

УДК: 617.831+617.735 : 616-001.28

Т. Ф. Бабенко¹, К. М. Логановський¹, Т. К. Логановська¹, Н. В. Медведовська²,
О. О. Колосинська¹, Н. А. Гарькава³, К. В. Куц¹, К. Ю. Антипчук¹, І. В. Перчук¹,
Г. Ю. Крейніс¹, Р. Ю. Дорічевська¹, Ю. В. Єфімова¹, П. А. Федірко¹✉¹Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Ілленка, 53, Київ, 04050, Україна²Науково-координаційне управління Національної академії медичних наук України, вул. Герцена, 12, м. Київ, 04050, Україна³Державний заклад «Дніпропетровська медична академія Міністерства охорони здоров'я України», вул. Вернадського, 9, м. Дніпро, 49044, Україна

ГОЛОВНИЙ МОЗОК ТА ОРГАН ЗОРУ ЯК ПОТЕНЦІЙНІ МІШЕНІ ДЛЯ ВПЛИВУ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ: ЧАСТИНА III – ОСОБЛИВОСТІ МОРФОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СІТЧАСТОЇ ОБОЛОНКИ ТА АМПЛІТУДА І ЛАТЕНТНІСТЬ КОМПОНЕНТІВ ЗОРОВИХ ВИКЛИКАНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ У ОПРОМІНЕНИХ ВНУТРІШНЬОУТРОБНО ОСІБ

Однією з актуальних проблем сучасної радіобіології є визначення особливостей вияву радіаційно обумовлених ефектів не тільки при різних дозових навантаженнях, а й на різних стадіях розвитку організму. У попередніх повідомленнях ми підсумували наявні дані, які свідчать, що в певні вікові періоди спостерігається порівняльне прискорення розвитку радіаційно індукованих патологічних змін ока і головного мозку. Дослідження й оцінка ризику розвитку можливої офтальмологічної і неврологічної патології у віддалених періодах після контамінації територій радіоактивними речовинами можливі на підставі даних спостереження за станом зорового аналізатора у осіб, які зазнали внутрішньоутробного опромінення в 1986 році. Тому проведено паралельне вивчення морфометричних параметрів сітківки, амплітуди і латентності компонентів викликаних зорових потенціалів у опромінені *in utero* осіб.

Мета: провести оцінку морфометричних параметрів сітківки, амплітуди і латентності компонентів викликаних зорових потенціалів у внутрішньоутробно опромінені осіб.

Матеріали і методи. Використано результати обстежень 16 осіб, опромінені внутрішньоутробно внаслідок Чорнобильської катастрофи; групою порівняння були мешканці м. Києва відповідного віку (25 осіб). Оптичну когерентну томографію здійснювали на установці Cirrus HD-OCT, застосована методика дослідження Masular Cube 512x128. Паралельно проводили вивчення зорових викликаних потенціалів на обернений патерн, аналізували потиличні відведення. Реєстрували зорові викликані потенціали на реверсивний шаховий патерн (VER, ЗВПШП) – електрофізіологічний тест, який є зоровою відповіддю на різку зміну контрасту зображення при пред'явленні реверсивного зображення шахової дошки.

Результати. У опромінені внутрішньоутробно осіб у віці 22–25 років спостерігалось вірогідне збільшення товщини сітківки в фовеолі, виявлено тенденцію до збільшення товщини сітківки в зонах навколо фовеоли. При реєстрації зорових викликаних потенціалів на реверсивний шаховий патерн в цій групі виявлено наявність тенденції до зменшення амплітуд компонентів (N75, P100, N145, P200) у правій і лівій тім'яно-потилічних ділянках та до асиметричних змін латентності цих компонентів.

Висновки. Ранні фовеолярні зміни, зафіксовані при ОКТ, і зменшення амплітуд компонентів зорових викликаних потенціалів на реверсивний шаховий патерн у віці 22–25 років можуть свідчити про ризик розвитку у пацієнтів, опромінені внутрішньоутробно, ранньої вікової макулярної дегенерації, а також підвищений ризик ранніх дегенеративних змін центральних структур зорового аналізатора.

Ключові слова: викликані зорові потенціали, оптична когерентна томографія, сітківка, вікова макулярна дегенерація, іонізуюче випромінювання, доза.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2021. Вип. 26. С. 284–296. doi: 10.33145/2304-8336-2021-26-284-296

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

T. F. Babenko¹, K. M. Loganovsky¹, T. K. Loganovska¹, N. V. Medvedovska², O. O. Kolosynska¹, N. A. Garkava³, K. V. Kuts¹, K. Yu. Antipchuk¹, I. V. Perchuk¹, G. Yu. Kreinis¹, R. Yu. Dorichevska¹, Yu. V. Yefimova¹, P. A. Fedirko¹✉,

¹State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yurii Illienka Str., Kyiv, 04050, Ukraine

²Scientific Coordination Department of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, 12 Herzen Str., Kyiv, 04050, Ukraine

³State Institution «Dnipropetrovsk Medical Academy of the Ministry of Health of Ukraine», 9 Vernadskoho Str., Dnipro, 49044, Ukraine

BRAIN AND EYE AS POTENTIAL TARGETS FOR IONIZING RADIATION IMPACT. PART III - FEATURES MORPHOMETRIC RETINAL PARAMETERS, AMPLITUDE AND LATENCY COMPONENTS OF VISUAL EVOKED POTENTIAL IN RADIATION EXPOSED *IN UTERO*

One of the current problems of modern radiobiology is determine the characteristics of the manifestation of radiation-induced effects not only at different dose loads, but also at different stages of development of the organism. In previous reports, we have summarized available evidence that at certain ages there is a comparative acceleration of radiation-induced pathological changes in the eye and brain, and the study and assessment of the risk of possible ophthalmic and neurological pathology in remote periods after contamination of radioactive areas. Data of irradiated in utero individuals are possible on the basis of observation of the state of the visual analyzer in persons who underwent intrauterine irradiation in 1986. Therefore, a parallel study of retinal morphometric parameters, amplitude and latency of components of evoked visual potentials in irradiated *in utero* individuals was performed.

Objective: to evaluate the retinal morphometric parameters, amplitude and latency components of the evoked visual potentials in intrauterine irradiated persons.

Materials and methods. The results of surveys of 16 people irradiated in utero in the aftermath of the Chernobyl disaster were used; the comparison group were residents of Kyiv of the corresponding age (25 people). Optical coherence tomography was performed on a Cirrus HD-OCT, Macular Cube 512x128 study technique was used. At the same time, the study of visual evoked potentials on the inverted pattern was performed, and occipital leads were analyzed. Visual evoked potentials were recorded on a reversible chess pattern (VEP) – an electrophysiological test, which is a visual response to a sharp change in image contrast when presenting a reversible image of a chessboard.

Results. In those irradiated in utero at the age of 22–25 years, there was a probable increase in retinal thickness in the fovea, there was a tendency to increase the thickness of the retina in the areas around the fovea. When recording visual evoked potentials on a reversible chess pattern in this group, there was a tendency to decrease the amplitudes of components (N75, P100, N145, P200) in the right and left parieto-occipital areas and asymmetric changes in latency of these components.

Conclusions. Early changes of fovea recorded in OCT and decreasing amplitudes of components of visual evoked potentials on the reversible chess pattern at the age of 22–25 years may indicate a risk of development in patients irradiated in utero, early age-related macular degeneration, as well as increased risk and increased risk structures of the visual analyzer.

Key words: induced visual potentials, optical coherence tomography, retina, age-related macular degeneration, ionizing radiation, dose.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2021;26:284-296. doi: 10.33145/2304-8336-2021-26-284-296

ВСТУП

Однією з актуальних проблем сучасної радіобіології є визначення особливостей вияву радіаційно обумовлених ефектів не тільки при різних дозових навантажен-

INTRODUCTION

One of the current problems of modern radiobiology is to determine the characteristics of the manifestation of radiation-induced effects not only at

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

нях, а й на різних стадіях розвитку організму [1–3]. У попередніх повідомленнях ми підсумували наявні дані, які свідчать про те, що внаслідок радіаційного впливу відбувається не тільки прискорене старіння [4], а й у певні вікові періоди спостерігається відносно прискорення розвитку радіаційно індукованих патологічних змін ока і головного мозку [2]. Вивчення і оцінка ризику розвитку можливої офтальмологічної та неврологічної патології у віддалений період після контамінації територій радіоактивними речовинами можливі на підставі даних спостереження за станом зорового аналізатора у осіб, які зазнали внутрішньоутробного опромінення в 1986 році [5–11]. Тому ми дослідили морфометричні параметри сітківки, амплітуду і латентність компонентів викликаних зорових потенціалів у опромінених *in utero* осіб, оскільки використання цих методів дозволяє провести оцінку ранніх змін сітчастої оболонки і зорового аналізатора [12–18] в період, коли пацієнти досягли дорослого віку. За допомогою оптичної когерентної томографії (ОКТ) оцінювали морфометричні параметри макулярної зони сітківки. Застосована технологія нейрофізіологічного тестування зорового аналізатора за допомогою викликаних потенціалів, а саме зорові викликані потенціали на реверсивний шаховий патерн (ЗВПШП) – єдиний електрофізіологічний тест, який оцінює кортикальну активність зорового аналізатора. ЗВПШП є зоровою відповіддю на різку зміну контрасту зображення при пред'явленні реверсивного зображення шахової дошки. Зорова відповідь при реєстрації даного потенціалу є стабільною за своєю конфігурацією та об'єктивно оцінює функцію зорового аналізатора як при патології власне органа зору, так і при патології центральної нервової системи, яка вражає провідні шляхи зорового аналізатора в головному мозку.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Провести оцінку морфометричних параметрів сітківки, амплітуди і латентності компонентів викликаних зорових потенціалів у внутрішньоутробно опромінених осіб.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Використано результати обстежень 16 осіб, опромінених внутрішньоутробно внаслідок Чорнобильської катастрофи; групою порівняння були мешканці м. Києва відповідного віку (25 осіб). У групу опромінених внутрішньоутробно відібрано осіб, народжених у період 26.04.1986 – 26.02.1987 рр., від жінок, вагітних на момент Чорнобильської катаст-

different dose loads, but also at different stages of development of the organism [1–3]. In previous reports, we summarized the available reports that indicate that radiation exposure not only accelerates aging [4], but at certain ages there is a relative acceleration in the development of radiation-induced pathological changes in the eye and brain [2]. The study and assessment of the risk of possible ophthalmic and neurological pathology in remote periods after contamination of areas with radioactive substances is possible on the basis of observation of the visual analyzer in persons who underwent intrauterine exposure in 1986 [5–11]. Therefore, we studied retinal morphometric parameters, amplitude and latency components of evoked visual potentials in irradiated *in utero* individuals, because the use of these methods allows to assess early changes in the retina and visual analyzer [12–18], in the period when patients reach adulthood. Optical coherence tomography (OCT) was used to evaluate morphometric parameters of the macular area of the retina. The applied technology of neurophysiological testing of the visual analyzer with the help of evoked potentials, namely visual evoked potentials on the reversible chess pattern (VEP) – the only electrophysiological test that evaluates the cortical activity of the visual analyzer. VEP is a visual response to a sharp change in image contrast when presenting a reversible image of a chessboard. The visual response in the registration of this potential is stable in its configuration and objectively assesses the function of the visual analyzer in pathology of the visual organ and CNS pathology, which affects the leading pathways of the visual analyzer in the brain.

OBJECTIVE

To evaluate the morphometric parameters of the retina, amplitude and latency of the components of the evoked visual potentials in intrauterine irradiated persons.

MATERIALS AND METHODS

The results of surveys of 16 people irradiated *in utero* as a result of the Chernobyl disaster were used; the comparison group was residents of Kyiv of the corresponding age (25 people). Persons born between April 26, 1986 and February 26, 1987, from pregnant women at the time of the Chernobyl disaster were selected for the group of irradiated *in*

рофи. У подальшому вагітність матерів проходила у радіоактивно «чистих» регіонах та в зоні посиленого радіоекологічного контролю (4-й зоні). Обстеження проводилось в період, коли опромінені *in utero* особи досягли віку ($24,44 \pm 0,17$) років, для порівняння використані результати обстеження осіб віком ($24,72 \pm 0,28$) років ($t = 0,85, p < 0,05$).

Оптичну когерентну томографію (ОКТ) здійснювали на установці Cirrus HD-OCT, застосована методика дослідження Macular Cube 512 x 128 (16 очей). При проведенні дослідження за цією методикою в макулярній зоні оцінювали наявність фовеоли, наявність шару нервових волокон, зовнішнього плексиформного шару, внутрішнього плексиформного шару, шару фоторецепторів, шару зовнішніх сегментів фоторецепторів, шару пігментного епітелію, шару хоріокапілярів і глибших шарів судинної оболонки. Установка визначала товщину сітківки в 9 зонах, наведених на рис. 1.

Ми обраховували середню товщину сітківки в кожній із цих зон для кожного ока окремо в кожній із груп – опромінені і вікового контролю до них. Так само обраховували середні дані для: Central Subfield Thickness – центральної товщини сітківки; Cube Volume – об'єму сітківки; Cube Average Thickness – середньої товщини сітківки в зоні вимірювання.

Також реєстрували зорові викликані потенціали на реверсивний шаховий патерн (ЗВПШП) – електрофі-

in utero. Their mothers' pregnancies took place in radioactively «clean» regions and in the zone of enhanced radioecological control (zone 4). The survey was conducted in the period when irradiated *in utero* reached the age of (24.44 ± 0.17) years, for comparison used the results of the survey of persons aged (24.72 ± 0.28) years ($t = 0.85, p < 0.05$),

Optical coherence tomography was performed on a Cirrus HD-OCT, Macular Cube 512 x 128 (16 eyes) test technique was used. The study of Macular Cube 512 x 128 in the macular area evaluated the presence of the fovea, the presence of a layer of nerve fibers, outer plexiform layer, inner plexiform layer, photoreceptor layer, layer of outer photoreceptor segments, pigment epithelial layer, choriocapillary layer and choriocapillary layer. The installation estimated the thickness of the retina in 9 zones, shown in Fig. 1.

We calculated the average thickness of retina in each of these areas for each eye separately in each group – the irradiated and age control to them. We also calculated the average data for: Central Subfield Thickness – central retinal thickness; Cube Volume – the volume of the retina; Cube Average Thickness – the average thickness of retina in the measurement area.

Visual evoked potentials were also recorded for the reversible chess pattern (VEP) – an electro-

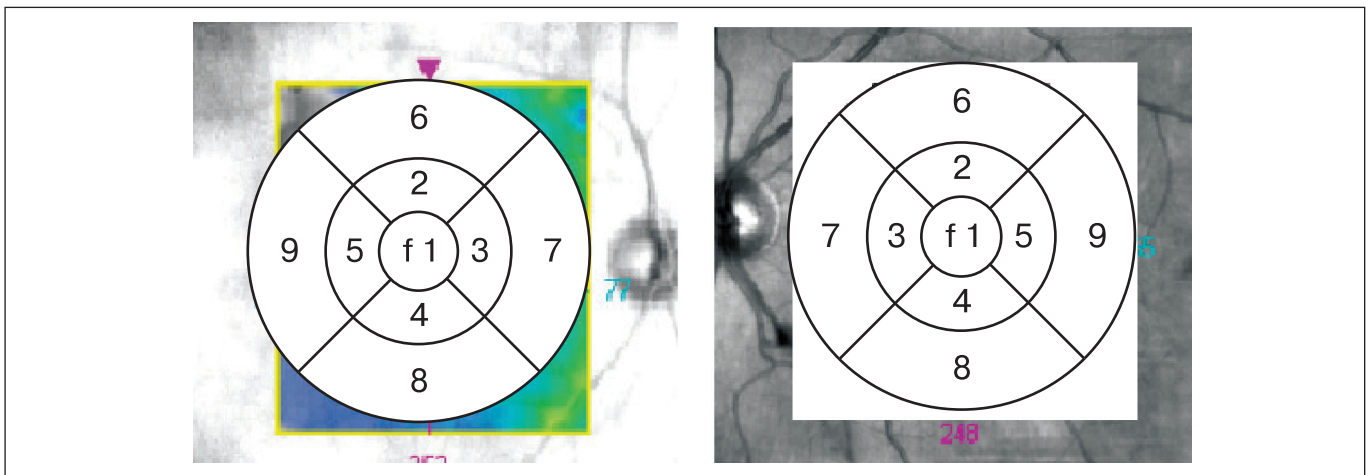


Рисунок 1. Зони сітківки, в яких оцінювали товщину сітківки: а) для правого ока; б) для лівого ока
f – фовеола; 1 – фовеолярна зона; 2 – верхній внутрішній сектор навколофовеолярної зони; 3 – назальний внутрішній сектор навколофовеолярної зони; 4 – нижній внутрішній сектор навколофовеолярної зони; 5 – темпоральний внутрішній сектор навколофовеолярної зони; 6 – верхній зовнішній сектор навколофовеолярної зони; 7 – назальний зовнішній сектор навколофовеолярної зони; 8 – нижній зовнішній сектор навколофовеолярної зони; 9 – темпоральний зовнішній сектор навколофовеолярної зони

Figure 1. Areas of the retina in which the thickness of the retina was estimated: a) for the right eye; b) for the left eye

f – foveola; 1 – foveolar zone; 2 – upper inner sector of the parafoveal zone; 3 – nasal inner sector of the parafoveal zone; 4 – lower inner sector of the parafoveal zone; 5 – temporal inner sector of the parafoveal zone; 6 – upper outer sector of the parafoveal zone; 7 – nasal outer sector of the parafoveal zone; 8 – lower outer sector of the parafoveal zone; 9 – temporal outer sector of the parafoveal zone

зіологічний тест, який є відповіддю на різку зміну контрасту зображення при пред'явленні реверсивного зображення шахової дошки. Використовували реверсивний шаховий патерн з високим (понад 50 %) контрастом чорних і білих клітинок з монокулярною стимуляцією повного поля зору з фіксацією погляду на центральну точку. Частота реверсії обертання шахових патернів становила 1 Гц при загальній кількості обертань 60. Розмір комірки патерну складав 29 хвилин. Реєстрацію біоелектричної активності головного мозку проводили за допомогою чашкоподібних срібно-хлорсрібних електродів (Ag-AgCl), накладених за допомогою літєвого гелю, потенціали записували за допомогою комп'ютерного 24-канального електроенцефалографа «BRAINTEST» виробництва науково-виробничого підприємства «DX-системи» (м. Харків, Україна).

При проведенні дослідження враховували такі параметри зорових викликаних потенціалів (ЗВП): N75 латентність; N75 амплітуда; P100 латентність; P100 амплітуда; N 145 латентність; N145 амплітуда; P200 латентність; P200 амплітуда.

Окремо обчислювали параметри для ЗВПШП з правого і лівого тім'яно-потиличних відведень.

Приклад кривої ЗВПШП для правого потиличного відведення (інвертованої) наведено на рис. 2.

Для оцінки результатів обстеження використані статистичні методи: обчислення середніх значень кількісних показників, коефіцієнта кореляції, оцінка вірогідності різниці за методом Ст'юдента.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У результаті проведення обстежень за методикою Macular Cube 512 × 128 було встановлено, що у опромінених внутрішньоутробно осіб визначалися ті ж самі шари сітківки, що присутні і в нормі (рис. 3).

physiological test that is a response to a sharp change in image contrast when presenting a reversible image of a chessboard. A reversible chess pattern with a high (over 50 %) contrast of black and white cells with monocular stimulation of the full field of view with fixation of the gaze on the central point was used. The frequency of revers chess patterns was 1 Hz with a total speed of 60. The cell size of the pattern was 29 minutes. The bioelectrical activity of the brain was recorded using cup-shaped silver-silver-silver electrodes (Ag-AgCl) superimposed with lithium gel, the potentials were recorded using a computer 24-channel electroencephalograph «BRAINTEST» produced by the research and production enterprise («DX» Kharkiv, Ukraine).

The following parameters of VEP were taken into account during the study; N75 latency, N75 amplitude; P100 latency; P100 amplitude; N 145 latency; N145 amplitude; P200 latency; P200 amplitude.

The parameters for VEP from the right and left parieto-occipital leads were calculated separately.

An example of the SVP curve for the right occipital lead (inverted) is shown in Fig. 2.

Statistical methods were used to evaluate the results of the survey: calculation of average values of quantitative indicators, estimation of the probability of difference by the Student's method.

RESULTS AND DISCUSSION

As a result of examinations by the method of Macular Cube 512 × 128 it was found that irradiated persons *in utero* were determined by the same layers of the retina, which are released normal

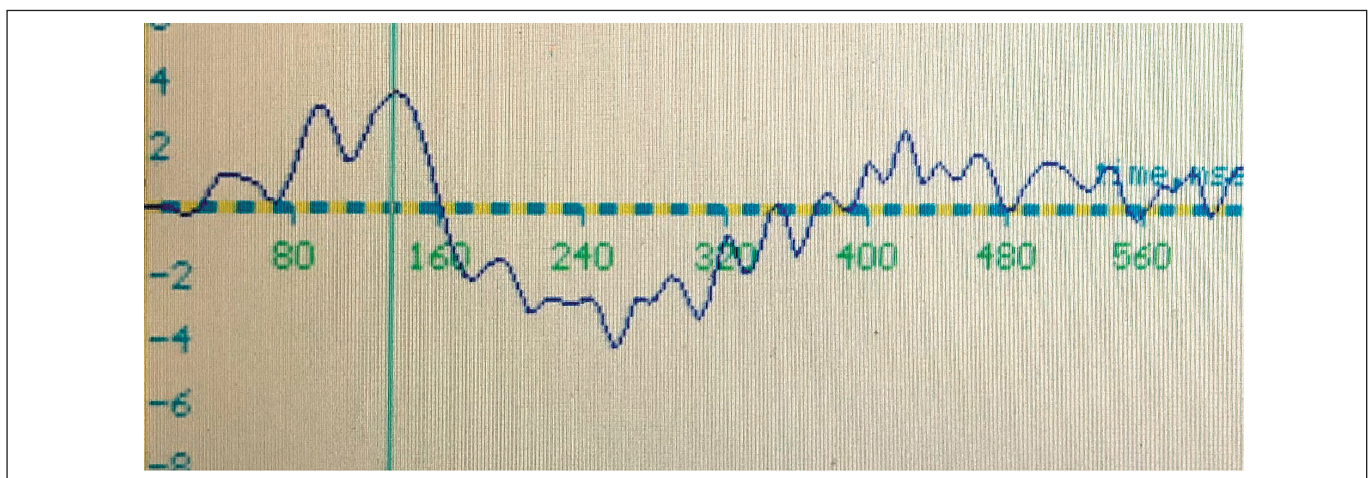


Рисунок 2. Приклад кривої ЗВПШП для правого тім'яно-потиличного відведення (крива інвертована)

Figure 2. Example of VEP curve for right parieto-occipital lead (inverted curve)

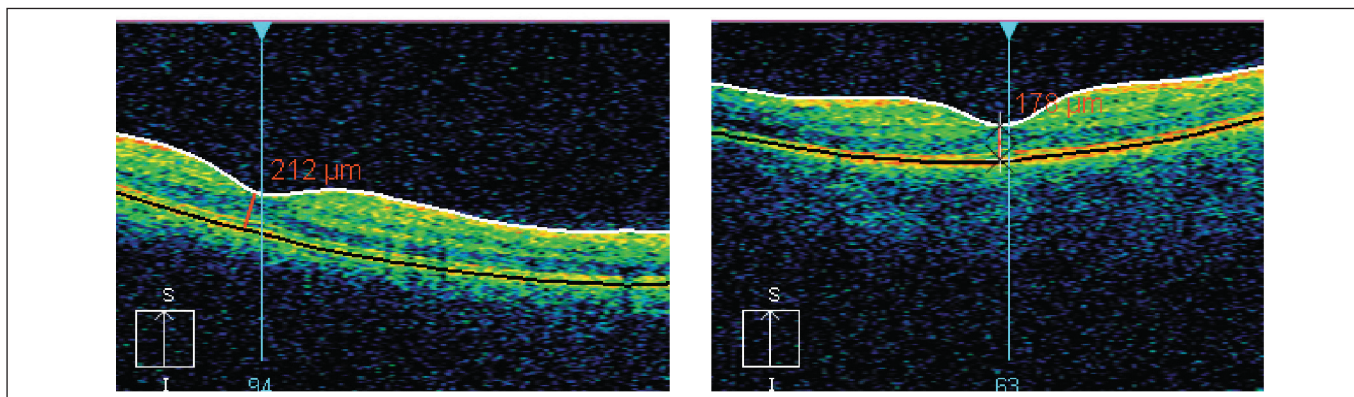


Рисунок 3. Сітківка макулярної зони: а) особи, опроміненої внутрішньоутробно; б) особи контрольної групи

Figure 3. Retina of the macular area: a) irradiated *in utero*; b) persons of the control group

Оскільки пацієнти зазнали радіаційного впливу в період розвитку, наявність всіх відомих шарів сітківки у них важлива.

У той же час обрахунок середньої товщини сітківки в фовеолі показав, що різниця між групою опромінених внутрішньоутробно осіб і контрольною групою була вірогідною. Так, у фовеолі товщина сітківки становила в групі опромінених внутрішньоутробно осіб ($197,75 \pm 5,48$) мкм, в групі контролю – ($181 \pm 5,01$) мкм, $p < 0,05$, різниця вірогідна. Таким чином, товщина сітківки у опромінених *in utero* була більшою, ніж у контролі, на 9,25 %. Для такої надзвичайно тонкої структури, як фовеола, це достатньо значна величина. Зміна товщини сітківки в фовеолі може свідчити, зокрема, про ризик розвитку в подальшому макулярної дегенерації.

У зоні, розташованій від фовеоли назально, середня товщина сітківки становила в групі опромінених внутрішньоутробно ($326,63 \pm 4,14$) мкм, в групі контролю – ($325,79 \pm 3,49$) мкм, $p > 0,05$; в зоні, розташованій від фовеоли темпорально, середня товщина сітківки становила в групі опромінених внутрішньоутробно ($308,81 \pm 2,6$) мкм, у групі контролю – ($310,29 \pm 2,74$) мкм, різниця невірогідна. Невірогідною була різниця і в зонах на 12-й і 6-й годинах (табл. 1).

У віддаленій від фовеоли зоні різниця в товщині сітківки між опроміненими внутрішньоутробно і контрольною до них групою не була вірогідною. Параметри товщини сітківки в цих зонах для обох груп продемонстровано у табл. 2 і на рис. 4.

Центральна товщина сітківки, об'єм сітківки середня товщина сітківки в зоні вимірювання для групи опромінених внутрішньоутробно осіб вірогідно не відрізнялись від відповідних даних для контрольної групи (табл. 3).

(Fig. 3). Because patients are exposed to radiation during development, the presence of all known retinal layers is important.

At the same time, the calculation of the average retinal thickness in the fovea showed that the difference between the group of irradiated persons *in utero* and the control group was significant. Thus, in the fovea, the retinal thickness in the group irradiated *in utero* was (197.75 ± 5.48) μm , in the control group – (181 ± 5.01) μm , $p < 0.05$, the difference is significant. Thus, the retinal thickness in irradiated *in utero* was greater than in the control by 9.25 %. Changes in retinal thickness in the fovea may indicate, in particular, the risk of developing macular degeneration in the future.

In the area located from the fovea nasally, the average retinal thickness in the group irradiated *in utero* was (326.63 ± 4.14) μm , in the control group – (325.79 ± 3.49) μm , $p > 0.05$; in the area located from the fovea temporally, the average retinal thickness in the group irradiated *in utero* was (308.81 ± 2.6) μm , in the control group – (310.29 ± 2.74) μm , the difference is not significant. The difference in the zones at 12 and 6 o'clock was also not significant (Table 1).

In the area far from the fovea, the difference in retinal thickness between those irradiated *in utero* and the control group to them was not significant. The retinal thickness parameters of these zones for both groups are shown in Table 2 and Fig. 4.

Central retinal thickness, retinal volume the average retinal thickness in the measurement area for the group of irradiated *in utero* probably did not differ from the corresponding data for the control group (Table 3).

Таблиця 1

Товщина сітківки в макулярній зоні у групі осіб, опромінених внутрішньоутробно, в порівнянні з контролем (мкм)

Table 1

The thickness of the retina in the macular area in the group irradiated *in utero* compared with the control (µm)

Зона сітківки / Retinal area	Опромінені внутрішньоутробно Irradiated in utero	Контроль / Control	t
Фовеола / Fovea	197,75 ± 3,89*	181,0 ± 3,01	2,26
Фовеолярна зона / Foveolar area	259,56 ± 5,67	248,29 ± 6,65	1,29
Парафовеолярна зона вгорі / Parafoveol zone at the top	317,13 ± 3,8	325,29 ± 2,85	1,72
Парафовеолярна зона назально / Parafoveol zone nasally	326,63 ± 4,14	325,79 ± 3,49	0,16
Парафовеолярна зона внизу / Parafoveol zone below	317,25 ± 4,38	321,0 ± 3,28	0,69
Парафовеолярна зона темпорально / Parafoveol zone temporal	308,81 ± 2,6	310,29 ± 2,74	0,39

Примітка. * – різниця вірогідна, $p < 0,05$
Note. * – the difference is probable, $p < 0.05$

Таблиця 2

Товщина сітківки правого ока в парамаккулярній зоні у групі осіб, опромінених внутрішньоутробно, в порівнянні з контролем (мкм)

Table 2

The thickness of the retina of the right eye in the paramacular area in the group irradiated *in utero* compared with the control (µm)

Зона сітківки / Retinal area	Опромінені внутрішньоутробно Irradiated in utero	Контроль / Control	t
Парамаккулярна зона вгорі / Paramacular area above	278,19 ± 2,98	284,43 ± 3,14	1,44
Парамаккулярна зона назально / Paramacular area nasally	300,88 ± 5,7	303,64 ± 3,61	0,41
Парамаккулярна зона внизу / Paramacular area below	277,69 ± 6,14	272,57 ± 3,38	0,73
Парамаккулярна зона темпорально / Paramacular area temporally	262,19 ± 2,28	263,79 ± 2,71	0,45

Таблиця 3

Центральна товщина сітківки, об'єм сітківки, середня товщина сітківки в зоні вимірювання опромінених внутрішньоутробно осіб в порівнянні з контролем

Table 3

Central retinal thickness, retinal volume, average retinal thickness in the measurement area irradiated *in utero* compared with control

Група Group	Центральна товщина сітківки, мкм Central retinal thickness, µm	Об'єм сітківки, мм ² Retinal volume, mm ²	Середня товщина сітківки в зоні вимірювання, мкм The average thickness of the retina in the measurement area, µm
Опромінені внутрішньоутробно Irradiated in utero	M	259,56	10,16
	±m	5,67	0,10
Контроль Control	M	248,29	10,21
	±m	6,65	0,12

Були проведені відповідні розрахунки для кожного ока окремо. Вони також засвідчили наявність вірогідних змін товщини сітківки – товщина сітківки в фовеолі правого ока становила (195,88 ± 4,6) мкм в групі осіб, опромінених внутрішньоутробно, в порівнянні з (181,0 ± 3,47) мкм в контролі ($t = 2,68$, $p < 0,05$); в інших ділянках макулярної зони різниця вірогідною не була.

Appropriate calculations were performed for each eye separately. They also showed probable changes in retinal thickness – retinal thickness in the fovea of the right eye was (195.88 ± 4.6) in the group irradiated *in utero* compared with (181.0 ± 3.47) µm in the control ($t = 2.68$, $p < 0,05$); in other parts of the macular area the difference was not significant.

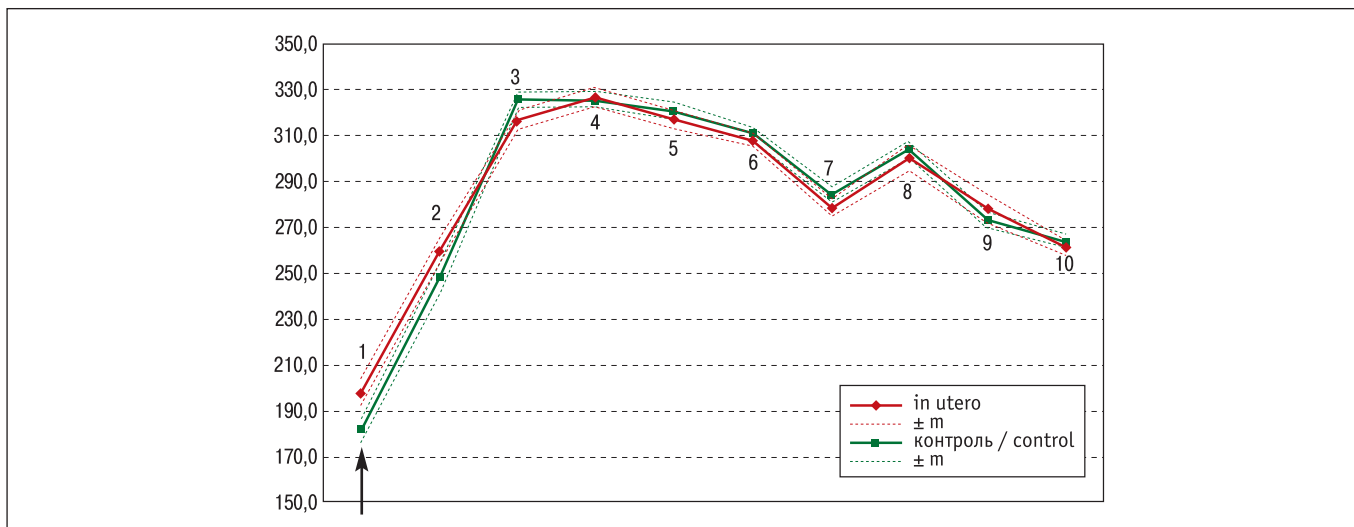


Рисунок 4. Середня товщина сітківки в парамакулярній зоні у опроміненних внутрішньоутробно осіб у порівнянні з контролем (мкм)

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 4. The average retinal thickness in the paramacular area in irradiated in utero compared with the control, µm

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

Таким чином, у опроміненних внутрішньоутробно спостерігалось вірогідне збільшення товщини сітківки в фовеолі, виявлено і невірогідну тенденцію до збільшення товщини сітківки в зонах навколо фовеоли. Збільшення товщини сітківки на 9,25 % у порівнянні з контролем свідчить про зміни стану сітківки у опроміненних внутрішньоутробно осіб, навіть якщо ці зміни поки що не супроводжуються видимим розвитком макулярної дистрофії.

Результати паралельно проведеної реєстрації зорових викликаних потенціалів на реверсивний шаховий патерн у даній групі внутрішньоутробно опроміненних осіб засвідчили наявність тенденції до зменшення амплітуд компонентів (N75, P100, N145, P200) у правій і лівій тім'яно-потиличних ділянках у порівнянні з контролем (рис. 5, 6).

Латентність компонентів ЗВПШП змінювалась асиметрично (рис. 7, 8), проявлялась тенденція до їх зменшення у лівій тім'яно-потиличній ділянці порівняно з правою.

Таким чином, при обстеженні опроміненних внутрішньоутробно осіб у період, коли вони увійшли в дорослий вік, виявлено вірогідне збільшення товщи-

Thus, in those irradiated *in utero*, a probable increase in the thickness of the retina in the fovea was observed, and a non-significant tendency to increase the thickness of the retina in the areas around the fovea was revealed. Increase in retinal thickness by 9.25 % compared with controls indicates significant changes in retinal status in irradiated *in utero*, even if these changes are not accompanied by visible macular degeneration.

The results of the registration of visual evoked potentials on the reversible chess pattern in this group of intrauterine irradiated individuals showed a tendency to reduce the amplitudes of components (N75, P100, N145, P200) in the right and left parieto-occipital areas compared with control (Fig. 5, 6).

The latency of the components of VEP changed asymmetrically (Fig. 7, 8), there was a tendency to reduce them in the left parieto-occipital region in comparison with the right.

Thus, examination of irradiated persons *in utero* in the period when they entered adulthood, revealed a probable increase in retinal thickness in

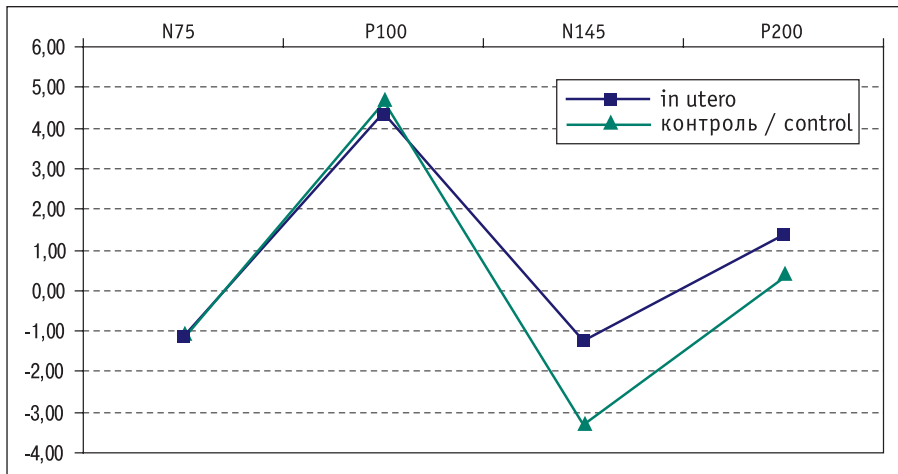


Рисунок 5. Амплітуди компонентів ЗВПШП (N75, P100, N145, P200) у правій тім'яно-потиличній ділянці у внутрішньоутробно опромінених осіб у порівнянні з віковим контролем

Figure 5. Amplitudes of the components of VEP (N75, P100, N145, P200) in the right parieto-occipital region in intrauterine irradiated persons compared with age control

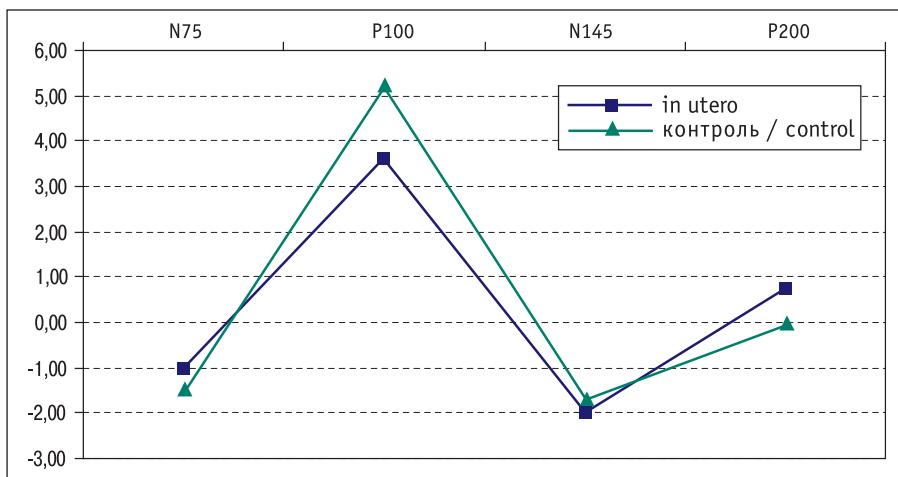


Рисунок 6. Амплітуди компонентів ЗВПШП (N75, P100, N145, P200) у лівій тім'яно-потиличній ділянці у внутрішньоутробно опромінених осіб у порівнянні з віковим контролем

Figure 6. Amplitudes of the VEP components (N75, P100, N145, P200) in the left parieto-occipital region in intrauterine irradiated persons compared with age control

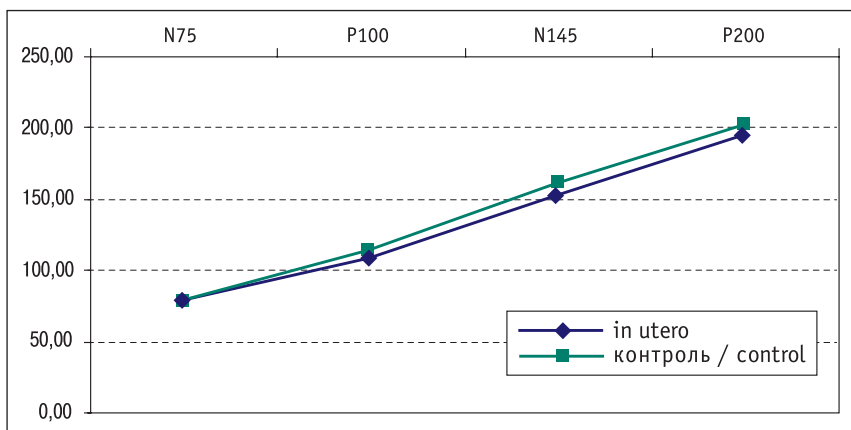


Рисунок 7. Латентності компонентів ЗВПШП (N75, P100, N145, P200) у правій тім'яно-потиличній ділянці у внутрішньоутробно опромінених осіб у порівнянні з віковим контролем

Figure 7. Latencies of VEP components (N75, P100, N145, P200) in the right parieto-occipital region in intrauterine irradiated persons compared with age control

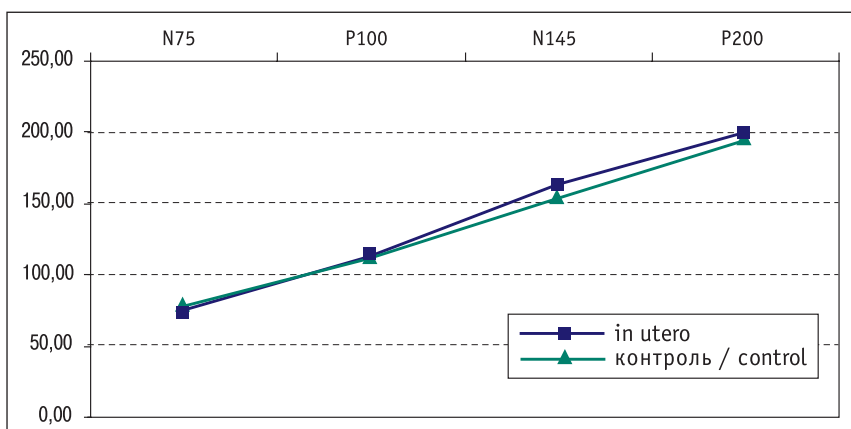


Рисунок 8. Латентності компонентів ЗВПШП (N75, P100, N145, P200) у лівій тім'яно-потиличній ділянці у внутрішньоутробно опромінених осіб у порівнянні з віковим контролем

Figure 8. Latencies of VEP components (N75, P100, N145, P200) in the left parieto-occipital region in intrauterine irradiated persons compared with age control

ни сітківки в фовеолі в порівнянні з віковим контролем і тенденцію до збільшення товщини сітківки в зонах навколо фовеоли. Як нами було показано раніше [10], вже у віковій групі до 30 років у опромінених антенатально осіб з'являються макулярні дегенерації, що за клінічною картиною нагадують вікову макулярну дегенерацію, яка, всупереч звичним нормам, виникла надзвичайно рано.

Зменшення амплітуд компонентів зорових викликаних потенціалів на реверсивний шаховий патерн також може свідчити про тенденції до раннього розвитку дегенеративних процесів.

Таким чином, ранні фовеолярні зміни, зафіксовані при ОКТ, і зменшення амплітуд компонентів зорових викликаних потенціалів на реверсивний шаховий патерн у віці 22–25 років можуть свідчити про ризик розвитку у пацієнтів, опромінених внутрішньоутробно, ранньої вікової макулярної дегенерації, а також підвищений ризик ранніх дегенеративних змін центральних структур зорового аналізатора.

ВИСНОВКИ

У опромінених внутрішньоутробно осіб у віці 22–25 років спостерігалось вірогідне збільшення товщини сітківки в фовеолі в порівнянні з віковим контролем, виявлено тенденцію до збільшення товщини сітківки в зонах навколо фовеоли. При реєстрації зорових викликаних потенціалів на реверсивний шаховий патерн у цій групі спостерігається наявність тенденції до зменшення амплітуд компонентів (N75, P100, N145, P200) у правій і лівій тім'яно-потиличних ділянках і до асиметричних змін латентності цих компонентів.

Ранні фовеолярні зміни, зафіксовані при ОКТ, і зменшення амплітуд компонентів зорових викликаних потенціалів на реверсивний шаховий патерн у віці 22–25 років можуть свідчити про ризик розвитку у пацієнтів, опромінених внутрішньоутробно, ранньої вікової макулярної дегенерації, а також підвищений ризик ранніх дегенеративних змін центральних структур зорового аналізатора.

Конфлікт інтересів

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

1. Neurodevelopmental effects of low dose ionizing radiation exposure: A systematic review of the epidemiological evidence / E. Pasqual, M.

the fovea compared with age control and a tendency to increase retinal thickness in the areas around the foveola. As we showed earlier [10], already in the age group up to 30 years, antenatally irradiated persons develop macular degeneration, which clinically resembles age-related macular degeneration, which, contrary to customary norms, occurred extremely early.

The decrease in the amplitudes of the components of visual evoked potentials on the reversible chess pattern may also indicate a tendency to the early development of degenerative processes.

Thus, early foveolar changes recorded in OCT and a decrease in the amplitudes of the components of visual evoked potentials on the reversible chess pattern at the age of 22–25 years may indicate a risk of development in patients, irradiated *in utero*, early age-related macular degeneration, and increased degenerative changes in the central structures of the visual analyzer.

CONCLUSIONS

In irradiated persons *in utero* aged 22–25 years, there was a probable increase in retinal thickness in the fovea compared with age control, there was a tendency to increase retinal thickness in the areas around the fovea. When registering visual evoked potentials on a reversible chess pattern in this group, there is a tendency to decrease the amplitudes of components (N75, P100, N145, P200) in the right and left parieto-occipital areas and asymmetric changes in latency of these components.

Early foveolar changes recorded in OCT and decreasing amplitudes of components of visual evoked potentials on the reversible chess pattern at the age of 22–25 years may indicate a risk of development in patients irradiated *in utero*, early age-related macular degeneration, as well as increased risk and increased risk. structures of the visual analyzer.

Conflict of interest

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

1. Pasqual E, Bosch de Basea M, Lopez-Vicente M, Thierry-Chef I, Cardis E. Neurodevelopmental effects of low dose ionizing radi-

1. Bosch de Basea, M. Lopez-Vicente et al. *Environ. Int.* 2020. Vol. 136. P. 105371. doi: 10.1016/j.envint.2019.105371.
2. Radiation-induced cerebro-ophthalmic effects in humans / K. N. Loganovsky, D. Marazziti, P. A. Fedirko et al. *Life.* 2020. Vol. 10, no. 4. P. 41. <https://doi.org/10.3390/life10040041>.
3. 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. Федірکو, 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.
4. Sergienko N. M., Fedirko P. A. Accommodative function of eyes in persons exposed to ionizing radiation. *Ophthalm. Res.* 2002. Vol. 34, no. 4. P. 92–194.
5. Disrupted development of the dominant hemisphere following prenatal irradiation / K. Loganovsky, T. Loganovskaja, S. Nechayev et al. *J. Neuropsychiatry. Clin. Neurosci.* 2008. Vol. 20, no. 3. P. 274–291. doi: 10.1176/jnp.2008.20.3.274.
6. Loganovsky K., Loganovskaja T., Kuts K. Psychophysiology research in the detection of ionizing radiation effects. *Advances in Psychobiology* / ed. by F. Chiappelli. New York, USA: Nova Science Publisher, 2018. P. 63–152.
7. Loganovskaja T., Loganovsky K. Visual vertex potential and psychopathology of children irradiated in utero. *Int. J. Psychophysiol.* 2000. Vol. 35, no. 1. P. 6.
8. Heiervang K., Mednick S., Sundet K., Rund B. Effect of low dose ionizing radiation exposure in utero on cognitive function in adolescence. *Scandinavian Journal of Psychology.* 2010. Vol. 51, no. 3. P. 210–215. doi: 10.1111/j.1467-9450.2010.00814.x.
9. Heiervang K., Mednick S., Sundet K., Rund B. The Chernobyl accident and cognitive functioning: a study of Norwegian adolescents exposed in utero. *Developmental Neuropsychology.* 2010. Vol. 35, no. 6. P. 643–655. doi: 10.1080/87565641.2010.508550.
10. 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.
11. Федірко П. А., Бабенко Т. Ф., Дорічевська Р. Ю., Гарькава Н. А. Ризик розвитку судинної патології сітківки у опромінених у різному віці осіб внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2015. Вип. 20. С. 467–473.
12. Disorganization of the retinal inner layers as a predictor of visual acuity in eyes with macular edema secondary to vein occlusion / M. Mimouni, O. Segev, D. Dori, et al. *Am. J. Ophthalmol.* 2017. Vol. 182. P. 160–167. doi: 10.1016/j.ajo.2017.08.005.
13. Ahn S. J., Joung J., Lim H. W., Lee B. R. Optical coherence tomography protocols for screening of hydroxychloroquine in Asian patients. *Am. J. Ophthalmol.* 2017. Vol. 184. P. 11–18. doi: 10.1016/j.ajo.2017.09.025.
14. Differences in optical coherence tomography assessment of Bruch membrane openings compared to stereoscopic photography for ation exposure: A systematic review of the epidemiological evidence. *Environ Int.* 2020;136:105371. doi: 10.1016/j.envint.2019.105371.
2. Loganovsky K. N., Marazziti D., Fedirko P. A., Kuts K. V., Antypchuk K. Y., Perchuk I. V. et al. Radiation-induced cerebro-ophthalmic effects in humans. *Life.* 2020;10(4):41. <https://doi.org/10.3390/life10040041>.
3. Loganovsky KM, Fedirko PA, Kuts KV, Marazziti D, Antipchuk KY, Perchuk IV, et al. Brain and visual organ as potential targets for ionizing radiation. Part I. Cerebroophthalmological effects of radiation in participants in the liquidation of the consequences of the Chernobyl accident. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2020;25:90-129. doi: 10.33145/2304-8336-2020-25-90-129.
4. Sergienko NM, Fedirko PA. Accommodative function of eyes in persons exposed to ionizing radiation. *Ophthalm Res.* 2002;34 (4):192-194.
5. Loganovsky K, Loganovskaja T, Nechayev S, Antipchuk Y, Bomko M. Disrupted Development of the dominant hemisphere following prenatal irradiation. *J. Neuropsychiatry. Clin. Neurosci.* 2008;20(3): 274-291. doi: 10.1176/jnp.2008.20.3.274.
6. Loganovsky K, Loganovskaja T, Kuts K. Psychophysiology research in the detection of ionizing radiation effects. In: Francesco Chiappelli, editor. *Advances in Psychobiology.* New York, USA: Nova Science Publisher; 2018. p. 63-152.
7. Loganovskaja T, Loganovsky K. Visual vertex potential and psychopathology of children irradiated in utero. *Int J Psychophysiol.* 2000;35(1):6.
8. Heiervang K, Mednick S, Sundet K, Rund B. Effect of low dose ionizing radiation exposure in utero on cognitive function in adolescence. *Scandinavian Journal of Psychology.* 2010;51(3):210-215. doi: 10.1111/j.1467-9450.2010.00814.x.
9. Heiervang K, Mednick S, Sundet K, Rund B. The Chernobyl accident and cognitive functioning: a study of Norwegian adolescents exposed in utero. *Developmental Neuropsychology.* 2010;35(6): 643-655. doi: 10.1080/87565641.2010.508550.
10. Babenko TF, Fedirko PA, Dorichevskaya RY, Denisenko MV, Samoteykina LA, Tishchenko OP. Risk of macular degeneration in persons irradiated antenatally as a result of the Chernobyl accident. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2016;21:172-177.
11. Fedirko PA, Babenko TF, Dorichevskaya RY, Garkava NA. Risk of retinal vascular pathology in persons of different ages as a result of the Chernobyl accident. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2015;20: 467-473.
12. Mimouni M, Segev O, Dori D, Geffen N, Flores V, Segal O. Disorganization of the retinal inner layers as a predictor of visual acuity in eyes with macular edema secondary to vein occlusion. *Am J Ophthalmol.* 2017;182:160-167. doi: 10.1016/j.ajo.2017.08.005.
13. Ahn SJ, Joung J, Lim HW, Lee BR. Optical coherence tomography protocols for screening of hydroxychloroquine in Asian patients. *Am J Ophthalmol.* 2017;184:11-18. doi: 10.1016/j.ajo.2017.09.025.
14. Mwanza J-C, Huang LY, Budenz DL, Shi W, Huang G, Lee RK. Differences in optical coherence tomography assessment of Bruch

- estimating cup-to-disc ratio / J.-C. Mwanza, L. Y. Huang, D. L. Budenz et al. *Am. J. Ophthalmol.* 2017. Vol. 184. P. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.09.024>
15. Diabetic choroidopathy: Choroidal vascular density and volume in diabetic retinopathy with swept-source optical coherence tomography / J. C. Wang, I. Lains, J. Providencia et al. *Am. J. Ophthalmol.* 2017. Vol. 184. P. 75–83. doi: 10.1016/j.ajo.2017.09.030.
 16. Retinal structures and visual cortex activity are impaired prior to clinical vision loss in glaucoma / M. C. Murphy, I. P. Conner, C. Y. Teng et al. *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6. P. 31464. doi: 10.1038/srep31464.
 17. Гнездицкий В. В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. Москва : МЕДпрессХинформ, 2003. 264 с.
 18. Luck S. J., Kappenman E. S. The Oxford handbook of event-related potential components. Oxford University Press : Academic, 2012. 664 p.
15. Wang JC, Lains I, Providencia J, Armstrong GW, Santos AR, Gil P, et al. Diabetic choroidopathy: Choroidal vascular density and volume in diabetic retinopathy with swept-source optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol.* 2017;184:75–83. doi: 10.1016/j.ajo.2017.09.030.
 16. Murphy MC, Conner IP, Teng CY, Lawrence JD, Safiullah Z, Wang B, et al. Retinal structures and visual cortex activity are impaired prior to clinical vision loss in glaucoma. *Sci Rep.* 2016;6:31464. doi: 10.1038/srep31464.
 17. Gnezditsky W. [Induced brain potentials in clinical practice]. Moscow: MEDpressinform; 2003. 264 p. Russian.
 18. Luck SJ, Kappenman ES. The Oxford handbook of event-related potential components. Oxford University Press: Academic; 2012. 664 p.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Бабенко Тетяна Федорівна, кандидат медичних наук, учений секретар, Інститут радіаційної гігієни і епідеміології ННЦРМ, Київ, Україна, ORCID: 0000-0002-5704-2709

Логановський Костянтин Миколайович, доктор медичних наук, професор, завідувач відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, Київ, Україна, ORCID: 0000-0002-0680-8882

Логановська Тетяна Костянтинівна, кандидат медичних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, м. Київ, ORCID: 0000-0001-7498-1401

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

Куц Костянтин Володимирович, кандидат медичних наук, науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0003-1954-3075

Антипчук Катерина Юрївна, кандидат медичних наук, старший науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, Київ, Україна

Колосинська Олена Олександрівна, кандидат медичних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник провідний науковий співробітник відділу медичної експертизи та лікування наслідків впливу радіаційного опромінення, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, Київ, Україна, ORCID: 0000-0002-2018-3380

Перчук Ірина Вадимівна, кандидат медичних наук, старший науковий співробітник відділу радіаційної

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Tetyana F. Babenko, MD, PhD: Academic Secretary of the Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology Institute, Leading Scientist of Laboratory of Radiation-Induced Eyes Diseases, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-5704-2709

Konstantin N. Loganovsky, MD, PhD, Dr. Med. Sci: Professor, Head of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-0680-8882

Tetyana K. Loganovska, MD, PhD: Senior Researcher, Leading Scientist of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0001-7498-1401

Natalia V. Medvedovska, MD, PhD, Dr. Med. Sci: Professor, National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0003-3061-6079

Kostiantyn V. Kuts, MD, PhD: Scientist (Research Associate) of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID ID: 0000-0003-1954-3075

Katerina Yu. Antypchuk, MD, PhD: Scientist (Research Associate) of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine

Olena O. Kolosynska, MD, PhD: Senior Researcher, Leading Scientist of the Division for Medical Expertise and Treatment of Ionizing Radiation Consequences, Institute of Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-2018-3380

Iryna V. Perchuk, MD, PhD: Senior Scientist of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of

психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, Київ, Україна, ORCID: 0000-0002-2537-2113

Гарькава Наталія Анатоліївна, кандидат медичних наук, асистент кафедри неврології і офтальмології, Державний заклад «Дніпропетровська медична академія МОЗ України», Дніпро, Україна, ORCID: 0000-0003-3160-3819

Крейніс Георгій Юрійович, здобувач ступеню доктора філософії, науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, Київ, Україна, ORCID: 0000-0002-4470-1517

Дорічевська Раїса Юхимівна, науковий співробітник, лабораторія радіаційно індукованих захворювань ока, Інститут радіаційної гігієни і епідеміології ННЦРМ, Київ, Україна, ORCID: 0000-0002-0666-1067

Єфімова Юлія Володимирівна, аспірант, лабораторія радіаційно індукованих захворювань ока, Інститут радіаційної гігієни і епідеміології, ННЦРМ, Київ, Україна

Федірко Павло Андрійович, доктор медичних наук, професор, директор Інституту радіаційної гігієни і епідеміології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID: 0000-0003-2175-9668

Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-2537-2113

Natalia A. Garkava, MD, PhD: Assistant of the Ophthalmology Department, State Institution «Dnipropetrovsk Medical Academy of the Ministry of Health of Ukraine», Dnipro, Ukraine, ORCID: 0000-0003-3160-3819

George Yu. Kreinis, Scientist (Research Associate) of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-4470-1517

Raisa Yu. Dorichevska, MD: Scientist (Research Associate) of Laboratory of Radiation-Induced Eyes Diseases, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-0666-1067

Yuliya V. Yefimova, PhD student of Laboratory of Radiation-Induced Eyes Diseases, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine

Pavlo A. Fedirko, MD, PhD, Dr. Med. Sci: Professor, Director of the Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, Head of Laboratory of Radiation-Induced Eyes Diseases, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0003-2175-9668

Стаття надійшла до редакції 22.07.2021

Received: 22.07.2021