

УДК 616.831: 616-001.28

П. А. Федірко¹✉, Т. Ф. Бабенко¹, М. Пільмане², Н. В. Медведовська³, А. Юнга²,
Ж. С. Ярошенко¹, Р. Ю. Дорічевська¹, Н. А. Гарькава⁴

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

²Інститут анатомії та антропології Ризького університету Страдзінша, вул. Дзірчієма, 16, Рига, LV 1007, Латвія

³Національна академія медичних наук України, вул. Герцена, 12, м. Київ, 05050. Україна

⁴ТОВ «Дніпромедінвест», вул. Набережна Заводська, 123д, м. Дніпро, 49000, Україна

СУЧАСНІ ДОСЯГНЕННЯ І АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ РАДІАЦІЙНОЇ ОФТАЛЬМОЛОГІЇ: ПОСТЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ ДОСВІД

Чорнобильська катастрофа – масштабна ядерна аварія, що спричинила значний радіаційний вплив на великі популяції людей. Роботи офтальмологів, які вивчали її наслідки, кардинально змінили уявлення вчених про вплив іонізуючої радіації на орган зору. До аварії на ЧАЕС впродовж тривалого часу превалювала думка, що орган зору є відносно резистентним до впливу іонізуючого випромінювання. Вважалось, що після радіаційного опромінення найбільш очікуваним ефектом може бути радіаційна катаракта, яка розглядалась як детерміністичний ефект.

Метою роботи є аналіз отриманих після Чорнобильської катастрофи епідеміологічних, клінічних і експериментальних даних щодо радіаційних офтальмологічних ефектів.

Матеріали і методи. Критеріями включення до аналітичного огляду стали рецензовані публікації в наукометричних базах PubMed / MEDLINE, Scopus, Web of Science та роботи, відібрані вручну, що присвячені вивченню офтальмологічних наслідків Чорнобильської катастрофи, інших радіаційних інцидентів, наслідкам професійного радіаційного впливу, опубліковані в постчорнобильський період.

Результати. Дослідження, проведені після аварії на ЧАЕС, суттєво змінили уявлення про вплив іонізуючої радіації на орган зору. Було показано, що око надзвичайно чутливе до радіаційного впливу і є однією з найбільш вразливих структур організму. Аналізуючи результати тривалих постчорнобильських досліджень, ми можемо виділити чотири групи офтальмологічних захворювань, які виникають у постраждалих від Чорнобильської катастрофи осіб: перша група – специфічні променеві ураження ока, поява яких можлива тільки внаслідок дії іонізуючого випромінювання; друга група – захворювання, які в звичайних умовах виникають переважно у осіб похилого віку та розвиток яких прискорюється внаслідок радіаційного впливу; третя група – функціональні зміни, які були виявлені у радіаційно опромінених осіб; до четвертої групи належать ефекти, що виникли в осіб, опромінених внутрішньоутробно.

Ключові слова: аварія на Чорнобильській атомній електростанції; іонізуюче випромінювання; око; орган зору; катаракта; вікова макулярна дегенерація; морфологічні зміни; хвороба малих судин; функціональні зміни; пігментний епітелій; косоокість; акомодація.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2025. Вип. 30. С. 126–142. doi: 10.33145/2304-8336-2025-30-126-142

✉ Федірко Павло Андрійович, e-mail: eye-rad@ukr.net

P. A. Fedirko¹✉, T. F. Babenko¹, M. Pilmane², N. V. Medvedovska³, A. Junga², Zh. S. Yaroshenko¹, R. Yu. Dorichevska¹, N. A. Garkava⁴

¹State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yuriia Illienka St., Kyiv, 04050, Ukraine

²Institute of Anatomy and Anthropology, Riga Stradins University, 16 Dzircina St., Riga, LV 1007, Latvia

³National Academy of Medical Sciences of Ukraine, 12 Herzen St., Kyiv, 05050, Ukraine

⁴«Dniproinvest» LLC, 123d Naberezhna Zavodska St., Dnipro, 49000, Ukraine

CURRENT ACHIEVEMENTS AND TOPICAL ISSUES IN RADIATION OPHTHALMOLOGY: POST-CHORNOBYL EXPERIENCE

The Chernobyl disaster – a large-scale nuclear accident that caused significant radiation exposure to large populations of people. The work of ophthalmologists who studied its consequences radically changed scientists' understanding of the effects of ionizing radiation on the organ of vision. Before the Chernobyl accident, it was widely believed that the organ of vision was relatively resistant to the effects of ionizing radiation. It was thought that the most likely effect of radiation exposure was radiation cataracts, which were considered a deterministic effect.

The **objective** of this study is analyze epidemiological, clinical, and experimental data on the ophthalmological effects of radiation obtained after the Chernobyl disaster.

Materials and methods. The criteria for inclusion in the analytical review were peer-reviewed publications in the scientometric databases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and manually selected works devoted to the study of the ophthalmological consequences of the Chernobyl disaster, other radiation incidents, and the consequences of occupational radiation exposure, published in the period after the Chernobyl disaster.

Results. Studies conducted after the Chernobyl disaster have significantly changed the understanding of the effects of ionizing radiation on the vision organ. It has been shown that the eye is extremely sensitive to radiation exposure and is one of the most vulnerable structures of the body. Analyzing the results of long-term post-Chernobyl studies, we can distinguish four groups of ophthalmological diseases that occur in people affected by the Chernobyl disaster: the first group is specific radiation damage to the eye, the appearance of which is possible only as a result of ionizing radiation exposure; the second group is diseases that under normal conditions occur mainly in elderly people and the development of which is accelerated as a result of radiation exposure; the third group is functional changes that were detected in radiation-exposed people; and the fourth group includes effects that occurred in people irradiated *in utero*.

Key words: Chernobyl Nuclear Power Plant accident; ionizing radiation; eye; organ of vision; cataract; age-related macular degeneration; morphological changes; small vessel disease; functional changes; pigment epithelium; strabismus; accommodation.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2025;30:126-142. doi: 10.33145/2304-8336-2025-30-126-142

ВСТУП

Чорнобильська катастрофа — масштабна ядерна аварія, що спричинила значний радіаційний вплив на великі популяції людей [1, 2]. Роботи офтальмологів, які вивчали її наслідки, кардинально змінили уявлення вчених про вплив іонізуючої радіації (ІР) на орган зору.

До Чорнобильської катастрофи впродовж тривалого часу превалювала думка, що орган зору є відносно резистентним до впливу ІР органом. Радіочутливість тканин ока зменшується у такій послідовності: кришталік, кон'юнктива, рогівка,

INTRODUCTION

The Chernobyl disaster is a large-scale nuclear accident that caused significant radiation exposure to large populations of people [1, 2]. The work of ophthalmologists, who studied its consequences, has radically changed the understanding of scientists about the effects of ionizing radiation (IR) on the organ of vision.

Before the Chernobyl disaster, the prevailing opinion for a long time was that the organ of vision was relatively resistant to IR exposure. The radiosensitivity of eye tissues decreases in the following sequence: lens, con-

✉ Pavlo A. Fedirko, e-mail: eye-rad@ukr.net

судинна оболонка, сітчаста оболонка (сітківка), зоровий нерв. При цьому визнавали, що ембріональні тканини більш чутливі, ніж зрілі [3]. Вважалося, що після радіаційного опромінення найбільш очікуваним ефектом може бути радіаційна катаракта [4–6], яка розглядалась як детерміністичний ефект [5].

Дослідження, проведені після Чорнобильської катастрофи, суттєво змінили попередні уявлення, і цей факт в останні два десятиріччя врешті визнали всі авторитетні міжнародні організації [7]. Було показано, що око надзвичайно чутливе до радіаційного впливу і є однією з найбільш вразливих структур організму [8–10].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є аналіз отриманих після Чорнобильської катастрофи епідеміологічних, клінічних і експериментальних даних щодо радіаційних офтальмологічних ефектів.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Критеріями включення до аналітичного огляду стали рецензовані публікації у наукометричних базах PubMed / MEDLINE, Scopus, Web of Science, та роботи, відібрані вручну, що присвячені вивченню офтальмологічних наслідків Чорнобильської катастрофи, інших радіаційних інцидентів, наслідкам професійного радіаційного впливу, опубліковані в пост-чорнобильський період.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналізуючи результати багатьох тривалих досліджень, ми можемо виділити чотири групи офтальмологічних захворювань, які виникають у постраждалих від Чорнобильської катастрофи осіб.

Перша з них — захворювання, які є безпосереднім наслідком радіаційного впливу, тобто специфічні променеві ураження ока — стани, поява яких можлива тільки внаслідок дії іонізуючого випромінювання.

Друга група — захворювання, які в звичайних умовах виникають переважно у осіб похилого віку та розвиток яких прискорюється внаслідок радіаційного впливу.

До третьої групи можна віднести функціональні зміни, які були виявлені у радіаційно опромінених осіб.

І до четвертої групи належать ефекти, що виникли у осіб, опромінених внутрішньоутробно.

Специфічні променеві ураження ока — захворювання, поява яких можлива тільки внаслідок дії іонізуючого випромінювання — радіаційна катаракта та радіаційні ретинопатії.

junctiva, cornea, choroid, reticular membrane (retina), optic nerve; It was recognized that embryonic tissues are more sensitive than mature ones. [3]. It was believed that after radiation exposure, the most expected effect could be radiation cataract [4–6], which was considered a deterministic effect [5].

Studies conducted after the Chornobyl disaster have significantly changed these ideas, and this has finally been recognized by all authoritative international organizations in the last two decades [7]. It has been shown that the eye is extremely sensitive to radiation exposure and is one of the most vulnerable structures of the body [8–10].

OBJECTIVE

The purpose of the work is to analyze the epidemiological, clinical and experimental data obtained after the Chornobyl disaster on radiation ophthalmological effects.

MATERIALS AND METHODS

The criteria for inclusion in the analytical review were peer-reviewed publications in the scientometric databases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and manually selected works devoted to the study of the ophthalmological consequences of the Chornobyl disaster, other radiation incidents, and the consequences of occupational radiation exposure, published in the period after the Chornobyl disaster.

RESULTS AND DISCUSSION

Analyzing the results of many long-term studies, we can distinguish four groups of ophthalmological diseases that occur in people affected by the Chornobyl disaster.

The first of them is diseases that are a direct consequence of radiation exposure, that is, specific radiation damage to the eye — conditions that are possible only due to the action of ionizing radiation.

The second group is diseases that under normal conditions occur mainly in elderly people and whose development is accelerated due to radiation exposure.

The third group includes functional changes that were detected in radiation-exposed people.

And the fourth group includes effects that occurred in people irradiated in utero.

Specific radiation damage to the eye — diseases that are possible only due to the action of ionizing radiation — radiation cataract and radiation retinopathies.

Радіаційна (променева) катаракта відома давно [11], вона має специфічну клінічну картину, що дозволяє надійно відокремлювати її від інших різновидів катаракти [4, 12].

Щодо радіаційної катаракти найбільшу цікавість викликає доза, при якій вона може виникнути, і її латентний період.

При спостереженні радіаційно опромінених внаслідок Чорнобильської катастрофи осіб нами було доведено, що латентний період розвитку радіаційної катаракти може досягати 29 років (рис. 1, рис. 2) [13], але найбільша кількість нових випадків реєструється через 8–9 років після експозиції [14]. Це збігається з даними, опублікованими до Чорнобильської катастрофи [12].

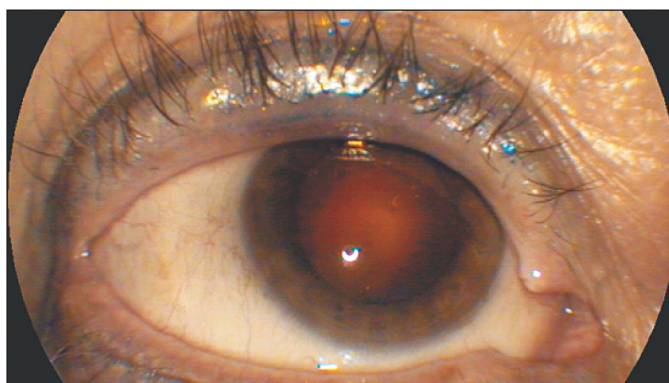


Рисунок 1. Кришталік до появи специфічної клінічної картини радіаційної катаракти, дата огляду 15.12.2014. Помутніння кришталіка на периферії, центральних субкапсулярних помутнінь немає (цит. за Пасечнікова Н. В. та ін. [13])

Figure 1. The lens before the appearance of a specific clinical picture of radiation cataract, examination date 12/15/2014. Lens opacities on the periphery, no central subcapsular opacities (according to Pasechnikova N.V. et al. [13])

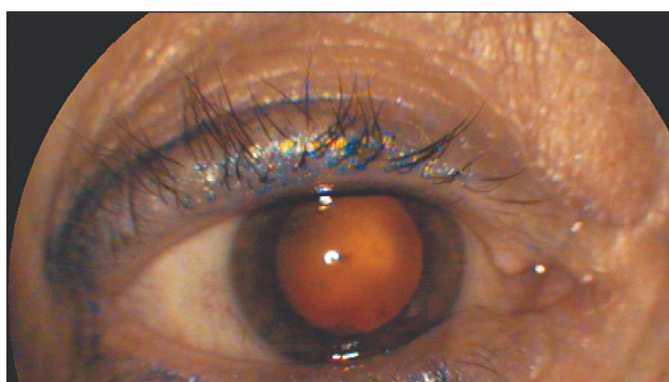


Рисунок 2. Кришталік при огляді 08.09.2015. Поява заднього центрального субкапсулярного помутніння (цит. за Пасечнікова Н. В. та ін. [13])

Figure 2. Lens during examination on 09/08/2015. Appearance of posterior central subcapsular opacification (according to Pasechnikova N.V. et al. [13])

В учасників аварійних робіт на ЧАЕС виявлено зворотний зв'язок між дозами ІР і тривалістю латентного періоду [15], що підтвердило раніше отримані в експерименті результати [16].

Офтальмологічний моніторинг в динаміці був проведений у 5 195 учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС (УЛНА). Для 2 094 осіб були наявні документально підтверджені дані щодо отриманої ними дози опромінення всього тіла. За результатами первинного і повторних обстежень радіаційні катаракти було діагностовано у 61 особи (2,91 %). Діапазон доз у осіб з катарактою – від 0,002 Гр до 2 Гр.

Отримана інформація демонструє: порогова доза для виникнення радіаційної катаракти або дуже низька, або поріг взагалі відсутній [15].

In participants of the clean-up works in Chornobyl, an inverse relationship between IR doses and the duration of the latent period was found [15], which confirmed the results obtained earlier in the experiment [16].

Ophthalmological monitoring in dynamics was carried out in 5,195 participants of the Chornobyl accident clean-up works. For 2,094 people, documented data on the dose of radiation received by them to the whole body were available. According to the results of the initial and repeated examinations, radiation cataracts were diagnosed in 61 people (2.91 %). The dose range in people with cataracts is 0.002 Gy – 2 Gy.

The information obtained demonstrates: the threshold dose for the occurrence of radiation cataracts is either very low or the threshold is absent [15].

Дискусія з цього приводу триває. Деякі автори стверджують, що дані з різних когорт, які зазнали впливу випромінювання, включно з людьми, які пережили атомне бомбардування, ліквідаторів Чорнобильської аварії, медичних працівників та пацієнтів, які проходили радіотерапію, важко включити в загальну модель ризику через невідповідності в дозиметрії, розмірах вибірки та метриках оцінювання, а рівні ризику в досліджуваних когортах можуть не відповідати професійним сценаріям через відмінності в потужності дози, якості випромінювання, віку під час опромінення [17]. Тривають дискусії щодо рівня доз опромінення, яке отримує око при медичних процедурах [18].

Частота виникнення катаракти у понад 1 100 диких птахів у Чорнобильській зоні зростала з рівнем фонових випромінювання, відношення шансів на одиницю зміни регресора становило 0,722 (95 % довірчий інтервал (CI): 0,648–0,804), що було менше, ніж відношення шансів у дослідженнях радіаційної катаракти у людей. Чисельність птахів із катарактою природним чином зменшується через різке зниження зору [19].

Перспективна когортна група з 35 705 радіологів США віком від 24 до 44 років без катаракти спостерігалася протягом 20 років (1983–2004 рр.). Для них у багатовимірних моделях самостійне повідомлення про три або більше рентгенівських знімків обличчя / шиї було пов'язане з коефіцієнтом ризику розвитку катаракти 1,25 (95 % CI: 1,06–1,47). Для працівників із найвищою професійною дозою опромінення кришталика ока (середнє значення 60 мГр) порівняно з особами з найнижчою дозою (середнє значення 5 мГр), скоригований коефіцієнт ризику катаракти становив 1,18 (95 % CI: 0,99–1,40). Отримані результати підтверджують гіпотезу про те, що найнижча катарактогенна доза опромінення для людини значно менша, ніж вважалося раніше [20].

Спостереження осіб, які зазнали хронічного впливу низької дози γ -випромінювання у своєму повсякденному житті або шкільному середовищі внаслідок дії ^{60}Co у складі металевих конструкцій, показали, що хронічне опромінення в низьких дозах може викликати зміни кришталика, особливо в кришталиках людей до 20-річного віку [21].

Аналіз результатів різних досліджень утруднює наявна залежність розвитку патології від часу після опромінення. Так, масштабне міжнародне дослідження UACOS [22] було розпочато після 1997 року, тобто через 11 років після радіаційного впливу. Було розраховано поріг дози для появи катаракти у період

The discussion on this issue is ongoing. Some authors argue that data from different cohorts exposed to radiation, including atomic bomb survivors, Chornobyl clean-up workers, medical workers, and patients undergoing radiotherapy, are difficult to incorporate into a common risk model due to inconsistencies in dosimetry, sample size, and assessment metrics, and that risk levels in the studied cohorts may not correspond to occupational scenarios due to differences in dose rate, radiation quality, and age at exposure [17]. There is ongoing debate about the level of radiation doses received by the eye during medical procedures [18].

The incidence of cataracts in over 1,100 wild birds in the Chornobyl zone increased with background radiation levels, with an odds ratio per unit change in the regressor of 0.722 (95 % confidence interval (CI): 0.648–0.804), which was smaller than the odds ratio in studies of radiation cataracts in humans. The number of birds with cataracts naturally decreases due to a sharp decline in vision [19].

A prospective cohort of 35,705 US radiologists aged 24–44 years without cataracts was followed for 20 years (1983–2004). For them, self-reported three or more face/neck X-rays was associated with a hazard ratio of 1.25 (95 % CI: 1.06–1.47) for cataract development in multivariate models. For workers with the highest occupational dose of radiation to the lens of the eye (mean 60 mGy) compared with those with the lowest dose (mean 5 mGy), the adjusted risk ratio for cataract was 1.18 (95 % CI: 0.99–1.40). The results support the hypothesis that the lowest cataractogenic dose for humans is much lower than previously thought [20].

Observations of individuals who have been chronically exposed to low doses of γ -radiation in their daily lives or school environments due to exposure to ^{60}Co in metal structures have shown that chronic low-dose radiation can cause changes in the lens, especially in the lenses of people under 20 years of age [21].

The analysis of the results of different studies is also complicated by the dependence of the development of pathology on the time after exposure. Thus, the large-scale international study UACOS [22] was started after 1997, i.e. 11 years after radiation exposure. The dose threshold for the appearance of cataracts was calculated to be 0.088 Gy (95 % CI – from 0 to 0.148 Gy) within 14 years after radiation exposure. [19].

14 років після радіаційного впливу 0,088 Гр (95 % CI – від 0 Гр до 0,148 Гр). [19].

Нами доведено, що найбільш вірогідний період для виявлення дозозалежного відносного ризику смерті учасників аварійних робіт на ЧАЕС внаслідок непухлинних хвороб спостерігається через 6–10 років після радіаційного впливу для підгруп осіб з дозою опромінення від 0,05 Гр до 0,7 Гр [23]. Результати математичного моделювання ризиків найбільш поширених очних хвороб свідчать про те, що для виявлення наявності радіаційно обумовлених ризиків захворюваності первинні обстеження опромінених осіб слід розпочинати максимум через 5 років після радіаційного впливу [15]. При проведенні досліджень у відносно більші терміни після опромінення ймовірність виявлення різниці між ризиком для різних дозових підгруп і, відповідно, дозових залежностей, низька.

Деякі автори стверджують, що об'єднані результати нещодавно проведених експериментальних та епідеміологічних досліджень щодо індукції катаракти іонізуючим випромінюванням показують, безумовно, менший, ніж оцінювалося раніше, поріг розвитку катаракти – порядку 0,5 Гр. Радіаційний катарактогенез може бути точно описаний лінійною безпороговою моделлю [24].

В отриманих нами моделях розрахунковий ризик збільшується зі зростанням дози іонізуючого випромінювання. На кривій є точка зламу в зоні дози 0,05 Гр, далі зі збільшенням дози ризик зростає швидше; ще одна точка зламу – для дози 1,0 Гр. Радіаційний адитивний і відносний ризик розвитку катаракти складає 3,45 (95 % CI: 1,35–5,56) на 1,0 Гр. Ці результати свідчать на користь припущення, що радіаційна катаракта, можливо, є стохастичним ефектом [13, 14, 25, 26].

До другої групи офтальмологічних захворювань належать хвороби ока, які в звичайних умовах виникають переважно в осіб похилого віку і частота яких збільшується з віком, розвиток частини з цих станів прискорюється внаслідок радіаційного впливу і для них радіаційне опромінення є важливим фактором ризику. Це було досліджено при спостереженні за постраждалими внаслідок Чорнобильської катастрофи особами [8].

Інволюційна катаракта – захворювання людей похилого віку і найбільш поширена патологія кришталика у опромінених внаслідок Чорнобильської катастрофи осіб [8, 15, 25, 26]. Саме поширеність інволюційної катаракти обумовлює особливу актуальність і соціальну вагу досліджень щодо закономірностей її розвитку. Незважаючи на доступність

We have proven that the most probable period for detecting a dose-dependent relative risk of death Chornobyl accident clean-up workers due to non-tumor diseases is 6–10 years after radiation exposure for subgroups of individuals with a radiation dose of 0.05 to 0.7 Gy [23]. The results of mathematical modeling of the risks of the most common eye diseases indicate that in order to detect the presence of radiation-related morbidity risks, initial examinations of irradiated individuals should be started no later than 5 years after radiation exposure [15]. When conducting studies at relatively longer periods after exposure, the probability of detecting differences in risk for different dose subgroups and, accordingly, dose dependences is low.

Some authors argue that the combined results of recent experimental and epidemiological studies on the induction of cataract by ionizing radiation show a significantly lower threshold for cataract development than previously estimated, on the order of 0.5 Gy. Radiation cataractogenesis can be accurately described by a linear threshold-free model [24].

In our models, the estimated risk increases with increasing ionizing radiation dose. There is a breakpoint on the curve in the 0.05 Gy dose zone, and then the risk increases more rapidly with increasing dose; another breakpoint is for a dose of 1.0 Gy. The radiation additive and relative risk of cataract development is 3.45 (95 % CI: 1.35–5.56) per 1.0 Gy. These results support the assumption that radiation cataract may be a stochastic effect [13, 14, 25, 26].

The second group of ophthalmological diseases includes eye diseases that normally occur mainly in the elderly and the frequency of which increases with age, the development of some of these conditions is accelerated by radiation exposure and for them radiation exposure is an important risk factor. This was studied in the observation of people affected by the Chornobyl disaster [8].

Involucional cataract is a disease of the elderly and the most common pathology of the lens in people exposed to the Chornobyl disaster [8, 15, 25, 26]. It is the prevalence of involucional cataract that determines the special relevance and social importance of research on the patterns of its development. Despite the availability of surgery for lens opacities, cataract is still the leading cause of blindness worldwide. From a public health per-

хірургії помутнінь кришталика, катаракта все ще є провідною причиною сліпоти у всьому світі. З точки зору громадського здоров'я, дослідження, які можуть визначити способи затримки початку або прогресування катаракти, повинні залишатися пріоритетним напрямком [27].

Важливо, що інволюційна катаракта є незалежним маркером ранньої смертності, і надає додаткові можливості для вивчення процесу старіння [27].

Було показано, що частота виникнення інволюційної катаракти вірогідно вища в групах з більш високою поглинутою дозою іонізуючої радіації. Серед осіб з дозами опромінення до 0,25 Гр частота інволюційної катаракти склала ($35,2 \pm 1,4$) % проти ($46 \pm 1,6$) % у групі з дозами понад 0,25 Гр ($p < 0,001$). Відносний ризик інволюційної катаракти порівняно з контролем в усіх дозових групах був найбільш високим для вікової групи до 40 років. Багатомірна математична модель показала, що відносний ризик за фактором віку становив 2,89 (2,53; 3,31), за дозою опромінення і часом перебування під ризиком – 1,68 (1,03; 2,74). Найбільший вплив мав фактор віку [28, 29].

З нових повідомлень викликає інтерес дослідження, яке показало значне збільшення оптичної щільності ядра кришталика (медіана 17,3 %, IQR 15,5–18,5 %) у учасників аварійних робіт на ЧАЕС, які працювали безпосередньо на промисловому майданчику, порівняно з контрольною групою (оцінка доз не проводилась) [30].

Від початку радіобіологічних досліджень протягом тривалого часу сітчаста оболонка вважалась відносно резистентною до дії іонізуючої радіації. Але після Чорнобильської катастрофи на підставі нових досліджень з'явилися докази надзвичайної чутливості сітківки до дії іонізуючого опромінення. Ультроструктурні зміни сітчастої оболонки виявляються в експерименті [9]. Низка авторів констатує розвиток макулярної дегенерації в групах радіаційно опромінених осіб [8, 10]. Найбільш поширеним видом патології сітківки у опромінених людей була центральна, або макулярна дегенерація. Вона має клінічну картину, подібну до клінічної картини **вікової дегенерації макули (ВМД)** у загальній популяції [15, 26, 29], і, ймовірно, в майбутньому потребуватиме постійного, доволі складного та дороговартісного офтальмологічного лікування [31–33].

Результати наших досліджень свідчать, що частота ВМД в учасників аварійних робіт на ЧАЕС при первинному огляді зросла з ($8,3 \pm 5,7$) % у 1992 році до ($58,57 \pm 2,38$) % у 2004 році, найвищу захворюваність відзначили через 9–10 років після опромінення, по-

spective, research that can identify ways to delay the onset or progression of cataract should remain a priority [27].

Importantly, involutional cataract is an independent marker of early mortality and provides additional opportunities to study the aging process [27].

It has been shown that the incidence of involutional cataract is significantly higher in groups with higher absorbed doses of ionizing radiation. Among individuals with radiation doses up to 0.25 Gy, the incidence of involutional cataract was (35.2 ± 1.4) % versus (46 ± 1.6) % in the group with doses greater than 0.25 Gy ($p < 0.001$). The relative risk of involutional cataract compared with controls in all dose groups was highest for the age group < 40 years. A multivariate mathematical model showed that the relative risk by age was 2.89 (2.53; 3.31), by radiation dose and time of exposure – 1.68 (1.03; 2.74). The age factor had the greatest influence [28, 29].

Of the new reports, a study is of interest, which showed a significant increase in the optical density of the lens nucleus (median 17.3 %, IQR 15.5–18.5 %) in Chernobyl clean-up workers, who worked directly at the industrial site, compared with the control group (dose assessment was not carried out) [30].

Since the beginning of radiobiological studies, the retina has long been considered relatively resistant to the effects of ionizing radiation. However, after the Chernobyl disaster, new studies have provided evidence of the extreme sensitivity of the retina to the effects of ionizing radiation. Ultrastructural changes in the retina are detected in the experiment [9]. A number of authors state the development of macular degeneration in groups of radiation-exposed individuals [8, 10]. The most common type of retinal pathology in irradiated individuals was central, or macular degeneration. It has a clinical picture similar to the clinical picture of **age-related macular degeneration (AMD)** in the general population [15, 26, 29], and is likely to require permanent and rather complex and expensive ophthalmological treatment in the future [31–33].

The results of our studies show that the frequency of AMD in Chernobyl clean-up workers at the initial examination increased from (8.3 ± 5.7) % in 1992 to (58.57 ± 2.38) % in 2004, the highest incidence was noted 9–10 years after irradiation, the

ширеність ВМД серед учасників аварійних робіт на ЧАЕС значно перевищує контрольні цифри [15, 28, 29, 34]. Констатували переважно «суху» форму макулодистрофії. Спостерігалась згладженість фовального рефлексу, деструкція пігментного епітелію – крапкова гіперпігментація з одночасною втратою пігменту в інших ділянках, наявність друз, жовтуватих і білих плям, іноді мікрогеморагій. Процес прогресував повільно. Тільки з часом у більшості хворих з'являлось помірне збільшення кількості і площі вогнищ, починала знижуватись гострота зору. При цьому морфометричні дослідження показали, що статистично вагомі зміни товщини сітчастої оболонки в макулярній зоні спостерігаються у деяких групах осіб, які зазнали радіаційного впливу, ще при відсутності клінічних проявів ВМД [35].

При тривалому спостереженні когорти учасників аварійних робіт на ЧАЕС нами виявлено виражене зростання поширеності **ангіопатії сітківки**. Відносний ризик поширеності порівняно з контрольною групою становив 2,6 для групи УЛНА на ЧАЕС, опромінених в дозі до 0,05 Гр; 2,75 – для опромінених у дозі від 0,05 до 0,099 Гр; 2,93 – для опромінених у дозі 0,25 Гр і вище. У осіб, яким спочатку був встановлений діагноз ангіопатії, при динамічному моніторингу було зафіксовано перехід ангіопатії в ангіосклероз: стінки артерій потовщувались, просвіт судин зменшувався, калібр ставав нерівномірним [26, 36, 37].

Променева глаукома. Нещодавно проведений реаналіз результатів спостереження жертв ядерних бомбардувань Японії дозволив виявити зв'язок між більш високою поширеністю нормотензивної глаукоми і дозою опромінення в осіб, опромінених у дозах 0–4 Гр, з оціненим відношенням шансів при 1 Гр, що дорівнює 1,31 (95 % CI: 1,11–1,53); механізм розвитку глаукоми в цій групі залишається невідомим [38].

Раніше ми повідомляли про значно вищий ризик виникнення інволюційних змін кута передньої камери (склероз трабекулярної зони, відкладення пігменту, звуження венозного синуса склери, тенденція до звуження кута передньої камери) порівняно з контрольною групою, $RR = 3,5$ (1,27–9,5). Поява морфологічних змін кута передньої камери може призвести до збільшення частоти відкритокутової глаукоми в осіб, які зазнали впливу іонізуючого випромінювання, у віддаленому періоді після аварії [39].

Найбільш яскравим проявом функціональних змін в учасників аварійних робіт на ЧАЕС було

prevalence of AMD among Chernobyl accident clean-up workers significantly exceeds the control figures [15, 28, 29, 34]. A predominantly dry form of macular degeneration was noted. There was a smoothing of the foveal reflex, destruction of the pigment epithelium – punctate hyperpigmentation with simultaneous loss of pigment in other areas, the presence of drusen, yellowish and white spots, sometimes microhemorrhages. The process progressed slowly. Only over time, most patients showed a moderate increase in the number and area of foci, and visual acuity began to decrease. At the same time, morphometric studies have shown that statistically significant changes in the thickness of the retina in the macular zone are observed in some groups of people exposed to radiation, even in the absence of clinical manifestations of AMD [35].

During long-term observation of the cohort of participants in the emergency work at the Chernobyl NPP, we found a pronounced increase in the prevalence of **retinal angiopathy**. The relative risk of prevalence compared with the control group was 2.6 for the group of Chernobyl NPP clean-up workers exposed to a dose of up to 0.05 Gy; 2.75 for those exposed to a dose of 0.05 to 0.099 Gy; 2.93 for those exposed to a dose of 0.25 Gy and above. In individuals who were initially diagnosed with angiopathy, during dynamic monitoring, the transition of angiopathy to angiosclerosis was recorded: the walls of the arteries thickened, the lumen of the vessels decreased, and the caliber became uneven [26, 36, 37].

Radiation glaucoma. A recent reanalysis of the Japanese nuclear bomb survivors found a higher prevalence of normotensive glaucoma and radiation dose in those exposed to 0–4 Gy, with an estimated odds ratio per Gy of 1.31 (95 % CI: 1.11–1.53); the mechanism of glaucoma development in this group remains unknown [38].

We have previously reported a significantly higher risk by Chernobyl accident clean-up workers of involutional changes in the anterior chamber angle (trabecular zone sclerosis, pigment deposition, narrowing of the scleral venous sinus, tendency to narrow the anterior chamber angle) compared with controls, $RR = 3.5$ (1.27–9.5). The appearance of morphological changes in the anterior chamber angle may lead to an increase in the frequency of open-angle glaucoma in persons exposed to ionizing radiation in the long term after the accident [39].

The most striking manifestation of functional changes in Chernobyl accident clean-up workers was a **violation**

порушення акомодативної здатності ока забезпечувати якісний зір на близькій відстані, в процес акомодативної здатності ока задіяні циліарне тіло і кришталік. З віком спостерігається зниження акомодативної здатності ока, розвивається пресбіопія – «старечий зір». Зниження акомодативної здатності ока прямо корелює з віком особи, тобто може вважатися проявом старіння [40]. Нами [41] проведено порівняльне вивчення акомодативної здатності очей УЛНА на ЧАЕС і осіб контрольної групи. Виявлено достовірне зниження об'єму акомодативної здатності у вікових інтервалах 24–34 і 40–49 років на момент обстеження. Математичне моделювання процесу змін акомодативної спроможності у радіаційно опромінених осіб, з урахуванням їхнього віку, дозволило отримати адекватну ($p < 0,05$) лінійну модель і адекватну логарифмічну модель ($p < 0,05$). Експрес об'єму акомодативної здатності складає $-0,78 \text{ D/Гр}$ і $-0,19 \text{ D/рік}$ (лінійна модель) [41]. Таким чином, виявлено дозозалежне зниження акомодативної здатності ока у радіаційно опромінених осіб, яке може вважатися прямим підтвердженням наявності ефекту прискореного старіння. Графічно зміни об'єму акомодативної здатності представлені на рис. 3 і 4 (за [41]).

Одним з найбільш ранніх, але тривалих ефектів впливу іонізуючого випромінювання є виявлене

of accommodation. Accommodation is the ability of the eye to provide high-quality vision at close range; the ciliary body and lens are involved in the accommodation process. With age, a decrease in the accommodative ability of the eye is observed, presbyopia develops – «presbyopia». A decrease in the accommodative ability of the eye directly correlates with the age of the person, that is, it can be considered a manifestation of aging [40]. We [41] conducted a comparative study of the accommodative ability of the eyes of the Chernobyl NPP emergency workers and control group individuals. A significant decrease the range of accommodation was found in the age intervals of 24–34 and 40–49 years at the time of the examination. Mathematical modelling of the process of changes in the accommodative capacity in radiation-exposed individuals, taking into account their age, allowed obtaining an adequate ($p < 0.05$) linear model and an adequate logarithmic model ($p < 0.05$). The excess of the range of accommodation is -0.78 D/Gy and -0.19 D/year (linear model) [41]. Thus, a dose-dependent decrease in the accommodative capacity of the eye in radiation-exposed individuals was revealed, which can be considered direct confirmation of the presence of the effect of accelerated aging. Changes of the range of accommodation are graphically presented in Fig. 3 and 4 (according to [41]).

One of the earliest but long-lasting effects of ionizing radiation exposure is the **disturbance of microcirculation in**



Рисунок 3. Об'єм акомодативної здатності в контролі і в групах учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС із різним дозовим навантаженням (цит. за Sergienko N. M., Fedirko P. A. [41])

Figure 3. The range of accommodation in the control and in the groups of participants in the liquidation of the consequences of the Chernobyl accident with different dose loads (according to Sergienko N. M., Fedirko P. A. [41])

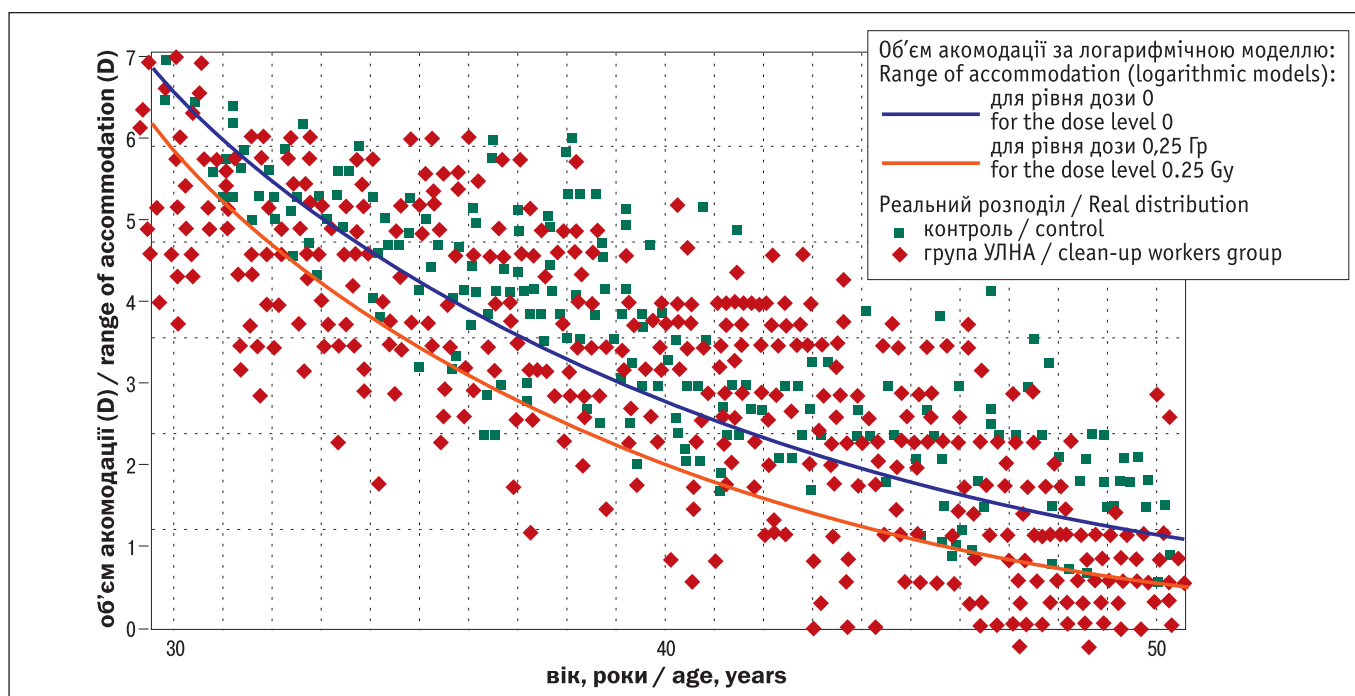


Рисунок 4. Результати моделювання змін об'єму акомодатії (D) в контрольній групі і в групі УЛНА. Логарифмічні моделі представлені лініями (цит. за Sergienko N. M., Fedirko P. A. [41])

Figure 4. Results of modelling changes in the range of accommodation (D) in the control group and in the municipal police group. Logarithmic models are represented by lines (according to Sergienko N. M., Fedirko P. A. [41])

при офтальмологічному обстеженні **порушення мікроциркуляції в кон'юнктиві** [42]. Вияв порушень мікроциркуляції був вірогідно вищим порівняно з контролем у всіх групах радіаційно опромінених осіб. При кореляційному аналізі знайдено прямий вірогідний ($p < 0,01$) зв'язок ступеня погіршення стану мікроциркуляції з віком обстежених і документованою дозою зовнішнього опромінення [42].

Виявлено порушення процесу **генерації темного потенціалу сітківки** в групі учасників аварійних робіт на ЧАЕС без наявності патології сітчастої оболонки [43]. Отримані дані свідчать про те, що функціональний стан пігментного епітелію сітківки значно порушується раніше, ніж з'являються клінічні прояви, це є, вірогідно, наслідком радіаційного впливу.

Піттсбурзький проєкт показав, що частота **початкових змін кришталика** у дітей, які проживають у районах з більшим рівнем радіаційного забруднення, вища, ніж у тих, хто мешкає на менш радіоактивно забруднених територіях [44]. Нами проводилось довготривале (протягом 8 років) спостереження за станом органа зору дітей, які проживають на територіях із різним рівнем забруднення радіонуклідами [45]. У групі дітей, які зазнали впливу ІВ в більших дозах, спостерігали статистично значущий ексцес (13,8 %, $p < 0,05$) субклінічних задніх субкапсулярних змін кришталика [45].

the **conjunctiva** detected during ophthalmological examination [42]. The occurrence of microcirculation disturbances was significantly higher compared to the control in all groups of radiation-exposed individuals. Correlation analysis found a direct, reliable ($p < 0.01$) relationship between the degree of deterioration of microcirculation and the age of the subjects and the documented dose of external radiation [42].

A disturbance in the process of **generating the retinal dark potential** was detected in a group of participants in the Chernobyl accident without retinal pathology [43]. The data obtained indicate that the functional state of the retinal pigment epithelium is significantly impaired before clinical manifestations appear, which is probably a consequence of radiation exposure.

The Pittsburgh project showed that the frequency of **initial changes in the lens** in children living in areas with a higher level of radiation contamination is higher than in those living in less radioactively contaminated areas [44]. We conducted a long-term (8-year) observation of the state of the organ of vision in children living in areas with different levels of radionuclide contamination [45]. In the group of children exposed to IR in higher doses, a statistically significant excess (13.8 %, $p < 0.05$) of subclinical posterior subcapsular changes in the lens was observed [45].

Вже через короткий інтервал після радіаційного впливу виникають **зміни калібру судин сітківки**. Спостерігаємо зменшення артеріовенозного співвідношення за рахунок розширення вен сітківки у осіб з числа персоналу ЧАЕС, які працювали в умовах окупації Чорнобильської атомної електростанції у 2022 році [46]. Оскільки у обстежених не зафіксовано перевищення контрольного рівня вмісту інкорпорованого ^{137}Cs (1 000 Бк/організм), виявлений ефект може бути наслідком поєднаного впливу як радіаційних, так і нерадіаційних факторів.

Радіаційні офтальмологічні ефекти у дітей та осіб, опромінених внутрішньоутробно

Експериментальні дослідження продемонстрували багатофакторні механізми, які призводять до різних наслідків для здоров'я дітей після опромінення в утробі матері [47]. Водночас, повідомлення про наслідки внутрішньоутробного радіаційного впливу на око людини нечисленні.

Зафіксовано **порушення рефрактогенезу** у мешканців територій з вищим рівнем радіаційного забруднення [48].

Наші дослідження органа зору внутрішньоутробно опромінених осіб показали, що в групах спостереження виявляється підвищений рівень вроджених вад розвитку очей [49]. Серед діагностованих вроджених захворювань поширеність вродженої катаракти серед пренатально опромінених осіб значно вища, ніж у групі порівняння ($\text{RR} = 4,62$, 95 % CI: 1,3–16,7) [49, 50]. Для цієї групи опромінених осіб у віддаленому періоді спостерігається підвищений ризик виникнення макулярної дегенерації [51]. Виявляли зміни товщини сітчастої оболонки в осіб, які клінічно залишались здоровими (рис 5).

Показано, що частота розбіжної косоокості та гетерофорії була вищою в осіб, які зазнали внутрішньоутробного опромінення внаслідок Чорнобильської катастрофи, порівняно з контрольною групою, відносний ризик наявності гетерофорії склав 5,082 (1,424–18,13). Дискутується роль дистрофічних процесів у морфопатогенезі косоокості [52, 53].

ВИСНОВКИ

1. Дослідження, проведені у період після Чорнобильської катастрофи, суттєво змінили уявлення про вплив іонізуючого випромінювання на орган зору. Було показано, що око надзвичайно чутливе до радіаційного впливу і є однією з найбільш вразливих структур організму.

Changes in the caliber of retinal vessels occur even after a short interval after radiation exposure. Decrease in arteriovenous ratio due to dilation of retinal veins observed in persons from the Chernobyl NPP personnel who worked under the conditions of occupation of the Chernobyl nuclear power plant in 2022 [46]. Since the control level of incorporated ^{137}Cs content (1,000 Bq/body) was not exceeded in the examined subjects, the detected effect may be a consequence of the combined effect of both radiation and non-radiation factors.

Radiation ophthalmological effects in children and individuals irradiated in utero

Experimental studies have demonstrated multifactorial mechanisms that lead to various health consequences for children after irradiation in the womb [47]. At the same time, reports on the effects of intrauterine radiation exposure on the human eye are few.

Impaired refractogenesis has been recorded in residents of territories with higher levels of radiation contamination [48].

Our studies of the organ of vision of individuals irradiated in utero have shown that an increased level of congenital eye defects is detected in the observation groups [49]. Among diagnosed congenital diseases, the prevalence of congenital cataracts among prenatally irradiated individuals is significantly higher than in the comparison group ($\text{RR} = 4.62$, 95 % CI: 1.3–16.7) [49, 50]. This group of irradiated individuals is at increased risk of developing macular degeneration in the long term [51]. Changes in retinal thickness have been found in individuals who remained clinically healthy (Fig. 5).

It has been shown that the frequency of divergent strabismus and heterophoria was higher in individuals exposed to intrauterine radiation as a result of the Chernobyl disaster, compared to the control group, the relative risk of heterophoria was 5.082 (1.424–18.13). The role of dystrophic processes in the morphopathogenesis of strabismus is discussed [52, 53].

CONCLUSIONS

1. Research conducted in the period after the Chernobyl disaster significantly changed the idea of the effect of ionizing radiation on the organ of vision. It was shown that the eye is extremely sensitive to radiation exposure and is one of the most vulnerable structures of the body.

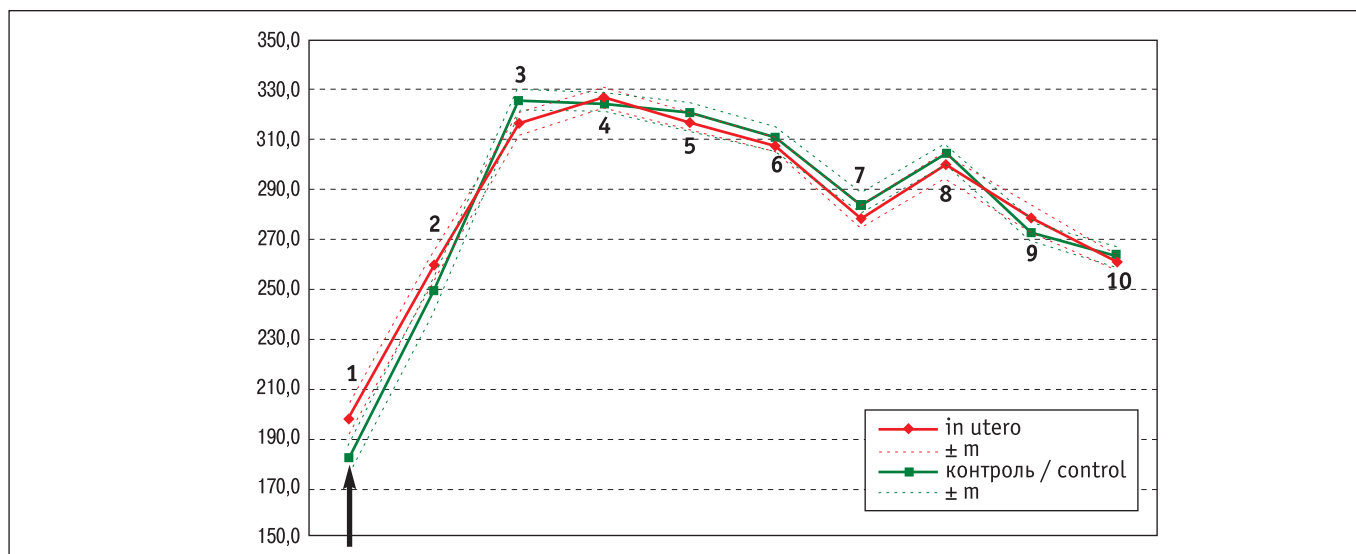


Рисунок 5. Середня товщина сітківки в парамакулярній зоні у опромінених внутрішньоутробно осіб порівняно з контролем, мкм (цит за Бабенко Т. Ф. та ін. [51.]

Примітки. Стрілкою показано вірогідну різницю в товщині у фовеолі; 1 – фовеола; 2 – фовеолярна зона; 3 – верхній внутрішній сектор навколофовеолярної зони; 4 – назальний внутрішній сектор навколофовеолярної зони; 5 – нижній внутрішній сектор навколофовеолярної зони; 6 – темпоральний внутрішній сектор навколофовеолярної зони; 7 – верхній зовнішній сектор навколофовеолярної зони; 8 – назальний зовнішній сектор навколофовеолярної зони; 9 – нижній зовнішній сектор навколофовеолярної зони; 10 – темпоральний зовнішній сектор навколофовеолярної зони.

Figure 5. The average retinal thickness in the paramacular area in irradiated in utero compared with the control, μm (according to Babenko T.F. et al. [51])

Notes. The arrow shows the probable difference in thickness in the fovea: 1 – the fovea; 2 – foveolar zone; 3 – upper internal sector of the parafoveal zone; 4 – nasal internal sector of the parafoveal zone; 5 – lower internal sector of the parafoveal zone; 6 – temporal internal sector of the parafoveal zone; 7 – upper sector of the paramacular zone; 8 – nasal sector of the paramacular zone; 9 – lower paramacular zone sector; 10 – temporal sector of the paramacular zone.

2. Аналізуючи результати тривалих постчорнобильських досліджень, ми розподілили офтальмологічні захворювання, які виникають у постраждалих від Чорнобильської катастрофи осіб, на чотири групи. Перша група – специфічні променеві ураження ока – захворювання, поява яких можлива тільки внаслідок дії іонізуючого випромінювання. Друга група – захворювання, переважно властиві особам похилого віку, розвиток яких прискорюється в осіб, які зазнали радіаційного впливу. Третя група – функціональні зміни, які були виявлені у радіаційно опромінених осіб. До четвертої групи належать ефекти, що виникли в осіб, опромінених внутрішньоутробно.

Фінансування

Автори не розголошують конфіденційну інформацію та не мають жодної приналежності або фінансової зацікавленості в будь-якій організації, яка могла б створити конфлікт інтересів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє : Національна доповідь України. Київ : Атіка, 2006. 232 с.
- Тридцять років Чорнобильської катастрофи: радіологічні та медичні наслідки : Національна доповідь України. Київ, 2016. 177 с.

2. Analyzing the results of long-term post-Chernobyl studies, we divided ophthalmological diseases that occur in people affected by the Chernobyl disaster into four groups. The first group is specific radiation damage to the eye – diseases that can only occur as a result of the action of ionizing radiation. The second group is diseases that are mainly characteristic of elderly people, the development of which is accelerated in people who have been exposed to radiation. The third group is functional changes that have been detected in people exposed to radiation. The fourth group includes effects that have occurred in people exposed to radiation in utero.

Funding

The authors do not disclose confidential information and have no affiliation or financial interest in any organization that could create a conflict of interest.

REFERENCES

- [Twenty years after Chernobyl accident. Future outlook: National Report of Ukraine]. Kyiv: Atika; 2006. 224 p. Ukrainian.
- [Thirty years of Chernobyl catastrophe: radiological and health effects. National Report of Ukraine]. Kyiv; 2016. 172 p. Ukrainian.

3. Duke-Elder W. S. Textbook of Ophthalmology. London, 1954. Vol. 6, ch. 68. P. 69.
4. Medvedovsky C. Criteria for the subjective assessment of cataracts. In: *NATO advanced research workshop «Ocular Radiation Risk Assessment in Populations Exposed to Environmental Radiation Contamination»*; (Kyiv, Jul. 28 – Aug. 1 1997) : Program & Abstracts. Kyiv, 1997. P. 23.
5. Merriam G. R., Focht E. F. A clinical study of radiation cataract and the relationship to dose. *Am. J. Roentgenol. Radium Ther. Nucl. Med.* 1957. Vol. 77, no. 5. P. 759-785.
6. Otake M., Finch S., Choshi K., Takaku I., Mishima H., Takase T. Radiation-related ophthalmological changes and aging among Hiroshima and Nagasaki A-bomb survivors: a reanalysis. *Radiat. Res.* 1992. Vol. 131, no. 3. P. 315-324.
7. ICRP, International Commission on Radiological protection. ICRP 2012 Annual Report. ICRP reference 4833-8730-1908. 2013-07-29. [Internet]. 2012 [cited 16 March 2020]. URL: <https://www.icrp.org/docs/ICRP%20Annual%20Report%202012.pdf>
8. Buzunov V., Fedirko P. Ophthalmopathology in victims of the Chernobyl catastrophe – results of clinical epidemiological study. In: *Ocular radiation risk assessment in populations exposed to environmental radiation contamination* / ed. by A. K. Junk, Y. Kundiev, P. Vitte, B. V. Worgul. Dordrecht / Boston / London : Kluwer Ac. Publish., 1999. P. 57-67.
9. Молчанюк Н. И., Думброва Н. Е. Ультраструктурные изменения нервных элементов и микрососудов сетчатки у крыс, подвергшихся воздействию радиационных факторов аварии на ЧАЭС. *Офтальмол. журн.* 2002. № 6. С. 44-49.
10. Клинические особенности поражения макулярной области у лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС / М. О. Пеньков, С. Ф. Зубарев, М. В. Панченко, И. Г. Дурас. *Офтальмол. журн.* 1999. № 2. С. 77-80.
11. Rollins W. Notes on X-light. The effect of X-light on the crystalline lens. *Boston Med. Surg. J.* 1903. Vol. 148. P. 364-365.
12. Cogan D. G., Donaldson D. D., Reese A. B. Clinical and pathological characteristics of radiation cataract. *Arch. Ophthalmol.* 1952. Vol. 47, no. 1. P. 55-70.
13. Пасечникова Н. В., Федірко П. А., Бабенко Т. Ф. Випадок радіаційної катаракти, виявлений через 29 років після радіаційного впливу. *Офтальмол. журн.* 2020. № 6. С. 61-63. DOI: 10.31288/oftalmolzh202066163.
14. Головний мозок та орган зору як потенційні мішені для впливу іонізуючого випромінювання. Частина I. Цереброофтальмологічні ефекти опромінення в учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС / К. М. Логановський, П. А. Федірко, К. В. Куц та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2020. Вип. 25. С. 90-129. DOI: 10.33145/2304-8336-2020-25-90-129
15. Федірко П. А. Клініко-епідеміологічне дослідження професійних хвороб органа зору у постраждалих в результаті аварії на ЧАЕС (закономірності розвитку, ризику, прогноз) : автореф. дис.... д-ра мед. наук : 14.02.01; 14.01.18. К., 2002. 34 с.
3. Duke-Elder WS. Textbook of Ophthalmology. London; 1954. Vol. 6, Ch. 68. P. 69.
4. Medvedovsky C. Criteria for the subjective assessment of cataracts. In: *NATO advanced research workshop «Ocular Radiation Risk Assessment in Populations Exposed to Environmental Radiation Contamination»*; (Kyiv, Jul. 28 – Aug. 1 1997): Program & Abstracts. Kyiv; 1997. p. 23.
5. Merriam GR, Focht EF. A clinical study of radiation cataract and the relationship to dose. *Am J Roentgenol Radium Ther Nuc. Med.* 1957;77(5):759-785.
6. Otake M, Finch S, Choshi K, Takaku I, Mishima H, Takase T. Radiation-related ophthalmological changes and aging among Hiroshima and Nagasaki A-bomb survivors: a reanalysis. *Radiat Res.* 1992;131(3):315-324.
7. ICRP, International Commission on Radiological protection. ICRP 2012 Annual Report. ICRP reference 4833-8730-1908. 2013-07-29. [Internet]. 2012 [cited 16 March 2020]. Available from: <https://www.icrp.org/docs/ICRP%20Annual%20Report%202012.pdf>
8. Buzunov V, Fedirko P. Ophthalmopathology in victims of the Chernobyl catastrophe – results of clinical epidemiological study. In: *Ocular radiation risk assessment in populations exposed to environmental radiation contamination* / ed. by Junk AK, Kundiev Y, Vitte P, Worgul BV, editors. Dordrecht / Boston / London: Kluwer Ac. Publish; 1999. p. 57-67.
9. Molchanyuk NI, Dumbrova NE. [Ultrastructural changes in the nerve elements and microvessels of the retina in rats exposed to radiation factors of the Chernobyl accident]. *J. Ophthalmol. (Ukraine).* 2002;(6):44-49. Russian.
10. Penkov MO, Zubarev SF, Panchenko MV, Duras IG. [Clinical features of macular damage in individuals exposed to radiation as a result of the Chernobyl accident]. *J. Ophthalmol. (Ukraine).* 1999;(2):77-80. Russian.
11. Rollins W. Notes on X-light. The effect of X-light on the crystalline lens. *Boston Med Surg J.* 1903;148:364-365.
12. Cogan DG, Donaldson DD, Reese AB. Clinical and pathological characteristics of radiation cataract. *Arch Ophthalmol.* 1952; 47(1):55-70.
13. Pasechnikova NV, Fedirko PA, Babenko TF. [A case of radiation cataracts, revealed by 29 years after radiation impact]. *J. Ophthalmol. (Ukraine).* 2020;(6):6163. doi: 10.31288/oftalmolzh202066163. Ukrainian.
14. Loganovsky KN, Fedirko PA, Kuts KV, Marazziti D, Antypchuk KYu, Perchuk IV, et al. Brain and eye as potential targets for ionizing radiation impact. Part I. The consequences of irradiation of the participants of the liquidation of the Chornobyl accident. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2020;25:90-129. doi: 10.33145/2304-8336-2020-25-90-129.
15. Fedirko PA. [Clinical and epidemiological study of occupational diseases of the organ of vision in victims of the Chernobyl accident (development patterns, risks, prognosis)]: [dissertation abstract]. Kyiv; 2002. 34 p. Ukrainian.

16. Merriam G., Worgul B. Experimental radiation cataract – its clinical relevance. *Bull. N. Y. Acad. Med.* 1983. Vol. 59. P. 372-392.
17. Deterministic effects to the lens of the eye following ionizing radiation exposure: is there evidence to support a reduction in threshold dose? / C. Thome, D. B. Chambers, A. M. Hooker et al. *Health Physics*. 2018. Vol. 114, no. 3, P. 328-343. DOI: 10.1097/HP.0000000000000810
18. Optimization of radiation protection in head computed tomography: A study of SSDE based on Deff, Dw and organ dose / Z. Saga, M. Touil, M. Talbi et al. *Radiat. Phys. Chem.* 2025. Vol. 237, 113069. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2025.113069>.
19. Mousseau T. A., Moller A. P. Elevated frequency of cataracts in birds from Chernobyl. *PLoS One*. 2013. Vol. 8, no. 7. P. e66939. DOI: 10.1371/journal.pone.0066939.
20. Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation: a 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists / G. Chodick, N. Bekiroglu, M. Hauptmann et al. *Am. J. Epidemiol.* 2008. Vol 168, Iss. 6. P. 620-631. DOI: 10.1093/aje/kwn171.
21. Lenticular opacities in populations exposed to chronic low-dose-rate gamma radiation from radiocontaminated buildings in Taiwan / W.-Li. Chen, J.-Sh. Hwang, T.-H. Hu et al. *Radiat. Res.* 2001. Vol. 156, no. 1. P. 71-77. DOI: 10.1667/0033-7587(2001)156[0071:loipet]2.0.co;2.
22. Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures / B. V. Worgul, Y. I. Kundiyeu, N. M. Sergiyenko et al. *Radiat. Res.* 2007. Vol. 167, no. 2, P. 233-243. DOI: 10.1667/rr0298.1.
23. Рівні і відносні ризики смертності учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС 1986-1987 рр. від основних непухлинних хвороб (період спостереження 1988-2021 рр.) / П. А. Федірко, Т. Ф. Бабенко, О. А. Капустинська та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2024. Вип. 29. С. 182-198. DOI: 10.33145/2304-8336-2024-29-182-198.
24. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies / E. A. Ainsbury, S. D. Bouffler, W. Dorr et al. *Radiat. Res.* 2009. Vol. 172, no. 1. P. 1-9. doi: 10.1667/RR1688.1.
25. Клінічні різновиди катаракти у віддаленому періоді після перенесеної гострої променевої хвороби / П. А. Федірко, Т. Ф. Бабенко, О. О. Колосинська та ін. *Проблеми радіаційної медицини і радіобіології*. 2019. Вип. 24. С. 493-502. DOI: 10.33145/2304-8336-2019-24-493-502.
26. Fedirko P. Eye: clinic, diagnostics, regularities and risks for development of eye pathology in Chornobyl catastrophe victims. In: *Health Effects of the Chornobyl Accident – thirty years aftermath* / ed. by D. Bazyka, V. Sushko, A. Chumak, V. Chumak, L. Yanovych. Kyiv : DIA, 2016. P. 406-455.
27. West S. Epidemiology of cataract: accomplishments over 25 years and future directions. *Ophthalmic Epidemiol.* 2007. Vol. 14, no. 4, P. 173-178. DOI: 10.1080/09286580701423151.
28. Федірко П. А. Радіаційне опромінення і хвороби ока. В кн. : *Медичні наслідки аварії на Чорнобильській атомній електростанції* /
16. Merriam G, Worgul B. Experimental radiation cataract – its clinical relevance. *Bull N Y Acad Med.* 1983;59:372-392.
17. Thome C, Chambers DB, Hooker AM, Thompson JW, Boreham DR. Deterministic effects to the lens of the eye following ionizing radiation exposure: is there evidence to support a reduction in threshold dose? *Health Physics* 2018;114(3):328-343. doi: 10.1097/HP.0000000000000810
18. Saga Z, Touil M, Talbi M, Rezzouk A, Rahmouni A. Optimization of radiation protection in head computed tomography: A study of SSDE based on Deff, Dw and organ dose. *Radiat Phys Chem.* 2025;237: 113069. doi: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2025.113069>.
19. Mousseau TA, Moller AP. Elevated frequency of cataracts in birds from Chernobyl. *PLoS One* 2013;8(7):e66939. doi: 10.1371/journal.pone.0066939.
20. Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M, Alexander BH, Freedman DM, Doody MM, et al. Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation: a 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists. *Am J Epidemiol.* 2008;168(6):620-631. doi:10.1093/aje/kwn171.
21. Chen W-Li, Hwang J-Sh, Hu T-H, Chen M-S, Chang WP. Lenticular opacities in populations exposed to chronic low-dose-rate gamma radiation from radiocontaminated buildings in Taiwan. *Radiat Res.* 2001;156(1):71-77. doi: 10.1667/0033-7587(2001)156[0071:loipet]2.0.co;2.
22. Worgul BV, Kundiyeu YI, Sergiyenko NM, Chumak WV, Vitte PM, Medvedovsky C, et al. Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. *Radiat Res.* 2007;167(2):233-243. doi: 10.1667/rr0298.1.
23. Fedirko PA, Babenko TF, Kapustinska OA, Belyaev YM, Tereshchenko SO, Dorichevskaya RY. Levels and relative risks of mortality of Chornobyl cleanup workers in 1986-1987 years from main non-neoplastic diseases (observation period 1988-2021). *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2024;29:182-198. doi: 10.33145/2304-8336-2024-29-182-198.
24. Ainsbury EA, Bouffler SD, Dorr W, Graw J, Muirhead CR, Edwards AA, Cooper J. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. *Radiat Res.* 2009;172(1):1-9. doi: 10.1667/RR1688.1.
25. Fedirko PA, Babenko TF, Kolosynska OO, Dorichevskaya RE, Garkava NA, Sushko VO. Clinical types of cataracts in a longterm period after acute radiation sickness. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2019;24:493-502. doi: 10.33145/2304-8336-2019-24-493-502.
26. Fedirko P. Eye: clinic, diagnostics, regularities and risks for development of eye pathology in Chornobyl catastrophe victims. In: *Bazyka D, Sushko V, Chumak A, Chumak V, Yanovych L, editors. Health Effects of the Chornobyl Accident – thirty years aftermath.* Kyiv: DIA; 2016. p. 406-455.
27. West S. Epidemiology of cataract: accomplishments over 25 years and future directions. *Ophthalmic Epidemiol.* 2007;14(4):173-178. doi: 10.1080/09286580701423151.
28. Fedirko PA. [Radiation exposure and eye diseases]. In: *Vozianov OF, Bebesheko VG, Bazyka DA, editors. Medical consequences of*

- за ред. О. Ф. Возіанова, В. Г. Бебешка, Д. А. Базики. Київ : ДІА, 2007. С. 186-198.
29. Fedirko P. Eye: clinic, diagnostics, regularities and risks for development of eye pathology in Chornobyl catastrophe sufferers // *In: Health effects of the Chornobyl accident. A Quarter of century aftermath* / ed. by A. Serdiuk, V. Bebeshko, D. Bazyka, S. Yamashita. Kyiv: DIA, 2011. 648 p. P. 492-510.
30. A comparative analysis of lens structural changes in ex-clean-up workers exposed to radiation from Chornobyl versus non-exposed individuals / E. Grisle, A. Zemitis, I. Markevica et al. *Journal of Ophthalmology (Ukraine)*. 2024. № 4. P. 52-57. DOI: 10.31288/oftalmolzh202445257
31. Comparison of efficacy of intravitreal ranibizumab and aflibercept in eyes with myopic choroidal neovascularization: 24-month follow-up / A. Korol, T. Kustryn, O. Zadorozhnyy et al. *J. Ocul. Pharmacol Ther*. 2020. Vol. 36, no. 2. P. 122-125. DOI: 10.1089/jop.2019.0080
32. Kustryn T., Zadorozhnyy O., Nasinnyk I., Korol A., Pasyechnikova N. Photodynamic therapy with chlorin e6 derivative for chronic central serous chorioretinopathy (pilot study). *J Ocul Pharmacol Ther* 2022. Vol. 38 (7). P. 505-512. DOI: 10.1089/jop.2021.0120.
33. Intravitreal ranibizumab for the treatment of choroidal neovascularizations associated with pathologic myopia: A prospective study / N. V. Pasyechnikova, V. O. Naumenko, A. R. Korol et al. *Ophthalmologica*. 2015. Vol. 233, Iss. 1. P. 2-7. DOI: 10.1159/000369397.
34. Попередні результати дослідження поширеності вікової макулярної дегенерації у осіб працездатного віку, які претендували на участь в роботах в умовах дії іонізуючого випромінювання / Ю. Єфімова, П. Федірко, Т. Бабенко, Р. Дорічевська. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2023. Вип. 28. С. 277-285. DOI: 10.33145/2304-8336-2023-28-277-285ю
35. Морфометричні параметри макулярної зони сітківки у реконвалесцентів гострої променевої хвороби (у віддаленому періоді) / П. А. Федірко, Т. Ф. Бабенко, О. О. Колосинська та ін. *Проблеми радіаційної медицини і радіобіології*. 2018. Вип. 23. С. 481-489. DOI: 10.33145/2304-8336-2018-23-481-489.
36. Федірко П. А., Гарькава Н. А. Закономірності розвитку судинної патології сітківки у віддаленому періоді після радіаційного впливу. *Офтальмол. журн*. 2016. № 6. С. 24-28. DOI: <https://doi.org/10.31288/oftalmolzh201662428>.
37. Fedirko P., Babenko T., Dorichevska R., Garkava N. Retinal vascular pathology risk development in the irradiated at different ages as a result of Chornobyl NPP accident. *Probl. Radiac. Med. Radiobiol*. 2015. Vol. 20. P. 467-573.
38. Association between radiation, glaucoma subtype, and retinal vessel diameter in atomic bomb survivors / Y. Kiuchi, M. Yanagi, K. Itakura et al. *Sci. Rep*. 2019. Vol. 9, no. 1. P. 8642. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598019450497>.
39. Radiation induced violations of blood circulation in the ciliary body and changes of the anterior chamber angle in the pathogenesis of glaucoma in clean/up workers of the Chornobyl NPP accident and residents of contaminated areas / N. Garkava, P. Fedirko, T. the accident at the Chornobyl nuclear power plant. Kyiv: DIA; 2007. p. 186-198. Ukrainian.
29. Fedirko P. Eye: clinic, diagnostics, regularities and risks for development of eye pathology in Chornobyl catastrophe sufferers. *In: Serdiuk A, Bebeshko V, Bazyka D, Yamashita S, editors. Health effects of the Chornobyl accident. A Quarter of century aftermath*. Kyiv: DIA; 2011. p. 492-510.
30. Grisle E, Zemitis A, Markevica I, Zolovs M, Laganovska G. A Comparative analysis of lens structural changes in ex-clean-up workers exposed to radiation from Chornobyl versus non-exposed individuals. *Ophthalm J (Ukraine)*. 2024;(4):52-57. doi: <https://doi.org/10.31288/oftalmolzh202445257>.
31. Korol A, Kustryn T, Zadorozhnyy O, Pasyechnikova N, Kozak I. Comparison of efficacy of intravitreal ranibizumab and aflibercept in eyes with myopic choroidal neovascularization: 24-month follow-up. *J Ocul Pharmacol Ther*. 2020;36(2):122-125. doi: <https://doi.org/10.1089/jop.2019.0080>
32. Kustryn T, Zadorozhnyy O, Nasinnyk I, Korol A, Pasyechnikova N. Photodynamic therapy with chlorin e6 derivative for chronic central serous chorioretinopathy (pilot study). *J Ocul Pharmacol Ther* 2022;38(7):505-512. doi: <https://doi.org/10.1089/jop.2021.0120>.
33. Pasyechnikova NV, Naumenko VO, Korol AR, Zadorozhnyy OS, Kustryn TB, Henrich PB. Intravitreal ranibizumab for the treatment of choroidal neovascularizations associated with pathologic myopia: A prospective study. *Ophthalmologica*. 2015;233(1):2-7. doi: <https://doi.org/10.1159/000369397>.
34. Yefimova Yu, Fedirko P, Babenko T, Dorichevska R. Prevalence of age-macular degeneration in persons of working age who applied to participate in work in action conditions ionizing radiation: preliminary results. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2023; 28:277-285. doi: <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2023-28-277-285>.
35. Fedirko PA, Babenko TF, Kolosynska OO, Dorichevska RYu, Garkava NA, Grek LV, et al. Morphometric parameters of the macular zone of the retina in convalescents from acute radiation sickness (in the remote period). *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2018;23: 481-489. <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2018-23-481-489>.
36. Fedirko PA, Garkava NA. Patterns of development of retinal vascular pathology in the long term after radiation exposure. *J. Ophthalmol. (Ukraine)*. 2016;(6):24-28. <https://doi.org/10.31288/oftalmolzh201662428>.
37. Fedirko P, Babenko T, Dorichevska R, Garkava N. Retinal vascular pathology risk development in the irradiated at different ages as a result of Chornobyl NPP accident. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2015;20:467-573.
38. Kiuchi Y, Yanagi M, Itakura K, Takahashi I, Hida A, Ohishi W, Furukawa K. Association between radiation, glaucoma subtype, and retinal vessel diameter in atomic bomb survivors. *Sci Rep*. 2019;9(1):8642. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598019450497>.
39. Garkava N, Fedirko P, Babenko T, Dorichevska R. Radiation induced violations of blood circulation in the ciliary body and changes of the anterior chamber angle in the pathogenesis of

- Babenko, R. Dorichevska. *Probl. Radiac. Med. Radiobiol.* 2017. Vol. 22. P. 332-338.
40. Donders F. C. Die anomalien der refraction und akkomodation des auges. Wien, 1866. 68 p.
 41. Sergienko N. M., Fedirko P. A. Accommodative function of eyes in persons exposed to ionizing radiation. *Ophthalm. Res.* 2002. Vol. 34, Iss. 4. P. 192-194. DOI: 10.1159/000063879.
 42. Fedirko P., Garkava N. Microcirculation violations of the conjunctiva in cleanup workers of the Chernobyl NPP accident. *Probl. Radiac. Med. Radiobiol.* 2016. Vol. 21. P. 345-351.
 43. Федірко П. А. Електроокулографічні дослідження радіаційно опромінених осіб. *Офтальмол. журн.* 2001. № 1. С. 65-67.
 44. Day R., Gorin M., Eller A. Prevalence of lens changes in ukrainian children residing around Chernobyl. *Health Phys.* 1995. Vol. 68, no. 5. P. 632-642. DOI: 10.1097/00004032q199505000q00002.
 45. Федірко П. А., Хілінська В. Ю. Стан кришталика у дітей, що мешкають в зоні радіаційного забруднення. Аналіз результатів тривалого спостереження. *Офтальмол. журн.* 1998. № 2. С. 155-158.
 46. Зміни судин сітківки в співробітників Чорнобильської атомної електростанції, які зазнали тривалого ненормованого радіаційного впливу на робочому місці внаслідок окупації ЧАЕС у 2022 році / Д. А. Базика, В. О. Сушко, П. А. Федірко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2022. Вип. 27. С. 423-430. doi: 10.33145/2304-8336-2022-27-423-430.
 47. Benotmane M. A., Trott K. R. Epidemiological and experimental evidence for radiation-induced health effects in the progeny after exposure in utero. *Int. J. Radiat. Biol.* 2023. Vol. 100, no. 9. P. 1264-1275. DOI: <https://doi.org/10.1080/09553002.2023.2283088>.
 48. Сердюченко В. И., Ностопырева Е. И. Рефрактогенез у школьников, проживающих на радиационно загрязненной территории. Одесса : Астропринт, 2015. 104 с.
 49. Бабенко Т. Ф. Клініко-епідеміологічна характеристика стану органа зору осіб, опромінених внутрішньоутробно внаслідок Чорнобильської катастрофи : автореф. дис. ... канд. мед. наук. Київ : Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», 2013. 23 с.
 50. Головной мозг та орган зору як потенційні мішені для впливу іонізуючого випромінювання: частина II — радіаційні церебро-офтальмологічні ефекти у дітей, осіб, експонованих внутрішньоутробно, астронавтів та інтервенційних радіологів / К. М. Логановський, П. А. Федірко, К. В. Куц та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2021. Вип. 26. С. 57-97. doi: 10.33145/2304-8336-2021-26-57-97.
 51. Ризик розвитку макулярної дегенерації у осіб, опромінених антенатально внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС / Т. Ф. Бабенко, П. А. Федірко, Р. Ю. Дорічевська та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2016. Вип. 21. С. 172-177.
 52. Головной мозг та орган зору як потенційні мішені для впливу іонізуючого випромінювання. Частина IV — розлади біокулярного зору плода, спричинені радіаційним впливом in utero: glaucoma in clean/up workers of the Chernobyl NPP accident and residents of contaminated areas. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2017;22:332-338.
 40. Donders FC. Die anomalien der refraction und akkomodation des auges. Wien; 1866. 68 p.
 41. Sergienko NM, Fedirko PA. Accommodative function of eyes in persons exposed to ionizing radiation. *Ophthalm Res.* 2002;34(4): 192-194. doi: <https://doi.org/10.1159/000063879>.
 42. Fedirko P, Garkava N. Microcirculation violations of the conjunctiva in cleanup workers of the Chernobyl NPP accident. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2016;21:345-351.
 43. Fedirko PA. [Electrooculographic studies of radiation-exposed individuals.] *Ophthalm J.* 2001;(1):65-67.]
 44. Day R, Gorin M, Eller A. Prevalence of lens changes in ukrainian children residing around Chernobyl. *Health Phys.* 1995;68(5):632-642. doi: <https://doi.org/10.1097/00004032q199505000q00002>.
 45. Fedirko PA, Khilinska VYu. [The condition of the lens in children living in the radiation contamination zone. Analysis of the results of long-term observation]. *J. Ophthalmol. (Ukraine).* 1998;(2):155-158.
 46. Bazyka DA, Sushko VO, Fedirko PA, Babenko TF, Vasylenko WV, Kolosynska OO, et al. Retina vessels changes in Chernobyl nuclear power plant employees who experienced longterm abnormal radiation exposure at the workplace as a result of the occupation of Chernobyl Nuclear Power Plant in 2022. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2022;27:423-430. doi: <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2022-27-423-430>.
 47. Benotmane MA, Trott KR. Epidemiological and experimental evidence for radiation-induced health effects in the progeny after exposure in utero. *Int J Radiat Biol.* 2023;100(9):1264-1275. doi: <https://doi.org/10.1080/09553002.2023.2283088>.
 48. Serdyuchenko VI, Nostopyreva EI. [Refractogenesis in schoolchildren living in a radiation-contaminated territory]. Odessa: Astroprint; 2015. 104 p. Russian.
 49. Babenko TF. [Clinical and epidemiological characteristics of the state of the organ of vision in persons irradiated in utero as a result of the Chernobyl disaster]: [dissertation abstract]. Kyiv: National Research Center for Radiation Medicine of the NAMS of Ukraine; 2013. 23 p. Ukrainian.
 50. Loganovsky KM, Fedirko PA, Marazziti D, Kuts KV, Antypchuk KY, Perchuk IV, et al. Brain and eye as potential targets for ionizing radiation impact: Part II — radiation cerebro-ophthalmic effects in children, persons exposed in utero, astronauts and interventional radiologists. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2021;26:57-97. doi: 10.33145/2304-8336-2021-26-57-97.
 51. Babenko TF, Fedirko PA, Dorichevska RY, Denysenko NV, Samoteikina LA, Tyshchenko OP. The risk of macular degeneration development in persons antenatally irradiated as a result of Chernobyl NPP accident. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2016;21:172-177.
 52. Fedirko P, Pilmane M, Babenko TF, Konopeccka V. Brain and eye as potential targets for ionizing radiation impact. Part IV - fetal radi-

пілотне дослідження. Імуногістохімічні зміни неопромінених м'язів очного яблука при косоокості. Можливий механізм розвитку косоокості в осіб, які зазнали пренатального опромінення / П. Федірко, М. Пильмане, Т. Бабенко, В. Конопечка. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2022. Вип. 27. С. 412-422. doi: 10.33145/2304-8336-2022-27-412-422

53. Distribution and appearance of myosin, dystrophin, and collagen IV in strabismus-affected extraocular muscle tissue compared with control tissue / A. Junga, T. Babenko, P. Fedirko, M. Pilmane. *Journal of International Medical Research*. 2024;52(3). DOI: 10.1177/03000605241233521.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Федірко Павло Андрійович, доктор медичних наук, професор, директор Інституту радіаційної гігієни і епідеміології, завідувач лабораторії радіаційно індукованих захворювань ока ІРГЕ ННЦРМГО, м. Київ, Україна
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2175-9668>

Бабенко Тетяна Федорівна, кандидат медичних наук, учений секретар Інституту радіаційної гігієни і епідеміології, старший науковий співробітник лабораторії радіаційно індукованих захворювань ока ІРГЕ ННЦРМГО, м. Київ, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5704-2709>

Пілмане Мара, доктор медичних наук, професор, директор Інституту Анатомії та Антропології, керівник відділу морфології, Ризький університет Страдзінша, Рига, Латвія
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9804-4666>

Медведовська Наталія Володимирівна, доктор медичних наук, професор, Національна академія медичних наук України, Київ, Україна
ORCID: 0000-0003-3061-6079

Юнга Анна, асистент, Інститут анатомії та антропології, завідувач лабораторії морфології, відділ морфології, Ризький університет Страдзінша, Рига, Латвія
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6650-483X>

Ярошенко Жанна Степанівна, кандидат медичних наук, медичний директор ННЦРМГО
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2078-5189>

Дорічевська Раїса Юхимівна, науковий співробітник, лабораторія радіаційно індукованих захворювань ока, Інститут радіаційної гігієни і епідеміології ННЦРМГО, м. Київ, Україна
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0666-1067>

Гарькава Наталія Анатоліївна, кандидат медичних наук, офтальмолог ТОВ «Дніпромедінвест», м. Дніпро, Україна
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3160-3819>

ation-induced binocular vision disorders: a pilot study. immunohistochemical changes of non/irradiated eyeball muscles affected by strabismus. evidence of a possible mechanism of the strabismus development in persons exposed to fetal radiation. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2022;27:412-422. doi: 10.33145/2304-8336-2022-27-412-422.

53. Junga A, Babenko T, Fedirko P, Pilmane M. Distribution and appearance of myosin, dystrophin, and collagen IV in strabismus-affected extraocular muscle tissue compared with control tissue. *Journal of International Medical Research*. 2024;52(3). <https://doi.org/10.1177/03000605241233521>.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Pavlo A. Fedirko, MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of the Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology (IRHE), Head of the Laboratory of Radiation-Induced Eye Diseases of the IRHE, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2175-9668>

Tetyana F. Babenko, MD, PhD, Candidate of Medical Sciences, Scientific Secretary of the Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, Senior Researcher of the Laboratory of Radiation-Induced Eye Diseases of the IRHE, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5704-2709>

Mara Pilmane, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of the Institute of Anatomy and Anthropology, Head of the Department of Morphology, Riga Stradins University: Riga, Riga, LV

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9804-4666>

Natalia V. Medvedovska, MD, PhD, Dr. Med. Sci: Professor, National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: 0000-0003-3061-6079

Anna Junga, assistant, Head of the Laboratory of Morphology, Department of Morphology, Institute of Anatomy and Anthropology, Riga Stradins University: Riga, Riga, LV
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6650-483X>

Zhanna S. Yaroshenko, Candidate of Medical Sciences, Medical Director of the Clinic, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2078-5189>

Raisa Y. Dorichevska, MD, Researcher, Laboratory of Radiation-Induced Eye Diseases, IRHE, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0666-1067>

Natalia A. Garkava, Candidate of Medical Sciences, Ophthalmologist of «Dnipromedinvest» LLC, Dnipro State Medical University, Dnipro, Ukraine
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3160-3819>