осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони відчуження ЧАЕС, віком на дату аварії 18–60 років дав змогу виявити особливості розвитку непухлинних хвороб системи кровообігу за 30-річний післяаварійний період (1992–2022 рр.) без дії радіації на організм. Зареєстровано 10 868 непухлинних хвороб, що становить у AR 425,59 (425,34–425,85) на 1000 люд.-років перебування під ризиком. Найбільшого розвитку набули «Хвороби, що характеризуються підвищеним кров'яним тиском (I10–I15)» та «Хвороби серця (I30–I52)»; разом вони становлять за AR 349,42 (349,19–349,73). Решта в основному представлена хворобами артерій, артеріол та капілярів (I70–I79), ішемічною хворобою серця (I20–I25), гострими ревматичними гарячками (I00–I02), хронічними ревматичними хворобами серця (I05–I09), хворобами вен, лімфатичних судин та лімфатичних вузлів (I80–I89).
- Встановлено дозозалежний розвиток непухлинних хвороб системи кровообігу в післяаварійний період в осіб, евакуйованих із 30-кілометрової зони ЧАЕС, під впливом малих доз радіації від 0,051 Зв до 0,38 Зв. Цей діапазон доз радіації належить до «фактору-ризиків», що

засвідчено значеннями ATR та достовірними значеннями RR.

3. Отримані EAR та ERR, які перевищують значення показників на одиницю дози опромінення «доза-ефект», дозволили оцінити дози радіації від 0,051 Зв до 0,38 Зв як радіогенний ризик розвитку кардіологічної патології в осіб, евакуйованих

із 30-кілометрової зони ЧАЕС, у післяаварійний період епідспостереження.

4. Епідеміологічне оцінювання радіаційного впливу малими дозами за дескриптивними і кількісними показниками мотивує подальші дослідження з виявлення радіогенних ризиків розвитку кардіологічної патології в осіб залежно від віку та статі.

Література

1. Епідеміологічний аналіз розвитку хвороб системи кровообігу в осіб, евакуйованих із 30-кілометрової Чорнобильської зони відчуження (1992–2022 роки спостереження). О. А. Капустинська, К. Є. Прикащикова, Ж. С. Ярошенко, Г. В. Костюк, В. І. Шевельова, В. І. Сировенко, О. В. Олєпір, В. О. Лук'янюк, В. М. Полянська та ін. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2023. Т. 19, № 3 (76). С. 189–196. <https://doi.org/10.33573/ujoh2023.03.189>.

2. Чумак В. В. Дози опромінення населення України внаслідок Чорнобильської аварії. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України. Київ : Атіка, 2006. С. 3–13.

3. Изменение чувствительности к облучению после пребывания в зоне контроля аварии на ЧАЭС. Радиобиологический съезд: тез. докл. Киев, 1993. Т. 1. С. 72–73.

4. Ярмоненко С. П. Малые дозы – «большая беда». *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 1996. Т. 41, № 2. С. 32–39.

5. Shadley J. D. Adaptive responses in human cells. *Proc. 10th int Congr. Radiat. Res. Wurzburg*. 1995. V. 1. P. 96.

6. Sagan L. A. What is hormesis and why haven't we heard about it before. *Health Phys.* 1987. Vol. 52, No. 5. P. 521–525.

7. Кузин А. М. Основные принципы структурно-метаболической теории в радиобиологии. *Радиобиология*. 1976. Т. 16, Вып. 2. С. 163–170.

8. К выяснению роли радиотоксинов в радиационном мутагенезе. А. М. Кузин, А. М. Векслер, С. С. Юров, В. А. Копылов. *Радиобиология*. 1973. Т. 2, Вып. 5. С. 681–684.

9. Орел В. Э., Дзятковская Н. Н., Терещенко В. М. Ретроспектива последствий аварии Чернобыльской атомной электростанции по показателям физической дозиметрии и биологической индикации канцерогенного риска. 10 лет после аварии на ЧАЭС: Научн. труды УкрНИИ онкологии и радиологии. Киев, 1997. С. 12–15.

10. Барабой В. А. Медикаментозна профілактика радіаційних ушкоджень, викликаних опроміненням низької інтенсивності. 10 років після аварії на ЧАЭС: Наук. праці УкрНІІ онкології та радіології. Київ, 1997. С. 19–23.

11. Показники та методи їх розрахунку в епідеміології неінфекційних захворювань: навч.-метод. посіб. В. О. Бузунов та ін. Київ : ВД «Авіцена», 2013. 120 с.

12. Альбом А., Норелл С. Введение в современную эпидемиологию. Таллинн, 1996. 122 с.

Prykashchykova K. Ye., Kapustynska O. A., Yaroshenko Zh. S., Kostyuk G. V., Polianska V. M., Shevelova V. I., Sirovenko O. I., Olepir O. V.

INCIDENCE OF NON-CANCEROUS DISEASES OF THE CIRCULATORY SYSTEM IN PEOPLE EVACUATED FROM THE 30-KILOMETER CHORNOBYL EXCLUSION ZONE, IN THE POST-ACCIDENT PERIOD: EFFECT OF LOW DOSES OF RADIATION

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

Introduction. A preliminary epidemiological analysis of the development of cardiac pathology in individuals evacuated from the 30-kilometer zone of the Chornobyl NPP, aged 18–60 years, over a 30-year post-accident period (1992–2022), revealed high absolute risks of developing non-cancerous diseases of the circulatory system despite the absence of subsequent radiation exposure. The subjects received gamma radiation doses ranging from 0.001 Sv to 0.38 Sv. These findings support the hypothesis of deterministic development of cardiac pathology due to low doses of radiation, indicating a cause-and-effect relationship between radiation exposure and the development of such diseases. Radiation exposure generates highly active toxic substances in low concentrations, known as radiotoxins (RTs), which can significantly enhance the direct effects of radiation and contribute to the development of pathology in the absence of ongoing radiation exposure. This article focuses on an epidemiological analysis and risk assessment of circulatory system diseases in adults aged 18–60 years who were evacuated from

the 30-km zone of the Chornobyl nuclear power plant post-accident, to establish the causal relationship between radiation exposure and disease risk, and to assess the effects of different radiation dose ranges.

The aim of the research – is to epidemiologically assess the incidence of non-cancerous diseases of the circulatory system in individuals evacuated from the 30-kilometer zone of the Chornobyl nuclear power plant during the period 1992–2022, and to evaluate the dose-dependent medical effects of low doses of ionizing radiation.

Materials and methods of the research. An analytical analysis was conducted on the dose-dependent development of non-cancerous circulatory system diseases due to low doses of radiation exposure in the post-accident period. Cardiological examinations were performed on 3,757 evacuees from the 30-kilometer zone of the Chornobyl NPP, aged 18–60 years, with individual total effective doses of ionizing radiation ranging from 0.001 Sv to 0.38 Sv. To establish the dose-dependent development of these diseases as a long-term effect of low-dose radiation, the cohort was divided into two groups: the first exposed group (EG) consisting of 1,934 individuals with an average dose of (0.070 ± 0.003) Sv (ranging from 0.051 Sv to 0.38 Sv), and the second control group (CG) comprising 1,822 individuals with an average dose of (0.040 ± 0.002) Sv (ranging from 0.001 Sv to 0.05 Sv). To determine the “factor-risk” relationship, we used absolute risk (AR) with 95% confidence intervals (95% CI), attributable risk (ATR), and relative risk (RR) with 95% confidence intervals (95% CI). For dose range effects (“dose-effect”), we assessed the excesses of absolute (EAR) and relative risk (ERR) with 95% confidence intervals.

Results. Surveillance over the 30-year post-accident period (1992–2022) indicated a reliable dependence of cardiac pathology development on the radiation doses received during evacuation, specifically from 0.051 Sv to 0.38 Sv, which can be considered a significant risk factor. The ATR for circulatory system diseases was 34.07, with the RR significantly above 1.08 (1.05–1.10). For specific non-cancerous diseases, ATR ranged from 0.39 to 14.21 with relative risks of 1.79 (1.75–1.81) and 1.12 (1.09–1.15). The EAR and ERR calculations confirmed the radiogenic risk of non-tumor cardiac pathology from doses ranging from 0.051 Sv to 0.38 Sv compared to lower doses (0.001 Sv to 0.05 Sv). In the category “Diseases of the circulatory system (I00–I99)”, the ERR for EG subjects was 486.71 (474.92–498.84) with a significant ERR (95% CI) of 1.11 (1.08–1.14). For individual diseases, ERR ranged from 203.03 (198.11–209.09) to 5.63 (5.50–5.77), with reliable confirmation of ERR from 1.68 (1.64–1.73) to 11.33 (11.06–11.62).

Conclusions. 1. The dose-dependent development of non-cancerous diseases of the circulatory system was established in individuals evacuated from the 30-km zone of the Chornobyl NPP exposed to low radiation doses ranging from 0.051 Sv to 0.38 Sv, confirming these doses as significant risk factors. 2. The excess absolute and relative risks observed for radiation doses from 0.051 Sv to 0.38 Sv, compared to lower doses, demonstrate a radiogenic risk of developing cardiac pathology in the exposed group. 3. The epidemiological assessment of low-dose radiation exposure, using both descriptive and quantitative indicators, underscores the need for further studies to identify radiogenic risks of cardiac pathology, considering variables such as age and gender.

Key words: evacuees, diseases of the circulatory system, developmental risks, radiotoxins

References

1. Kapustynska OA, Prykashchykova KE, Yaroshenko JS, Kostiuk GV, Sheveleva VI, Syrovenko VI, Olepir OV, Lukianiuik VO, Polianska VM, et al. Epidemiological analysis of circulatory system diseases in persons evacuated from the Chornobyl exclusion zone (1992–2022 observations). *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2023;19(3):189–96. DOI: <https://doi.org/10.33573/ujoh2023.03.189>.
2. Chumak VV. [Radiation doses to the population of Ukraine as a result of the Chornobyl accident]. In: [20 Years of the Chornobyl Disaster. A look into the future: National report]. Kyiv: Atika; 2006. P. 3–13. Ukrainian.
3. [Changes in sensitivity to radiation after staying in the control zone of the Chornobyl accident]. Radiobiological Congress. Kyiv; 1993. Vol. 1. P. 72–3. Russian.
4. Yarmonenko SP. [Small doses are a “big problem”]. Medical radiology and radiation safety. 1996;41(2):32–9. Russian.
5. Shadley JD. Adaptive responses in human cells. In: Proc. 10th int Congr. Radiat. Res. Wurzburg; 1995. V. 1. P. 96.
6. Sagan LA. What is hormesis and why haven't we heard about it before *Health Phys.* 1987;52(5):521–5.
7. Kuzin AM. [Basic principles of structural and metabolic theory in radio biology]. *Radiobiologiya*. 1976;16(2):163–70. Russian.
8. Kuzin AM, Veksler A., Yurov SS, Kopylov VA. [To clarify the role of radiotoxins in radiation mutagenesis]. *Radiobiology*. 1973;2(5):681–4. Russian.
9. Orel VE, Dzyatkovska NN, Tereshchenko VM. [Retrospective of the consequences of the Chornobyl nuclear power plant accident in terms of physical dosimetry and biological indication of carcinogenic risk]. In: [10 years after the Chornobyl accident. Scientific works of UkrNII]. Kyiv; 1997. P. 12–5. Russian.
10. Baraboy VA. [Medical prophylaxis of radiation damage caused by low-intensity radiation]. In: [10 years after the Chornobyl accident. Scientific works of UkrNII]. Kyiv; 1997. P. 19–23. Russian.
11. Buzunov VO et al. [Indicators and methods of their calculation in the epidemiology of non-communicable diseases: a study guide]. Kyiv: Avicena; 2013. 120 p.
12. Albom A, Norell S. Introduction to modern epidemiology. Tallinn; 1996. 122 p.

ORCID ID співавторів та їхній внесок у підготовку та написання статті:

Прикащикова К. Є. (ORCID ID) – огляд літератури, аналіз отриманих даних;

Капустинська О. А. (ORCID ID) – огляд літератури, аналіз отриманих даних;

Ярошенко Ж. С. (ORCID ID) – первинна статистична обробка отриманих даних;

Костюк Г. В. (ORCID ID) – розрахунки показників отриманих даних;

Полянська В. М. (ORCID ID) – розрахунки показників отриманих даних;

Шевельова В. І. (ORCID ID) – оформлення таблиць;

Сировенко В. І. (ORCID ID) – збір даних в науково-інформаційній базі «Автоматизована система клініко-епідеміологічного реєстру» ПРР;

Оленір О. В. (ORCID ID) – збір даних в науково-інформаційній базі «Автоматизована система клініко-епідеміологічного реєстру» ПРР.

Надійшла: 29 квітня 2024 р.

Прийнята до друку: 17 червня 2024 р.

Контактна особа: Капустинська Ольга Андріївна, науковий співробітник, лабораторія епідеміології непухлинних захворювань Інституту радіаційної гігієни і епідеміології, ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України, буд. 119–121, просп. Берестейський, м. Київ, 03115. Тел.: +38 0 44 450 81 92. Електронна адреса: dianatim@ukr.net