

УДК 575.113:616.89-008.454:616-001.28

К. В. Куц✉, К. М. Логановський

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

ПОСТРАДІАЦІЙНИЙ НЕЙРОКОГНІТИВНИЙ ДЕФІЦИТ В УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС: ГЕРІАТРИЧНІ АСПЕКТИ (частина 2)

Мета: дослідити психофізіологічні характеристики когнітивних розладів віддаленого періоду після впливу іонізуючого випромінювання в учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС похилого віку.

Матеріали та методи. Проспективне клінічне дослідження із зовнішнім та внутрішнім контролем. Обстежена рандомізована вибірка учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) 1986–1987 рр. похилого віку (понад 60 років на момент огляду) з Клініко-епідеміологічного реєстру ННЦРМГО (основна група, $n = 52$) з верифікованою хронічною цереброваскулярною патологією. Група порівняння ($n = 13$) – неекспоновані амбулаторні та стаціонарні пацієнти / обстежувані відділу радіаційної психоневрології Інституту клінічної радіології ННЦРМГО. Внутрішній контроль – УЛНА, опромінені в дозах $< 0,05$ Зв ($n = 12$). Використані психофізіологічні методи (слухові когнітивні викликані потенціали Р300 з топографічним картуванням), методи дескриптивної і варіаційної статистики, параметричні та непараметричні критерії, регресійно-кореляційний аналіз.

Результати. За даними викликаних потенціалів Р300 в УЛНА на ЧАЕС виявлено дифузне порушення інформаційних та когнітивних процесів головного мозку з акцентом у лівій скроневій ділянці при тенденціях до поширення на праву лобно-центральну ділянку. Виявлено достовірне дозозалежне зниження амплітуди когнітивного компонента Р300 у лівій лобно-скроневій ділянці ($r = -0,65$; $p = 0,02$) в УЛНА похилого віку при опроміненні в дозах понад 0,5 Зв. Вперше виявлено дозозалежне зростання латентного періоду компонента Р300 в основній групі УЛНА у правій скроневій та задньоскроневій ділянках: Т4 ($r = 0,31$; $p = 0,01$), Т6 ($r = 0,28$; $p = 0,03$).

Висновки. Методика слухових когнітивних викликаних потенціалів Р300 є інформативною для виявлення та моніторингу нейрокогнітивних розладів у постраждалих Чорнобильської катастрофи літнього віку. Використання сучасних дешевих, доступних та неінвазивних психофізіологічних методів діагностики нейрокогнітивних порушень є доцільним як у межах наукових досліджень, так і в рутинній клінічній практиці. Вперше виявлені об'єктивні психофізіологічні маркери пострадіаційного нейрокогнітивного дефіциту в похилому віці. Вперше виявлені дозозалежні зміни часових характеристик компонента Р300 у правій (субдомантній) гемісфері в УЛНА на ЧАЕС похилого віку. Дані тенденції потребують подальшого спостереження та вивчення.

Ключові слова: Чорнобильська катастрофа; іонізуюча радіація; похилий вік; когнітивні розлади; слухові когнітивні викликані потенціали; Р300.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2025. Вип. 30. С. 449–467. doi: 10.33145/2304-8336-2025-30-449-467

K. V. Kuts✉, K. M. Loganovsky

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

POST-RADIATION NEUROCOGNITIVE DEFICIT IN THE CHORNOBYL CLEAN-UP WORKERS: GERIATRIC ASPECTS (part 2)

Objective: to investigate the psychophysiological characteristics of cognitive disorders in the long term after exposure to ionizing radiation in the elderly participants in the liquidation of the Chernobyl Nuclear Power Plant accident (Chernobyl clean-up workers).

Materials and methods. Prospective clinical study with external and internal control. A randomized sample of elderly participants (attained age over 60 years) in the liquidation of the consequences of the accident at the Chernobyl NPP (ChNPP) in 1986–1987 (Chernobyl clean-up workers) was examined from the Clinical and Epidemiological Registry (CER) of the National Research Center for Radiation Medicine (NRCRM) (main group, $n = 52$) with verified chronic cerebrovascular pathology. Comparison group ($n = 13$) – unexposed outpatients and inpatients/examinees of the Department of Radiation Psychoneurology of the Institute for Clinical Radiology (ICR) of the NRCRM. Internal control – clean-up workers, exposed at doses < 0.05 Sv ($n = 12$). Psychophysiological methods (auditory event-related potentials (ERPs) P300 with topographic mapping), descriptive and variational statistics, parametric and nonparametric criteria, regression-correlation analysis were used.

Results. According to P300, diffuse impairment of information and cognitive processes of the brain lateralized to the left temporal region with a tendency to spread to the right frontal-central region was detected in the main group. A significant dose-dependent decrease in the amplitude of the cognitive component P300 in the left frontal-temporal region ($r = -0.65$; $p = 0.02$) was found in the elderly clean-up workers exposed at doses exceeding 0.5 Sv. For the first time, a dose-dependent increase in the P300 was detected in the main group of clean-up workers in the right temporal and posterior temporal regions: T4 ($r = 0.31$; $p = 0.01$), T6 ($r = 0.28$; $p = 0.03$).

Conclusions. The auditory ERPs P300 technique is informative for detecting and monitoring neurocognitive disorders in the elderly victims of the Chernobyl disaster. The use of modern, inexpensive, accessible, and non-invasive psychophysiological methods for diagnosing neurocognitive disorders is advisable both in scientific research and in routine clinical practice. Objective psychophysiological markers of post-radiation neurocognitive deficits in the elderly have been identified for the first time. Initially, dose-dependent changes in the temporal characteristics of the P300 component in the right (subdominant) hemisphere in the elderly Chernobyl accident survivors have been identified. These trends require further observation and study.

Key words: Chernobyl disaster; ionizing radiation; elderly age; cognitive disorders; auditory ERPs; P300.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2025;30:449-467. doi: 10.33145/2304-8336-2025-30-449-467

ВСТУП

Проблема старіння когорти осіб, постраждалих внаслідок Чорнобильської катастрофи, особливо учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на ЧАЕС, сьогодні набуває значної актуальності та зумовлює суттєвий тягар медико-соціальних наслідків [1]. Проявам прискореного радіаційного старіння, зокрема під впливом малих доз іонізуючого випромінювання (ІВ) та пов'язаних з ним нейрокогнітивних розладів, присвячена значна кількість публікацій [2–5], проте клінічні, психофізіологічні особливості, патогенез і патоморфоз нейрокогнітивних розладів у опромінених осіб в похилому віці, зокрема в УЛНА на ЧАЕС, практично не вивчалися.

INTRODUCTION

The problem of aging in the cohort of people affected by the Chernobyl disaster, especially those who participated in the liquidation of the accident at the Chernobyl NPP (ChNPP), is becoming increasingly relevant today and causes a significant burden of medical and social consequences [1]. A substantial number of publications [2–5] are devoted to the manifestations of accelerated radiation aging, particularly under the influence of low doses of ionizing radiation (IR) and related neurocognitive disorders. However, the clinical and psychophysiological characteristics, pathogenesis, and pathomorphosis of neurocognitive disorders in

✉ Kostiantyn V. Kuts, e-mail: kvk0906@gmail.com

Встановлено, що центральна нервова система (ЦНС) є радіочутливою системою, а ступінь її дисфункції може бути квантифікованим за допомогою сучасних методів дослідження [6, 7]. У багатьох клініко-експериментальних дослідженнях встановлено, що експозиція до ІВ, навіть у діапазоні малих доз, веде до збільшення ризику виникнення раку та можливих неонкологічних наслідків, включаючи атеросклеротичні, серцево-судинні, цереброваскулярні та нейродегенеративні ефекти [8, 9]. Для цереброваскулярної патології встановлені радіаційні ризики при дозах $> 0,1\text{--}0,15$ Гр [10, 11]. Відомо, що нейропсихіатричні розлади після Чорнобильської катастрофи є етіологічно гетерогенними через комбінований вплив ІВ в поєднанні з соціальними та традиційними факторами ризику, передусім віком [12]. Вважається, що ці ефекти є результатом поєднання атеросклеротичних, серцево-судинних, хронічних цереброваскулярних (хвороба малих судин), нейродегенеративних, демієлінізуючих, нейрозапальних та інших процесів. Неприятливий перебіг нервово-психічних розладів у зазначеній когорті пояснюється їхньою багатофакторною екзогенно-соматогенно-органічною природою, де спостерігається сполучення ефектів різних несприятливих радіаційних і нерадіаційних чинників, які можуть посилювати церебральне старіння та нейродегенерацію [13]. Результати більш ніж тридцятирічного спостереження УЛНА на ЧАЕС, переконливо свідчать про ранній початок та агресивний перебіг артеріальної гіпертензії, церебрального атеросклерозу (ЦА) і церебральної хвороби малих судин (ЦХМС) у даній категорії пацієнтів [14]. Використання дифузійно-тензорної 3Т магнітно-резонансної томографії (МРТ) у ранній діагностиці структурних змін білої речовини головного мозку при ЦХМС, асоційованій з артеріальною гіпертензією та ІВ, виявило негативний вплив ІВ на перебіг асоційованої з артеріальною гіпертензією ЦХМС, що проявляється більшою активністю процесів дезорганізації білої речовини головного мозку у вигляді поширеності та схильності до консолідації осередків лейкоареозу [15, 16]. Проте дані дослідження є дорогавартісними, їх проведення вимагає наявності висококваліфікованого персоналу, що обмежує їхнє використання у рутинній клінічній практиці. У багатьох випадках для вивчення нейрофізіологічних особливостей пострадіаційного нейрокогнітивного дефіциту розумною альтернативною можуть виявитись електрофізіологічні методи дослідження біоелектричної активності головного мозку. Вони є дешевими, неінвазивними,

elderly irradiated individuals, particularly in the Chernobyl clean-up workers, have been virtually unexplored.

It has been established that the central nervous system (CNS) is a radiosensitive system, and the degree of its dysfunction can be quantified using modern research methods [6, 7]. Many clinical and experimental studies have demonstrated that exposure to IR, even in low doses, leads to an increased risk of cancer and possible non-oncological effects, including atherosclerotic, cardiovascular, cerebrovascular, and neurodegenerative effects [8, 9]. For cerebrovascular pathology, radiation risks have been identified at doses $> 0.1\text{--}0.15$ Gy [10, 11]. It is known that neuropsychiatric disorders after the Chernobyl disaster are etiologically heterogeneous due to the combined effects of IR in combination with social and traditional risk factors, primarily age [12]. These effects are believed to be the result of a combination of atherosclerotic, cardiovascular, chronic cerebrovascular (small vessel disease — SVD), neurodegenerative, demyelinating, neuroinflammatory, and other processes. The unfavorable course of neuropsychiatric disorders in this cohort is explained by their multifactorial exogenous-somatogenic-organic nature, where there is a combination of the effects of various adverse radiation and non-radiation factors that can exacerbate cerebral aging and neurodegeneration [13]. The results of more than thirty years of observation of the Chernobyl clean-up workers convincingly demonstrate the early onset and aggressive course of arterial hypertension (AH), cerebral atherosclerosis (CA), and cerebral small vessel disease (CSVD) in this category of patients [14]. The use of diffusion tensor 3T magnetic resonance imaging (DT-MRI) in the early diagnosis of structural changes in the white matter of the brain (WMB) in CVD associated with AH and IR, revealed a negative effect of IR on the course of AH-associated SVD, manifested by greater activity of WMB disorganization processes in the form of higher prevalence and tendency to consolidation of leukoaraiosis foci [15, 16]. However, these studies are expensive and require highly qualified personnel, which limits its use in routine clinical practice. In many cases, electrophysiological methods of studying the bioelectrical activity of the brain may be a reasonable alternative for studying the neurophysiological fea-

безпечними для пацієнта і дозволяють отримати об'єктивну інформацію та доказові дані про функціонування церебральних структур з кращою часовою роздільною здатністю, ніж функціональна МРТ [17].

Провідним методологічним підґрунтям сучасної психофізіології є дослідження викликаної біоелектричної активності головного мозку. Для адекватного вирішення клінічних і дослідницьких завдань активно використовується реєстрація викликаних, пов'язаних з подією, потенціалів. Викликані потенціали (ВП) головного мозку — це електрофізіологічні відповіді головного мозку на зовнішні або внутрішні подразники, зареєстровані за допомогою електродів на поверхні шкіри голови [18]. Потенціал, що пов'язаний з подією — це різновид ВП, електрофізіологічний показник, який відображає когнітивну активність головного мозку у відповідь на значущий або рідкісний стимул. Він використовується для оцінки когнітивних функцій, зокрема уваги, пам'яті та швидкості обробки інформації [19]. Потенціали, пов'язані з подією, використовуються протягом багатьох десятиліть для вивчення сприйняття, пізнання, емоцій, неврологічних і психічних розладів, а також розвитку головного мозку протягом життя. Вони складаються з декількох компонентів і відображають специфічні нейрокогнітивні процеси [20–22]. Відомо, що параметри компонента Р300 є такими ж чутливими, як і більшість стандартних біомедичних клінічних тестів, можуть служити мірою когнітивних здібностей для груп здорових і хворих осіб, а методика запису є доступною та економічно вигідною [23, 24]. Завдяки застосуванню сучасних діагностичних технологій дослідження головного мозку *in vivo* — МРТ, комп'ютерної електроенцефалографії (кЕЕГ) і ВП з топографічним картуванням отриманих результатів, нейропсихологічних і нейровізуалізаційних методів стало очевидним, що психопатологічним синдромам притаманні характерні патерни функціонального і структурного порушення головного мозку [25, 26]. Клінічне розпізнавання та об'єктивізація процесів церебрального старіння на продромальній стадії деменції має надзвичайно важливе значення, оскільки відкриває можливості для раннього терапевтичного втручання з метою запобігання або уповільнення прогресування патологічного процесу [27]. Таким чином, визначення психофізіологічних особливостей пострадіаційного нейрокогнітивного дефіциту є надзвичайно важливою проблемою в галузі променевої медицини, радіобіології, нейропсихіатрії, геронтології тощо.

tures of post-radiation neurocognitive deficits. They are inexpensive, non-invasive, safe for the patient, and provide objective information and evidence about the cerebral structures functioning with better temporal resolution than functional MRI [17].

The leading methodological basis of modern psychophysiology is the study of evoked bioelectrical activity of the brain. To adequately solve clinical and research problems, the recording of event-related potentials is actively used. Event-related potentials (ERPs) of the brain are electrophysiological responses of the brain to external or internal stimuli recorded using electrodes on the surface of the scalp [18]. Event-related potentials (ERPs) are a type of EP, an electrophysiological indicator that reflects the cognitive activity of the brain in response to a significant or rare stimulus. It is used to assess cognitive functions, including attention, memory, and information processing speed [19]. ERPs have been used for decades to study perception, cognition, emotions, neurological and mental disorders, and brain development throughout lifespan. They consist of several components and reflect specific neurocognitive processes [20–22]. P300 parameters are known to be as sensitive as most standard biomedical clinical tests, can serve as a measure of cognitive ability for groups of healthy and diseased individuals, and the recording technique is accessible and cost-effective [23, 24]. Thanks to the use of modern imaging technologies for *in vivo* brain research — magnetic resonance imaging (MRI), quantitative electroencephalography (qEEG), and EP with topographic mapping of the results obtained, neuropsychological and neuroimaging methods, it has become clear that psychopathological syndromes are characterized by specific patterns of functional and structural brain disorders [25, 26]. Clinical recognition and objectification of cerebral aging processes in the prodromal stage of dementia is extremely important because it opens up opportunities for early therapeutic intervention to prevent or slow down the progression of the pathological process [27]. Thus, the determination of psychophysiological characteristics of post-radiation neurocognitive deficits is an extremely important problem in the fields of radiation medicine, radiobiology, neuropsychiatry, gerontology, etc.

МЕТА

Дослідити психофізіологічні характеристики когнітивних розладів віддаленого періоду після впливу іонізуючого випромінювання в учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС похилого віку.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дизайн роботи — проспективне клінічне дослідження із зовнішнім та внутрішнім контролем [1]. Протягом 2014–2018 років на базі відділу радіаційної психоневрології Інституту клінічної радіології (ІКР) Державної установи «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України» (ННЦРМГО) обстежена рандомізована вибірка УЛНА на ЧАЕС похилого віку (понад 60 років на момент огляду) з Клініко-епідеміологічного реєстру ННЦРМГО (*основна група*, $n = 52$) з верифікованою хронічною цереброваскулярною патологією, причому вказаний контингент знаходиться під проспективним медичним спостереженням протягом усього життя у післяаварійні роки.

Критеріями включення УЛНА до основної групи були: 1) наявність даних у Клініко-епідеміологічному реєстрі ННЦРМГО; 2) участь в роботах з ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи у 1986–1987 роках; 3) наявність записів щодо доз опромінення; 4) чоловіча стать; 5) праворукість. З метою мінімізації впливу традиційних факторів ризику на показники психометричних і психофізіологічних тестів нами були розроблені критерії виключення з обстеження. Такими критеріями в основній групі були: перенесена гостра променева хвороба (ГПХ), наявність на момент дослідження чи в анамнезі вираженої соматоневрологічної та психічної патології у стадії декомпенсації; черепно-мозкової травми; нейроінфекційних та демієлінізуючих захворювань; зловживання психоактивними речовинами, а також невідповідність критеріям включення. Дослідження проводили відповідно до етичних стандартів Гельсінської декларації 1975 року та її переглянутого варіанту 2000 року.

Залучені пацієнти основної групи на момент останнього обстеження були у віці 60,3–73,7 року, в середньому ($M \pm SD$) — $(64,1 \pm 2,9)$ року. Підгрупа УЛНА, опромінених у дозах 0,0006–0,05 Зв ($n = 12$), використана як *внутрішній контроль* відносно основної групи УЛНА. Дози зовнішнього опромінення обстежених УЛНА на ЧАЕС знаходилися в діапазоні 0,002–1,10 Зв при середній арифметичній дозі ($M \pm SD$) $(0,31 \pm 0,29)$ Зв, середній геометричний

OBJECTIVE

To investigate the psychophysiological characteristics of cognitive disorders in the long term after exposure to ionizing radiation in the elderly participants in the liquidation of the Chernobyl Nuclear Power Plant accident (Chernobyl clean-up workers).

MATERIALS AND METHODS

The **study design** is a prospective clinical study with external and internal control. [1]. A randomized sample of elderly participants (attained age over 60 years) in the liquidation of the consequences of the accident at the Chernobyl NPP (ChNPP) in 1986–1987 (Chernobyl clean-up workers) from the Clinical and Epidemiological Registry (CER) of the National Research Center for Radiation Medicine (NRCRM) was examined in 2013–2018 (*main group*, $n = 52$) with verified chronic cerebrovascular pathology, in addition, this specified contingent has been under prospective medical observation throughout their lives in the post-accident years.

The inclusion criteria for in the main group were: 1) presence in the CER of NRCRM; 2) participation in the liquidation of the consequences of the Chernobyl disaster in 1986–1987; 3) presence of records of radiation doses; 4) male gender; 5) right-handedness. In order to minimize the influence of traditional risk factors on the results of psychometric and psychophysiological tests, we developed exclusion criteria for the survey. These criteria in the main group were: history of acute radiation sickness (ARS), presence at the time of the study or in the medical history of severe somatoneurological and mental pathology in the stage of decompensation; traumatic brain injury; neuroinfectious and demyelinating diseases; substance abuse, as well as non-compliance with the inclusion criteria. The studies were conducted in accordance with the ethical standards of the 1975 Helsinki Declaration and its revised version of 2000.

The patients in the main group were aged 60.3–73.7 years at the time of the last examination, with a mean ($M \pm SD$) age of (64.1 ± 2.9) years. A subgroup of clean-up workers exposed at doses of 0.0006–0.05 Sv ($n = 12$) was used as an *internal control* for the main group of clean-up workers. The external radiation doses of the examined ULNA at the Chernobyl NPP ranged from 0.002 Sv to 1.1 Sv with a mean arithmetic dose ($M \pm SD$) of (0.31 ± 0.29) Sv, a mean geometric dose of 0.16 Sv,

Таблиця 1
Розподіл УЛНА на ЧАЕС за дозами зовнішнього опромінення
Table 1
Distribution of the Chernobyl clean-up workers by external radiation doses

Діапазон доз, Зв Dose range, Sv	n	Середня арифметична доза та стандартне відхилення ($M \pm SD$), Зв Mean dose and standard deviation ($M \pm SD$), Sv
< 0,05 (0,0006–0,05)	12	$0,03 \pm 0,02$
0,05–0,10	6	$0,08 \pm 0,01$
> 0,10–0,25	7	$0,18 \pm 0,04$
> 0,25–0,50	14	$0,34 \pm 0,08$
> 0,50–1,0	11	$0,67 \pm 0,11$
> 1,0 (1,0–5,9)	2	$1,01 \pm 0,04$

дозі 0,16 Зв, медіанній дозі 0,25 Зв. Розподіл обстежених УЛНА на ЧАЕС за дозами зовнішнього опромінення наведено у таблиці 1.

Неекспонована група порівняння ($n = 13$) була сформована з випадковим чином відібраних амбулаторних і стаціонарних пацієнтів / обстежуваних осіб відділу радіаційної психоневрології ІКР ННЦРМГО. Критеріями включення до контрольної групи були: 1) відсутність залучення до радіаційних надзвичайних ситуацій, випробувань ядерної зброї та терапевтичного опромінення; 2) відсутність додаткового до природного фону радіоактивності опромінення за винятком медичних діагностичних радіологічних процедур та авіаперельотів; 3) чоловіча стать; 4) відповідність віку до основної групи. Критеріями виключення, крім таких, як у основній групі, були: 1) невідповідність критеріям включення до контрольної групи та 2) залучення до багатоцентрових клінічних випробувань. Вік залучених пацієнтів неекспонованої контрольної групи на момент останнього обстеження був у межах 60,2–70,2 року, в середньому ($M \pm SD$) – ($63,3 \pm 2,9$) року. За основними соціо-демографічними показниками групи обстежених практично не відрізнялись (табл. 2), проте привертає увагу той факт, що свій соціально-побутовий статус оцінили як «низький» 15 (28,8 %) обстежених УЛНА, тоді як у контрольній групі – лише 1 (7,7 %) обстежений ($p < 0,001$ за двобічним точним критерієм Фішера). Всі обстежені були міськими жителями.

Реєстрацію слухових когнітивних викликаних потенціалів (СКВП) виконували за допомогою комп'ютерного 24-канального електроенцефалографа «BRAINTTEST» виробництва науково-виробничого підприємства «DX-системи» (м. Харків, Україна). Визначали як абсолютні показники амплітуди та латентного періоду (ЛП) компонента P300 СКВП у 16 відведеннях ЕЕГ за міжнародною системою «10–20», так і коефіцієнти латеральності (міжпівкульної аси-

and a median dose of 0.25 Sv. The distribution of the examined Chernobyl clean-up workers by external radiation doses is shown in Table 1.

The *unexposed control group* ($n = 13$) was formed from randomly selected out patients and inpatients/examinees of the Department of Radiation Psychoneurology of ICR of NRCRM. The criteria inclusion in the control group were as follows: 1) no involvement in radiation emergencies, nuclear weapons testing, or therapeutic irradiation; 2) no exposure to ionizing radiation beyond natural background levels, except for medical diagnostic radiological procedures and air travel; 3) male gender; 4) age matching the main group. The exclusion criteria, in addition to those in the main group, were: 1) failure to meet the criteria for inclusion in the control group, and 2) involvement in multicenter clinical trials. The patients in the unexposed control group at the time of the last examination were aged 60.2–70.2 years, with a mean ($M \pm SD$) age of (63.3 ± 2.9) years. The main socio-demographic indicators of the groups examined did not differ significantly (Table 2). However, it is noteworthy that 15 (28.8 %) of the examined Chernobyl clean-up workers rated their social and living status as «low», while in the control group, only 1 (7.7 %) of the examined patients did so ($p < 0.001$ according to Fisher's two-tailed exact test). All respondents were urban residents.

The registration of auditory ERPs P300 was performed using a 24-channel computerized electroencephalograph «BRAINTTEST» manufactured by the scientific and production enterprise «DX-systems» (Kharkiv, Ukraine). We determined both the absolute values of the amplitude and latency (LP) of the P300 component in 16 EEG leads according to the international 10–20 system, and the coefficients of laterality (interhemispheric

Таблиця 2

Соціально-демографічна характеристика обстеженої вибірки

Table 2

Socio-demographic characteristics of the surveyed sample

Характеристика Characteristics	Основна група Main group n = 52	t-критерій Стюдента, двобічний точний критерій Фішера Student's t-test, Fisher's two-tailed exact test	p	Неекспонована група порівняння Unexposed control group n = 13
Вік (M ± SD), роки / Age (M ± SD), years	64,08 ± 2,92	0,93	0,36	63,32 ± 2,87
Кількість років освіти (M ± SD) Years of education (M ± SD)	14,33 ± 3,32	-1,73	0,09	15,9 ± 2,6
Освітній рівень				
Вища освіта / Higher education	26 (50,0 %)	0,03	0,03	11 (84,6 %)
Середня спеціальна (середня технічна освіта) Secondary specialized (secondary technical education)	22 (42,3 %)	0,11	0,11	2 (15,4 %)
Базова середня освіта Basic secondary education	4 (7,7 %)	0,58	0,58	0 (0,0 %)
Соціально-економічний та побутовий статус				
Високий / High	3 (5,8 %)	0,09	0,09	3 (23,1 %)
Середній / Medium	34 (65,4 %)	1,0	1,0	9 (69,2 %)
Низький / Low	15 (28,8 %)	< 0,001	< 0,001	1 (7,7 %)

метрії) відповідних психофізіологічних показників за формулою:

$$K_{lat} = (L - R) / (L + R) \cdot 100, \quad (1)$$

де K_{lat} — коефіцієнт латеральності; R — параметр P300 симетричної ділянки правої півкулі головного мозку, L — лівої.

Знак «+» в отриманому значенні вказував на латералізацію збільшення показника до лівої півкулі, «-» — до правої, відповідно.

При реєстрації СКВП використовували класичну двостимульну парадигму випадково виникаючої події (oddball paradigm), яка передбачала пред'явлення у випадковій послідовності серії двох стимулів, один з яких був «незначущим» (частим), а інший ? «значущим» (рідкісним). Підраховували кількість помилок при підрахунку значущих стимулів. Використовували слухові стимули у вигляді клацань з частотою псевдовипадкового пред'явлення фонового стимулу 1000 Гц та вірогідністю 70 %, значущого стимулу 2000 Гц та вірогідністю 30 %. Перед дослідженням обстежуваному виконували демонстрацію значущого та фонового стимулів і надавали інструкцію подумки рахувати «значущі» стимули і не реагувати на фоніві. Обстеження проводили у першій половині доби в стані активного неспання за умови відсутності прийому лікарських засобів. Компонент P300 СКВП визначали за максимальною амплітудою від ізолінії в діапазоні ЛП 250–400 мс.

asymmetry) of the corresponding psychophysiological indicators using formula (1):

$$K_{lat} = (L - R) / (L + R) \cdot 100, \quad (1)$$

where K_{lat} is the laterality coefficient; R is the P300 parameter of the symmetrical region of the right hemisphere of the brain, L is that of the left hemisphere.

The «+» sign in the obtained value indicated the lateralization of the index increase to the left hemisphere, «-» to the right hemisphere, respectively.

When recording ERPs, we used the classical oddball paradigm, which involved presenting a series of two stimuli in random order, one of which was «insignificant» (frequent) and the other «significant» (rare). The number of errors in counting significant stimuli was counted. Auditory stimuli in the form of clicks were used with a pseudo-random presentation frequency of the background stimulus of 1000 Hz and a probability of 70 %, and the significant stimulus of 2000 Hz and a probability of 30 %. Before the examination, the subject was shown the significant and background stimuli and instructed to mentally count the «significant» stimuli and not to react to the background stimuli. The examination was conducted in the first half of the day in a state of active wakefulness, provided that no medication was taken. The P300 compo-

З метою накопичування, зберігання та первинного аналізу даних використовували електронні таблиці MS Excel. Статистичний аналіз проводили у програмах Statistica 10.0 (StatSoft) та SPSS Statistics 17.0. Перевірку статистичної гіпотези щодо відповідності даних нормальному розподілу здійснювали за допомогою критеріїв Колмогорова—Смирнова з поправкою Lilliefors та Шапіро—Уїлкса. Для вивчення міжгрупових відмінностей для частотних показників використовували критерій χ^2 з поправкою Йейтса та двобічний точний критерій Фішера (Fisher's exact test). Для множинного міжгрупового порівняння кількісних показників застосовували однофакторний дисперсійний аналіз (One-Way ANOVA) у випадку відповідності даних нормальному розподілу з представленням даних у форматі $M \pm SD$ та критерій Краскела-Уолліса (Kruskal-Wallis test) з представленням даних у форматі $Me (Q1-Q3)$ у протилежному випадку. Для перевірки гіпотези щодо гомогенності дисперсій у досліджуваних групах застосовували тест Левена (Levene Test for Equality of Variances). Для апостеріорних міжгрупових порівнянь (post-hoc аналіз) використовували тест Шеффе (Scheffe test) у випадку відповідності даних нормальному розподілу. У випадку невідповідності даних нормальному розподілу для апостеріорних міжгрупових порівнянь застосовували критерій Манна-Уїтні з поправкою Бонферроні.

РЕЗУЛЬТАТИ

При порівнянні показників викликаного біоелектричного активності головного мозку в основній групі УЛНА та неекспонованій групі порівняння виявлено достовірне зростання ЛП компонента P300 СКВП в усіх 16 відведеннях ЕЕГ ($p < 0,05$), латералізоване у ліву скроневу ділянку ($t = 2,4-3,2$; $p = 0,02-0,002$) (табл. 3). В УЛНА спостерігається тенденція до збільшення кількості помилок при підрахунку значущих стимулів у пробах ($t = 1,7$; $p = 0,09$). У групі УЛНА виявлена високодостовірна лінійна регресійна залежність зростання кількості помилок при підрахунку значущих стимулів у пробах від дози опромінення ($r = 0,36$; $p = 0,003$), яка посилюється при опроміненні в дозах понад 0,3 Зв ($r = 0,57$; $p = 0,005$), що може засвідчувати дозозалежний дефіцит перцептивної уваги в експонованих обстежуваних. Також у обстежених основної групи відзначаються тенденції до дифузного зменшення абсолютних значень амплітуди компонента P300, переважно у правій лобно-скроневій ділянці, порівняно з неекспонованою групою порівняння, що узгоджується з нашими попередніми результатами ($t = 0,9-1,4$;

ment of the auditory ERP obtained was determined by the maximum amplitude from the isoline in the latency (LP) range of 250–400 ms.

MS Excel spreadsheets were used for data collection, storage, and initial analysis. Statistical analysis was performed using Statistica 10.0 (StatSoft) and SPSS Statistics 17.0 software. The statistical hypothesis regarding the normality of data distribution was tested using the Kolmogorov–Smirnov test with Lilliefors and Shapiro–Wilks corrections. To study intergroup differences for frequency indicators, the χ^2 criterion with Yates' correction and Fisher's exact test were used. For multiple intergroup comparisons of quantitative indicators, one-way ANOVA was used in the case of data matching the normal distribution with data presented in $M \pm SD$ format, and the Kruskal-Wallis test with data presented in $Me (Q1-Q3)$ format. To test the hypothesis of homogeneity of variances in the study groups, we used the Levene test for equality of variances. For post-hoc intergroup comparisons (post-hoc analysis), the Scheffe test was used if the data corresponded to a normal distribution. If the data did not correspond to a normal distribution, the Mann-Whitney test with Bonferroni correction was used for post-hoc intergroup comparisons.

RESULTS

When comparing the indicators of evoked bioelectrical activity of the brain in the main clean-up workers' group and the unexposed control group, a significant LP increase of the cognitive component P300 was found in all 16 EEG leads ($p < 0.05$), lateralized to the left temporal region ($t = 2.4-3.2$; $p = 0.02-0.002$) (Table 3). In the Chornobyl clean-up workers group, there was a tendency toward an increase in the number of errors when counting significant stimuli in the trials ($t = 1.7$; $p = 0.09$). In addition, in the main group, a highly reliable positive linear regression dependence was found between the number of errors in counting significant stimuli and the radiation dose ($r = 0.36$; $p = 0.003$), intensifying at doses above 0.3 Sv ($r = 0.57$; $p = 0.005$), which may indicate a dose-dependent deficit of perceptual attention in the exposed subjects. The subjects in the main group also showed a tendency toward a diffuse decrease in the absolute values of the amplitude of the P300 component, mainly in the right frontal-temporal region, relative to the unexposed comparison group, which is consistent with

$p = 0,18-0,35$), а також до порушень функціональної міжпівкульної асиметрії за рахунок відносно менших значень амплітуди когнітивного компонента P300 у лівій скроневій ділянці ($t = 1,1-1,6$; $p = 0,11-0,27$) (табл. 3).

При зіставленні психофізіологічних показників у групі УЛНА, опромінених в дозах $\geq 0,05$ Зв, та в групі УЛНА, опромінених в дозах $< 0,05$ Зв (група внутрішнього контролю), достовірних міжгрупових відмінностей за абсолютними значеннями амплітуди та латентних періодів компонента P300 СКВП виявлено не було ($p > 0,05$) при наявності певних тенденцій до дифузного зростання ЛП P300 в групі УЛНА, опромінених в дозах $\geq 0,05$ Зв, з акцентом у правій скронєво-тім'яній ділянці ($t = -1,1 - -1,6$; $p = 0,12-0,26$) (табл. 4). Найвищі середні та медіанні значення ЛП P300 в обох підгрупах УЛНА похилого віку спостерігались у проекції церебральної ділянки Верніке (лівої задньоскроневої ділянки), що узгоджується з нашими попередніми даними [20–22, 28]. Таким чином, для остаточного встановлення характерного психофізіологічного патерну пострадіаційних змін в УЛНА на ЧАЕС похилого віку необхідні подальші дослідження з обов'язковим дозиметричним супроводом.

Топографічне картування коефіцієнтів латеральності (міжпівкульної асиметрії) за ЛП компонента P300 СКВП в основній групі УЛНА (рис. 1) вказує на порушення міжпівкульної асиметрії у вигляді зростання значень ЛП P300 у лівій задньоскроневій ділянці. Такі зміни можуть засвідчувати збереження в УЛНА на ЧАЕС з віком попередньо виявлених нами психофізіологічних тенденцій до порушення обробки інформації у церебральній ділянці Верніке [20–22, 28]. На рис. 2 представлені результати топографічного картування психофізіологічних розбіжностей між основною групою та неекспонованою групою порівняння, які вказують на дифузне

our previous results ($t = 0.9-1.4$; $p = 0.18-0.35$), as well as to disturbances in functional interhemispheric asymmetry due to relatively lower values of the P300 amplitude in the left temporal region ($t = 1.1-1.6$; $p = 0.11-0.27$) (Table 3).

When comparing psychophysiological indicators in the Chornobyl clean-up workers irradiated at doses ≥ 0.05 Sv and in those irradiated at doses < 0.05 Sv (internal control group), no significant intergroup differences were found in the absolute values of the amplitude and LP of the P300 component ($p > 0.05$), with certain trends toward a diffuse increase in P300 LP in the clean-up workers irradiated at doses ≥ 0.05 Sv, with an accent in the right temporal-parietal region ($t = -1.1 - -1.6$; $p = 0.12-0.26$) (Table 4). The highest mean and median values of P300 LP in both subgroups of elderly Chornobyl clean-up workers were observed in the projection of the Wernicke's area (left posterior temporal region), which is consistent with our previous data [20–22, 28]. Thus, further studies with mandatory dosimetric monitoring are necessary to definitively establish the characteristic psychophysiological pattern of post-radiation changes in elderly Chornobyl clean-up workers.

Topographic mapping of laterality coefficients (interhemispheric asymmetry) based on the P300 component LP in the main group of Chornobyl clean-up workers (Fig. 1) indicates a disturbance of interhemispheric asymmetry in the form of an increase in the P300 component LP values in the left posterior temporal region. Such changes may indicate the preservation of the psychophysiological tendencies to disrupt information processing in the Wernicke's cerebral area previously identified by us in the Chornobyl clean-up workers as they age [20–22, 28]. Fig. 2 shows the results of topographic mapping of psychophysiological differences between the main

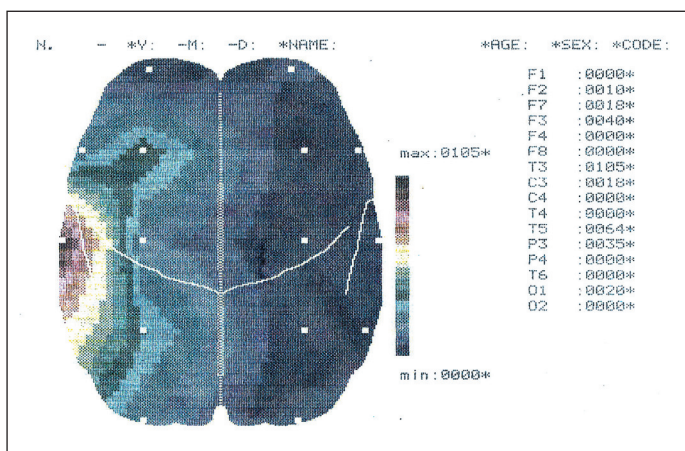


Рисунок 1. Топографічне картування коефіцієнтів латеральності (міжпівкульної асиметрії) за латентним періодом компонента P300 в основній групі

Figure 1. Topographic mapping of laterality coefficients (interhemispheric asymmetry) based on the component P300 LP in the main group

Таблиця 3

Амплітудно-часові характеристики та міжпівкульна асиметрія компонента P300 слухових когнітивних викликаних потенціалів в основній групі УЛНА та неекспонованій групі порівняння

Table 3

Amplitude-time features and interhemispheric asymmetry of the P300 component of auditory event-related potentials in the main group of Chernobyl clean-up workers and the unexposed control group

ЕЕГ відведення	Основна група, (M ± SD)	t	p	Неекспонована група порівняння (M ± SD)
EEG lead	Main group, (M ± SD) n = 52			Unexposed control group (M ± SD) n = 13
Амплітуда, мкВ / Amplitude, μV				
Fp1	4,2 ± 3,3	1,0	0,34	3,4 ± 2,0
Fp2	4,3 ± 3,1	0,8	0,45	3,6 ± 1,7
F3	4,5 ± 2,4	0,3	0,73	4,2 ± 1,6
F4	4,3 ± 2,3	0,3	0,76	4,1 ± 1,7
F7	4,1 ± 2,2	-0,2	0,85	4,2 ± 1,4
F8	4,3 ± 2,3	0,9	0,35	3,7 ± 1,4
C3	4,1 ± 2,1	0,1	0,91	4,1 ± 1,3
C4	4,1 ± 2,1	0,0	0,98	4,1 ± 1,3
T3	4,1 ± 1,9	0,2	0,80	4,0 ± 1,1
T4	4,3 ± 2,2	1,4	0,18	4,2 ± 1,4
T5	4,1 ± 1,9	-0,5	0,59	4,4 ± 1,1
T6	4,4 ± 2,8	0,9	0,38	3,7 ± 1,4
P3	4,1 ± 1,9	0,1	0,93	4,0 ± 1,1
P4	4,1 ± 2,0	0,7	0,50	3,7 ± 1,4
O1	4,0 ± 2,1	0,2	0,49	3,9 ± 1,9
O2	4,1 ± 2,0	0,7	0,54	3,7 ± 1,6
Латеральність амплітуди, % / Amplitude laterality, %				
Fp1 – Fp2	-4,2 ± 38,5	0,3	0,80	-6,8 ± 18,9
F3 – F4	1,7 ± 20,8	0,0	0,97	1,9 ± 13,5
F7 – F8	-0,4 ± 26,5	-1,0	0,34	6,4 ± 12,7
C3 – C4	-1,1 ± 18,7	0,0	0,99	-1,0 ± 11,6
T3 – T4	-0,2 ± 21,3	-1,2	0,23	6,9 ± 15,8
T5 – T6	-1,7 ± 21,2	-1,6	0,11	8,7 ± 25,2
P3 – P4	-0,4 ± 16,5	-1,1	0,27	5,5 ± 26,4
O1 – O2	-1,9 ± 15,2	-0,6	0,54	0,6 ± 8,3
ЛП, мс / LP, ms				
Fp1	343,9 ± 41,3	2,1	0,04	319,7 ± 29,3
Fp2	344,3 ± 40,5	2,5	0,02	316,9 ± 29,8
F3	346,5 ± 43,6	2,5	0,01	316,5 ± 29,3
F4	343,6 ± 42,3	2,8	0,01	311,5 ± 29,5
F7	345,8 ± 40,8	2,4	0,02	318,7 ± 30,6
F8	344,7 ± 42,3	2,5	0,01	314,9 ± 33,4
C3	348,5 ± 35,8	3,0	0,004	314,9 ± 29,2
C4	347,6 ± 43,8	2,9	0,005	311,9 ± 30,2
T3	351,5 ± 40,7	3,2	0,002	315,7 ± 29,4
T4	344,3 ± 41,5	2,3	0,02	317,3 ± 35,8
T5	353,0 ± 39,6	2,4	0,02	326,7 ± 30,9
T6	348,4 ± 41,4	1,6	0,08	329,4 ± 32,2
P3	350,0 ± 40,4	2,4	0,02	323,3 ± 31,7
P4	347,8 ± 42,3	2,3	0,02	321,2 ± 30,7
O1	351,0 ± 38,9	2,5	0,02	324,4 ± 32,6
O2	349,9 ± 41,9	2,3	0,02	323,0 ± 30,8
Латеральність ЛП, % / LP laterality, %				
Fp1 – Fp2	-0,1 ± 2,2	-0,9	0,39	0,4 ± 2,3
F3 – F4	0,4 ± 1,3	-1,0	0,32	0,8 ± 1,6
F7 – F8	0,2 ± 2,1	-0,7	0,46	0,6 ± 2,5
C3 – C4	0,2 ± 1,7	-0,6	0,52	0,5 ± 2,0
T3 – T4	1,1 ± 3,2	1,3	0,19	-0,1 ± 3,4
T5 – T6	0,6 ± 3,0	1,0	0,31	-0,4 ± 1,1
P3 – P4	0,3 ± 2,5	0,04	0,96	0,3 ± 0,6
O1 – O2	0,2 ± 2,1	0,0	0,99	0,2 ± 0,5
Помилки при підрахунку значущих стимулів, кількість Errors in calculating significant stimuli, number	1,5 ± 2,4	1,7	0,09	0,4 ± 1,1

Таблиця 4

Амплітудно-часові характеристики та міжпівкульна асиметрія компонента P300 слухових когнітивних викликаних потенціалів в УЛНА, опромінених у дозах < 0,05 Зв (група внутрішнього контролю) та $\geq 0,05$ Зв

Table 4

Amplitude-time features and interhemispheric asymmetry of the P300 component of auditory event-related potentials in the Chernobyl clean-up workers, exposed at doses < 0.05 Sv (internal control group) and ≥ 0.05 Sv

ЕЕГ відведення EEG lead	УЛНА, опромінені в дозах < 0,05 Зв (M $\pm$ SD) Chernobyl clean-up workers, exposed at doses < 0.05 Sv (M $\pm$ SD) n = 12	t	p	УЛНА, опромінені в дозах $\geq 0,05$ Зв (M $\pm$ SD) Chernobyl clean-up workers, exposed at doses ≥ 0.05 Sv (M $\pm$ SD) n = 40
Амплітуда, мкВ / Amplitude, μ V				
Fp1	4,5 $\pm$ 3,1	0,4	0,70	4,1 $\pm$ 3,4
Fp2	3,8 $\pm$ 2,3	-0,7	0,49	4,4 $\pm$ 3,4
F3	4,6 $\pm$ 2,3	0,3	0,75	4,4 $\pm$ 2,5
F4	4,2 $\pm$ 2,2	-0,2	0,87	4,4 $\pm$ 2,4
F7	4,1 $\pm$ 2,1	0,1	0,90	4,1 $\pm$ 2,2
F8	4,5 $\pm$ 2,0	0,3	0,76	4,3 $\pm$ 2,4
C3	4,4 $\pm$ 1,9	0,5	0,60	4,0 $\pm$ 2,1
C4	4,1 $\pm$ 1,8	0,0	0,98	4,1 $\pm$ 2,1
T3	4,3 $\pm$ 1,7	0,4	0,66	4,0 $\pm$ 2,0
T4	4,3 $\pm$ 1,9	0,0	0,99	4,3 $\pm$ 2,3
T5	4,2 $\pm$ 1,9	0,2	0,86	4,1 $\pm$ 1,9
T6	4,4 $\pm$ 1,7	-0,04	0,97	4,4 $\pm$ 3,1
P3	3,9 $\pm$ 1,8	-0,3	0,74	4,1 $\pm$ 1,9
P4	4,2 $\pm$ 1,8	0,1	0,92	4,1 $\pm$ 2,1
O1	4,1 $\pm$ 2,1	0,3	0,79	3,9 $\pm$ 2,1
O2	4,3 $\pm$ 1,7	0,5	0,65	4,0 $\pm$ 2,1
Латеральність амплітуди, % / Amplitude laterality, %				
Fp1 – Fp2	7,6 $\pm$ 25,0	1,4	0,16	- 8,1 $\pm$ 41,5
F3 – F4	6,6 $\pm$ 14,5	1,1	0,29	0,1 $\pm$ 22,4
F7 – F8	-4,4 $\pm$ 23,6	-0,7	0,48	1,0 $\pm$ 27,4
C3 – C4	3,1 $\pm$ 10,4	1,0	0,31	- 2,4 $\pm$ 20,7
T3 – T4	1,6 $\pm$ 25,6	0,4	0,70	- 0,8 $\pm$ 23,2
T5 – T6	-4,1 $\pm$ 19,8	-0,5	0,62	- 1,0 $\pm$ 22,8
P3 – P4	-3,7 $\pm$ 11,2	-0,9	0,36	0,7 $\pm$ 17,8
O1 – O2	-4,8 $\pm$ 14,2	-0,9	0,39	- 1,0 $\pm$ 15,5
ЛП, мс / LP, ms				
Fp1	340,9 $\pm$ 27,7	-0,4	0,70	345,1 $\pm$ 45,0
Fp2	343,1 $\pm$ 30,8	-0,1	0,89	344,7 $\pm$ 43,5
F3	340,8 $\pm$ 36,3	-0,6	0,55	348,3 $\pm$ 45,9
F4	336,9 $\pm$ 40,5	-0,7	0,47	345,8 $\pm$ 43,0
F7	344,0 $\pm$ 36,0	-0,2	0,84	346,4 $\pm$ 42,6
F8	344,4 $\pm$ 44,5	0,0	0,98	344,8 $\pm$ 42,1
C3	340,0 $\pm$ 37,4	-0,9	0,35	351,2 $\pm$ 42,6
C4	336,5 $\pm$ 40,3	-1,1	0,26	351,2 $\pm$ 46,7
T3	347,9 $\pm$ 36,0	-0,4	0,69	352,6 $\pm$ 42,4
T4	330,3 $\pm$ 28,2	-1,6	0,12	348,9 $\pm$ 44,2
T5	351,8 $\pm$ 36,2	-0,1	0,89	353,4 $\pm$ 41,0
T6	341,6 $\pm$ 22,8	-0,8	0,42	350,6 $\pm$ 41,9
P3	345,8 $\pm$ 38,7	-0,5	0,64	351,3 $\pm$ 41,3
P4	340,8 $\pm$ 42,9	-0,8	0,45	350,1 $\pm$ 42,3
O1	349,4 $\pm$ 36,4	-0,2	0,85	351,5 $\pm$ 40,0
O2	344,9 $\pm$ 41,0	-0,6	0,58	351,6 $\pm$ 42,4
Латеральність ЛП, % / LP laterality, %				
Fp1 – Fp2	-0,4 $\pm$ 2,6	-0,6	0,53	0,0 $\pm$ 2,1
F3 – F4	0,6 $\pm$ 1,2	0,8	0,42	0,3 $\pm$ 1,4
F7 – F8	0,1 $\pm$ 2,9	-0,3	0,80	0,2 $\pm$ 1,8
C3 – C4	0,6 $\pm$ 1,4	1,0	0,30	0,1 $\pm$ 1,7
T3 – T4	2,5 $\pm$ 3,8	2,2	0,03	0,6 $\pm$ 2,8
T5 – T6	1,3 $\pm$ 3,4	1,1	0,29	0,4 $\pm$ 2,9
P3 – P4	0,8 $\pm$ 3,0	0,8	0,40	0,2 $\pm$ 2,3
O1 – O2	0,7 $\pm$ 2,9	1,1	0,26	0,0 $\pm$ 1,8
Помилки підрахунку значущих стимулів, кількість Errors in calculating significant stimuli, number	0,9 $\pm$ 1,0	-1,0	0,30	1,7 $\pm$ 2,6

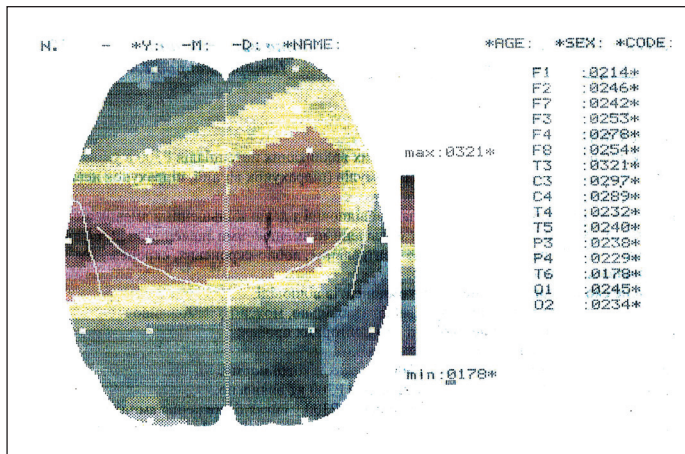


Рисунок 2. Топографічне картування психофізіологічних розбіжностей (за t -критерієм Стьюдента) за латентним періодом компонента Р300 між основною групою та неекспонованою групою порівняння

Figure 2. Topographic mapping of psychophysiological differences (according to Student's t -test) based on the component P300 LP between the main group and the unexposed control group

порушення інформаційних і когнітивних процесів головного мозку з акцентом у лівій скроневій ділянці при тенденціях до поширення на праву лобно-центрально ділянку.

Результати кореляційного аналізу вказують на достовірне дозозалежне зниження амплітуди компонента Р300 СКВП у лівій лобно-скроневій ділянці ($r = -0,65$; $p = 0,02$) в УЛНА похилого віку при опроміненні в дозах понад 0,5 Зв (рис. 3). Вперше виявлено дозозалежне зростання ЛП компонента Р300 в основній групі УЛНА у правій скроневій та задньоскроневій ділянках, зокрема у відведенні Т4 ($r = 0,31$; $p = 0,01$) та Т6 ($r = 0,28$; $p = 0,03$) (рис. 4, 5).

Таким чином, при збереженні попередньо виявлених пострадіаційних порушень інформаційних та когнітивних процесів головного мозку в УЛНА на ЧАЕС у лівій скроневій ділянці [20–22, 28], в УЛНА на ЧАЕС похилого віку виявлено нові тенденції до подібних змін і у правій півкулі головного мозку, а саме – у лобно-центральної та скроневій ділянці, що потребує подальших психофізіологічних досліджень в динаміці контингентів оп-

group and the unexposed control group, which indicate a diffuse impairment of information and cognitive processes in the brain with an accent in the left temporal region and a tendency to spread to the right frontal-central region.

The results of correlation analysis indicate a reliable dose-dependent decrease in the P300 amplitude in the left frontal-temporal region ($r = -0.65$; $p = 0.02$) in elderly Chernobyl clean-up workers exposed at doses exceeding 0.5 Sv (Fig. 3). For the first time, a dose-dependent increase in the P300 component LP was found in the main group of elderly clean-up workers in the right temporal and posterior temporal regions, in particular in T4 lead ($r = 0.31$; $p = 0.01$) and T6 ($r = 0.28$; $p = 0.03$) (Figs. 4, 5).

Thus, while previously identified post-radiation disorders of brain information and cognitive processes in the Chernobyl clean-up workers in the left temporal region still remain [20–22, 28], new trends toward similar changes have been identified in the right hemisphere of the brain in the elderly clean-up workers, namely in the frontal-central and temporal regions, which requires further psychophysiological studies in

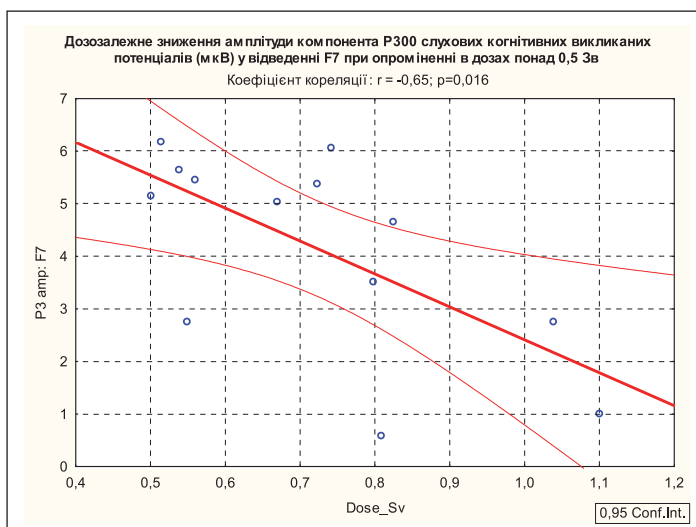


Рисунок 3. Дозозалежне зниження амплітуди компонента Р300 у лівій лобно-скроневій ділянці (відведення F7 ЕЕГ за системою «10–20») в УЛНА віком понад 60 років при опроміненні в дозах понад 0,5 Зв

Figure 3. Dose-dependent decrease in the amplitude of the P300 component in the left frontal-temporal region (F7 EEG lead according to the «10–20» system) in the Chernobyl clean-up workers aged over 60 years irradiated at doses above 0.5 Sv

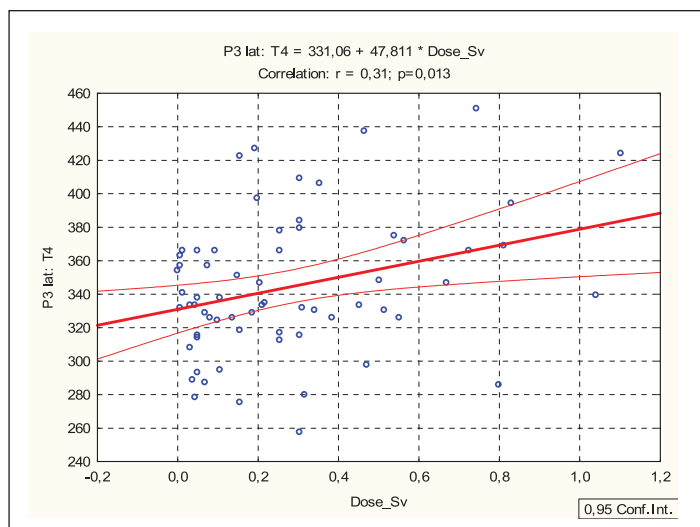


Рисунок 4. Дозозалежне зростання латентного періоду компонента Р300 в УЛНА віком понад 60 років у правій скроневій ділянці (відведення Т4 ЕЕГ за системою «10–20»)

Figure 4. Dose-dependent P300 component LP increase in the Chornobyl clean-up workers aged over 60 years in the right temporal region (T4 EEG lead according to the «10–20» system)

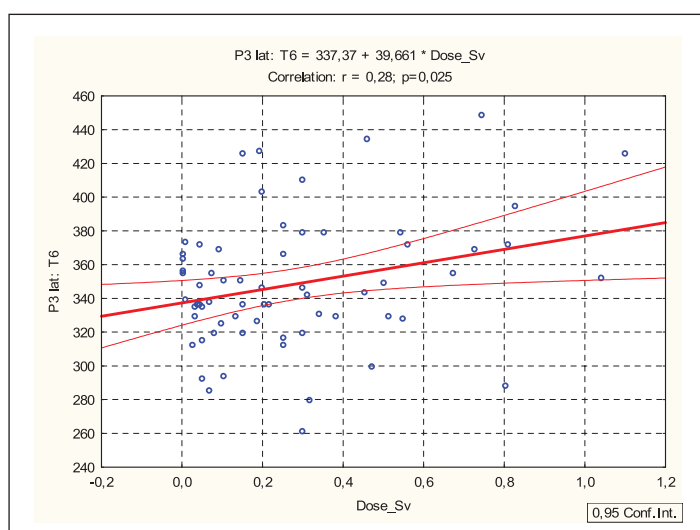


Рисунок 5. Дозозалежне зростання латентного періоду компонента Р300 в УЛНА віком понад 60 років у правій задньоскроневій ділянці (відведення Т6 ЕЕГ за системою «10–20»)

Figure 5. Dose-dependent P300 component LP increase in the Chornobyl clean-up workers aged over 60 years in the right posterior temporal region (T6 EEG lead according to the «10–20» system)

ромінених осіб похилого віку і відповідних неекспонованих контрольних груп для остаточного з'ясування стійкості та клінічного значення виявлених змін.

При поглибленому кореляційно-регресійному аналізі статистичних взаємозв'язків між психометричними та психофізіологічними показниками в обстежених вибірці осіб чоловічої статі віком понад 60 років ($n = 65$) виявлено достовірні обернені лінійні кореляційно-регресійні залежності між величиною показника актуального невербального IQ та латентним періодом Р300 у відведеннях Т4 ($r = -0,44$; $p = 0,002$) та Т6 ($r = -0,45$; $p = 0,001$), а також прямі лінійні кореляційно-регресійні залежності між величиною дефіциту невербального IQ відносно преморбідного рівня та латентним періодом Р300 у відведеннях Т4 ($r = 0,37$; $p = 0,008$) та Т6 ($r = 0,41$; $p = 0,003$).

Отже, вищенаведені закономірності підтверджують доцільність використання компонента Р300 слухових когнітивних викликаних потенціалів як об'єктивного психофізіологічного показника інформаційних і когнітивних процесів головного мозку людини, а та-

ke dynamics of contingents of irradiated elderly people and corresponding unexposed control groups to finally determine the stability and clinical significance of the detected alterations.

An in-depth correlation-regression analysis of statistical relationships between psychometric and psychophysiological indicators in a sample of males over 60 years of age ($n = 65$), reliable inverse linear correlation-regression dependencies were found between the value of the current nonverbal IQ indicator and the P300 LPs in leads T4 ($r = -0.44$; $p = 0.002$) and T6 ($r = -0.45$; $p = 0.001$), as well as direct linear correlation-regression relationships between the magnitude of nonverbal IQ deficit relative to the premorbid level and the P300 LP in leads T4 ($r = 0.37$; $p = 0.008$) and T6 ($r = 0.41$; $p = 0.003$).

Thus, the above patterns confirm the feasibility of using auditory ERPs P300 as an objective psychophysiological indicator of information and cognitive processes in the human brain, and also might support the neolocalisational hypothesis

кож свідчать на користь неолокалізаціоністської гіпотези щодо переважної обробки невербальних стимулів у людини правою півкулею головного мозку [29, 30].

ОБГОВОРЕННЯ

Наші попередні дослідження [1, 3, 4, 7, 20–22, 28] вказували на ключову залученість кортико-лімбічної системи саме лівої (домінантої) півкулі у патогенез пострадіаційного нейрокогнітивного дефіциту. Такий дефіцит характеризувався передусім порушенням вербальної пам'яті та навчання, арифметичних операцій, аналітичних здібностей, елементами акустико-мнестичної агнозії. Останні власні дослідження підтверджують високу інформативність когнітивних викликаних потенціалів як маркера церебральної дисфункції внаслідок впливу іонізуючого випромінювання [20–22, 28]. Нами вперше був продемонстрований радіocereбральний ефект у проекції лівої задньої скроневої звивини (зона Верніке), який полягав у зменшенні амплітуди та збільшенні латенції компонента P300 СКВП при опроміненні в дозах $> 0,05$ Зв [20]. Проте, з метою контролю впливу вікового фактору, у вищезазначених дослідженнях похилий вік був одним з критеріїв виключення з подальшого статистичного аналізу. Дані, отримані нами в нинішньому дослідженні, вказують на комбіноване органічне ураження як лівої (домінантної), так і правої (субдомінантної) гемісфери в УЛНА на ЧАЕС у віддалений період після впливу ІВ, що на рівні клінічної феноменології виявляється не лише порушенням вербальної пам'яті (навчання), а й порушенням невербальних, зорово-просторових функцій. Зміна патерну нейропсихологічних порушень корелює зі змінами психофізіологічних параметрів слухових когнітивних викликаних потенціалів P300, які вказують на зниження ступеня латералізації радіocereбральних ефектів до лівої півкулі та залучення у патологічний процес правої гемісфери, причому для цих ефектів простежується виразна дозозалежність навіть через більш ніж 30 років після опромінення. Такі зміни можуть бути пояснені синергічним патологічним впливом ІВ та вікового старіння на головний мозок людини. Клінічно зазначені процеси реалізуються хронічними судинно-дегенеративними захворюваннями. Характерною особливістю нейропсихіатричної патології у віддалений період після опромінення є її висока коморбідність, яка зростає з дозою опромінення, що також свідчить про радіаційно-асоційований характер даної патології. Типовими є поширеність органічного емоційно-лабільного розладу (F06.6) і ор-

regarding the predominant processing of nonverbal stimuli in humans by the right hemisphere of the brain [29, 30].

DISCUSSION

Our previous studies [1, 3, 4, 7, 20–22, 28] indicated the key involvement of the cortico-limbic system of the left (dominant) hemisphere in the pathogenesis of post-radiation neurocognitive deficit. This deficit was characterized primarily by impaired verbal memory and learning, arithmetic operations, analytical abilities, and elements of acoustic-mnemonic agnosia. Our latest research confirms the high informative value of auditory ERPs as a marker of cerebral dysfunction due to the effects of ionizing radiation [20–22, 28]. We were the first to demonstrate a radio-cerebral effect in the projection of the left posterior temporal gyrus (Wernicke's area), which consisted of a decrease in amplitude and an increase in the LP of the P300 component when irradiated at doses > 0.05 Sv [20]. However, to control for the influence of age factor, elderly age was one of the criteria for exclusion from further statistical analysis in the above-mentioned studies. The data obtained in our current study indicate combined organic damage to both the left (dominant) and right (subdominant) hemispheres in the Chernobyl clean-up workers in the long term period following exposure to IR, which at the clinical phenomenology level manifests itself not only as a violation of verbal memory (learning), but also as impairment of nonverbal, visual-spatial functions. The change in the pattern of neuropsychological disorders correlates with changes in the psychophysiological parameters of auditory ERPs P300 indicating a decrease in the degree of radio-cerebral effects lateralization to the left hemisphere and the involvement of the right hemisphere in the pathological process, with these effects showing a marked dose dependence even more than 30 years after irradiation. Such abnormalities can be explained by the synergistic pathological effects of IR and age-related aging on human brain. Clinically, these processes manifest as chronic neurovascular-neurodegenerative diseases. A characteristic feature of neuropsychiatric pathology in the long term following irradiation is its high comorbidity, which increases with the radiation dose, indicating the radiation-associated nature of this pathology. The prevalence of organic emotionally labile disorder

ганічного розладу особистості та поведінки (F07) при зростанні частоти легких когнітивних порушень (Mild Cognitive Impairment, MCI).

Отриманий нейро- та психофізіологічний патерн узгоджується з нашими попередніми даними щодо радіаційно-індукованих змін спонтанної та викликової біоелектричної активності у людини і засвідчує дифузне багаторівневе органічне ураження головного мозку в УЛНА на ЧАЕС, яке характеризується глибокою дисфункцією серединних структур, прогресуючим характером енцефалопатії з переважним залученням кортико-лімбічної системи лівої (домінантної) півкулі головного мозку. Виявлені дозозалежні радіоцеребральні ефекти у правій (субдомінантній) гемісфері в УЛНА на ЧАЕС похилого віку. Зміни міжпівкульної асиметрії, які з'являються в процесі як нормального, так і патологічного церебрального старіння, становлять значний науково-практичний інтерес. Стислий огляд таких змін за різної нейропсихіатричної патології наведений у нашій попередній публікації [1]. Вищезазначені тенденції були виявлені нами вперше, що обґрунтовує необхідність позитивного спостереження за особами, які зазнали впливу ІВ за різних радіаційних сценаріїв. Варто підкреслити, що особи похилого віку, які зазнали впливу наслідків Чорнобильської катастрофи, становлять особливо вразливу категорію населення як з медичної, так і з соціальної точки зору. З віком зростає частота хронічних захворювань, знижується функціональна резистентність організму, порушуються когнітивні функції, що підвищує ризик інвалідизації та зниження якості життя. До того ж ці пацієнти часто стикаються із соціальною ізоляцією, економічною нестабільністю та обмеженим доступом до медичної допомоги. Зазначені проблеми особливо актуальні через військову агресію Російської Федерації (РФ) проти України в умовах довготривалої війни та дії воєнного стану, що ускладнює вчасне виявлення та лікування патологічних станів. У зв'язку з цим особи похилого віку потребують мультидисциплінарного підходу та системного медико-соціального супроводу. Сьогодні вивчення механізмів поєданого впливу ІВ та вікового старіння може бути реалізоване у парадигмі нового напрямку у нейропсихіатрії — радіаційної нейрогеріатрії [1]. На нашу думку, існує нагальна потреба у створенні цілісної системи охорони психічного здоров'я осіб, постраждалих внаслідок Чорнобильської катастрофи, з реалізацією комплексного медичного, дозиметричного, психологічного та соціального супроводу. Особливе місце в даній системі належить ви-

(F06.6) and organic personality and behavioral disorder (F07) with an increase in the frequency of mild cognitive impairment (MCI) is typical.

The obtained neuro- and psychophysiological pattern is consistent with our previous data on radiation-induced changes in spontaneous and evoked bioelectrical activity in humans and confirms diffuse multilevel organic brain damage in Chernobyl clean-up workers, typified by profound dysfunction of the midbrain structures, progressive encephalopathy with predominant involvement of the cortico-limbic system of the left (dominant) brain hemisphere. Dose-dependent radio-cerebral effects were detected in the right (subdominant) hemisphere in elderly Chernobyl clean-up workers. Interhemispheric asymmetry changes arising in the course of both normal and pathological cerebral aging are of considerable scientific and practical interest. A brief overview of such changes in various neuropsychiatric pathologies is provided in our previous publication [1]. The aforesaid trends were identified for the first time, which substantiates the need for lifelong monitoring of individuals who were exposed to IR under various radiation scenarios. It should be emphasized that elderly people exposed to the effects of the Chernobyl disaster are a particularly vulnerable population group from both a medical and social perspective. With age, the frequency of chronic diseases grows, the body's functional resistance decreases, and cognitive functions are impaired, which increases the risk of disability and a reduced quality of life. At the same time, these patients often face social isolation, economic instability, and limited access to medical care. These problems are particularly challenging in the context of the Russian Federation's (RF) military aggression against Ukraine in the conditions of a protracted war and martial law, which complicates the timely detection and treatment of pathological conditions. In this regard, elderly people need a multidisciplinary approach as well as systematic medical and social support. Today, the study of the mechanisms of the combined effects of IR and aging can be implemented in the paradigm of a new field in neuropsychiatry—radiation neurogeriatrics [1]. In our opinion, there is an urgent need to create a comprehensive system of mental health care for people affected by the Chernobyl disaster, with the implementation of integrated medical, dosimetric, psychological, and social support. A special place in

користанню сучасних неінвазивних психофізіологічних методів діагностики та моніторингу функціонального стану головного мозку.

ВИСНОВКИ

Методика слухових когнітивних викликаних потенціалів P300 є інформативною для виявлення та моніторингу нейрокогнітивних розладів у постраждалих Чорнобильської катастрофи літнього віку. Використання сучасних дешевих, доступних і неінвазивних психофізіологічних методів діагностики нейрокогнітивних порушень є доцільним як у межах наукових досліджень, так і в рутинній клінічній практиці, що дозволить своєчасно діагностувати когнітивні порушення та реалізовувати лікувально-профілактичні заходи, спрямовані на запобігання інвалідизації та соціальній дезадаптації даних пацієнтів. Вперше виявлені об'єктивні психофізіологічні маркери пострадіаційного нейрокогнітивного дефіциту в похилому віці, які полягають у дифузному органічному ураженні як лівої (домінантної), так і правої (субдомінантної) гемісфер головного мозку, що може засвідчувати синергічний вплив вікових змін та іонізуючого випромінювання на його перебіг. Вперше виявлені дозозалежні зміни часових характеристик компонента P300 у правій (субдомантній) гемісфері у УЛНА на ЧАЕС похилого віку. Дані тенденції потребують подальшого спостереження та вивчення.

Інформація про фінансування

Дослідження виконувались у структурі НДР відділу радіаційної психоневрології Інституту клінічної радіології ННЦРМГО «Нейропсихобіологічні механізми афективних і когнітивних розладів у опромінених внаслідок Чорнобильської катастрофи з урахуванням поліморфізму генів» (2016–2018 рр.; № держреєстрації 0116U003572).

Вираз вдячності

Автори висловлюють подяку провідному науковому співробітнику відділу радіаційної ендокринології ІКР ННЦРМГО Д. Є. Афанасьєву за допомогу у підготовці ілюстративного матеріалу до даної публікації.

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.

this system belongs to the use of modern non-invasive psychophysiological methods for diagnosing and monitoring the functional state of the brain.

CONCLUSIONS

The P300 auditory event-related potentials technique is informative for detecting and monitoring neurocognitive disorders in elderly victims of the Chornobyl disaster. The use of modern, inexpensive, accessible, and non-invasive psychophysiological methods for diagnosing neurocognitive disorders is feasible both in scientific research and in routine clinical practice, allowing for the timely diagnosis of cognitive disorders and the implementation of therapeutic and preventive measures aimed at preventing disability and social disadaptation in these patients. For the first time, objective psychophysiological markers of post-radiation neurocognitive deficit in the elderly have been identified, consisting of diffuse organic damage to both the left (dominant) and right (subdominant) hemispheres of the brain, which may indicate the synergistic effect of age-related changes and ionizing radiation on its course. The dose-dependent alterations in the temporal characteristics of the P300 component in the right (subdominant) hemisphere were first detected in elderly Chornobyl clean-up workers. Such trends require further observation and study.

Funding information

The research was conducted within the framework of the research project of Radiation Psychoneurology Department of Institute for Clinical Radiology of the National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology «Neuropsychobiological mechanisms of affective and cognitive disorders in people exposed to radiation as a result of the Chornobyl disaster, taking into account gene polymorphism» (2016–2018; state registration #0116U003572).

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to D. E. Afanasyev, Leading Research Associate at the Radiation Endocrinology Department of ICR of NRCRM, for his assistance in preparing the illustrative material for this publication.

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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Куц К. В., Логановський К. М. Пострадіаційний нейрокогнітивний дефіцит у учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС: геріатричні аспекти (частина 1). *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2024. Вип. 29. С. 375-400. DOI: 10.33145/ 2304-8336-2024-29-375-400
2. Ionizing radiation accelerating aging and neurodegeneration / D. A. Bazyka, S. V. Volovik, K. G. Manton et al. *Int. J. Psychophysiol.* 2004. Vol. 54, No 1-2. P. 118-119.
3. Cellular immunity and telomere length correlate with cognitive dysfunction in clean-up workers of the Chernobyl accident / D. A. Bazyka, K. N. Loganovsky, I. N. Ilyenko et al. *Clinical Neuropsychiatry. J. Treatment Evaluation.* 2013. Vol. 10, No 6. P. 280-281.
4. Негативна регуляція довжини теломер генами TERF1 та TERF2 при когнітивному дефіциті у віддаленому періоді після опромінення у малих дозах / Д. А. Базика, І. М. Ільєнко, К. М. Логановський та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2014. Вип. 19. С. 170-185.
5. Порушення генної експресії, теломер та когнітивний дефіцит як функція дози у опромінених *in utero* та в дорослому віці внаслідок аварії на ЧАЕС / Д. А. Базика, К. М. Логановський, І. М. Ільєнко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2015. Вип. 20. С. 283-310.
6. Логановский К. Н. Влияет ли ионизирующая радиация на головной мозг человека? *Український медичний часопис*. 2009. № 3. С. 56-69.
7. Нягу А. И., Логановский К. Н. Нейропсихиатрические эффекты ионизирующих излучений. Киев : Чернобыльинтеринформ, 1998. 368 с.
8. Little M. P., Azizova T. V., Hamada N. Low- and moderate-dose non-cancer effects of ionizing radiation in directly exposed individuals, especially circulatory and ocular diseases: a review of the epidemiology. *Int. J. Radiat. Biol.* 2021. Vol. 97, no. 6. P. 782-803. DOI: 10.1080/09553002.2021.1876955.
9. Low-dose occupational exposure to ionizing radiation and cardiovascular effects: a narrative review / G. Manenti, L. Coppeta, I. V. Kirev et al. *Healthcare (Basel)*. 2024 Jan 18;12(2):238. DOI: 10.3390/healthcare12020238.
10. Терещенко В. М., Бузунов В. О., Стрій Н. І. Епідеміологічні дослідження смертності від непухлинних хвороб у учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2007. Вип. 13. С. 292-299.
11. Бузунов В. А. Эпидемиология неопухолевых болезней участников ликвидации последствий Чернобыльской аварии / Бузунов В. А., Страпко Н. П., Пирогова Е.А. и др. *Int. J. Radiat. Med.* 2001. Vol. 3, no. 3-4. P. 9-25.
12. Цереброваскулярні захворювання та інші ураження головного мозку у постраждалих внаслідок Чорнобильської катастрофи / К. М. Логановський, С. А. Чумак, М. О. Бомко та ін. *Журнал Національної академії медичних наук України*. 2016. Т. 22, № 2. С. 163-178.
13. Thirty five years of the Chernobyl disaster: radiological and medical consequences, strategies of protection and revival : National report of Ukraine. Kyiv, 2022. 285 p.

REFERENCES

1. Kuts KV, Loganovsky KM. Post-radiation neurocognitive deficit in the Chernobyl clean-up workers: geriatric aspects (Part I). *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2024 Dec;(29):375-400. doi: 10.33145/ 2304-8336-2024-29-375-400.
2. Bazyka DA, Volovik SV, Manton KG, Loganovsky K, Kovalenko AN. Ionizing radiation accelerating aging and neurodegeneration. *Int J Psychophysiol.* 2004;54(1-2):118-119.
3. Bazyka DA, Loganovsky KN, Ilyenko IN, Chumak S, Marazziti D, Maznichenko OL, Kubashko A. Cellular immunity and telomere length correlate with cognitive dysfunction in clean-up workers of the Chernobyl accident. *Clin Neuropsychiatry. J Treatment Evaluation.* 2013;10(6):280-281.
4. Bazyka DA, Ilyenko IN, Loganovsky KN, Benotman MA, Chumak SA. TERF1 and TERF2 downregulate telomere length in cognitive deficit at the late period after low-dose exposure. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2014;19:170-185.
5. Bazyka DA, Loganovsky KN, Ilyenko IN, Chumak SA, Bomko MO. Gene expression, telomere and cognitive deficit analysis as a function of Chernobyl radiation dose and age: from *in utero* to adulthood. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2015;20:283-310.
6. Loganovsky KN. [Do low doses of ionizing radiation affect the human brain?] *Ukrainian Medical Journal.* 2009;(3):56-69. Russian.
7. Nyagu AI, Loganovskij KN. [Neuropsychiatric effects of ionizing radiation]. Kiev: Chernobylinterinform; 1998. 368 p. Russian.
8. Little MP, Azizova TV, Hamada N. Low- and moderate-dose non-cancer effects of ionizing radiation in directly exposed individuals, especially circulatory and ocular diseases: a review of the epidemiology. *Int J Radiat Biol.* 2021;97(6):782-803. doi: 10.1080/09553002.2021.1876955.
9. Manenti G, Coppeta L, Kirev IV, Verno G, Garaci F, Magrini A, Floris R. Low-dose occupational exposure to ionizing radiation and cardiovascular effects: A narrative review. *Healthcare (Basel)*. 2024 Jan 18;12(2):238. doi: 10.3390/healthcare12020238.
10. Tereshchenko VM, Buzunov VO, Strii NI. [Epidemiological studies of mortality from non-neoplastic diseases among participants in the Chernobyl clean-up workers]. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2007;13:292-299. Ukrainian
11. Buzunov VA, Strapko NP, Pirogova YeA, et al. [Epidemiology of non-neoplastic diseases of participants in the liquidation of the consequences of the Chernobyl accident]. *Int J Radiat Med.* 2001;3(3-4):9-25. Russian
12. Loganovsky KM, Chumak SA, Bomko MO, et al. [Cerebrovascular diseases and other brain damage in victims of the Chernobyl disaster]. *Journal of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine.* 2016;22(2):163-178. Ukrainian
13. Thirty five years of the Chernobyl disaster: radiological and medical consequences, strategies of protection and revival: National report of Ukraine. Kyiv; 2022. 285 p.

14. Health effects of the Chernobyl accident – thirty years aftermath / ed. by D. Bazyka, V. Sushko, A. Chumak, V. Chumak, L. Yanovych. Kyiv : DIA, 2016. 524 p.
15. Дифузійно-тензорна МРТ у ранній діагностиці структурних змін білої речовини головного мозку при асоційованій з артеріальною гіпертензією та іонізуючим випромінюванням хвороби малих судин / І. М. Дикан, Ю. І. Головченко, К. М. Логановський та ін. *Проблеми радіаційної медицини і радіобіології*. 2020. Вип. 25. С. 558-568. DOI: 10.33145/2304-8336-2020-25-558-568.
16. Семьонова О. В. Вікові особливості когнітивних порушень при хворобі малих судин головного мозку. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису : дис. ... д-ра філософії за спеціальністю 222 «Медицина» (22 «Охорона здоров'я») / Національний університет охорони здоров'я України ім. П. Л. Шупика МОЗ України. Київ, 2022. 214 с.
17. Gkintoni E., Vantarakis A., Gourzis P. Neuroimaging insights into the public health burden of neuropsychiatric disorders: a systematic review of electroencephalography-based cognitive biomarkers. *Medicina (Kaunas)*. 2025. Vol. 61, no. 6. P. 1003. DOI: 10.3390/medicina61061003.
18. Oken B. S., Phillips T. S. Evoked potentials: Clinical Squire. In: *Encyclopedia of Neuroscience* / ed. by R. Larry. Academic Press, 2009. P. 19-28, ISBN 9780080450469. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-008045046-9.00587-8>.
19. Luck S. J. The Oxford handbook of event-related potential components / ed. by S. J. Luck, E. S. Kappenman. Oxford University Press : Academic, 2012. 664 p.
20. Логановський К. М., Куц К. В. Когнітивні викликані потенціали P300 після опромінення. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2016. Вип. 21. С. 264-290.
21. Логановський К. М., Куц К. В. Викликана біоелектрична активність головного мозку після опромінення. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології*. 2017. Вип. 22. С. 38-68.
22. Куц К. В. Нейрокогнітивний дефіцит при хронічній цереброваскулярній патології в осіб, які зазнали дії іонізуючого випромінювання в діапазоні малих доз внаслідок Чорнобильської катастрофи : дис. ... канд. мед. наук (д-ра філософії) за спеціальністю 03.00.01 «Радіобіологія» (222 – Медицина) / Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України». Київ, 2018. 200 с.
23. Polich J. Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *J. Clin. Neurophysiol.* 2007. Vol. 118. P. 2128-2148. DOI: 10.1016/j.clinph.2007.04.019.
24. van Dinteren R., Arns M., Jongsma M. L., Kessels R. P. P300 development across the lifespan: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2014. Vol. 9, no. 2. P. e87347. DOI: 10.1371/journal.pone.0087347.
25. Flor-Henry P., Lind J. C., Koles Z. J. A source-imaging (low-resolution electromagnetic tomography) study of the EEGs from unmedicated males with depression. *Psychiatry Research: Neuroimaging*. 2004. Vol. 130, no. 2. P. 191-207. DOI: 10.1016/j.psychresns.2003.08.006.
14. Bazyka D, Sushko V, Chumak A, Chumak V, Yanovych L, editors. Health effects of the Chernobyl accident – thirty years aftermath. Kyiv: DIA; 2016. 524 p.
15. Dykan IM, Golovchenko YI, Loganovsky KM, Semonova OV, Myronyak LA, Babkina TM, et al. Diffusion tensor magnetic resonance imaging in early diagnosis of structural changes in brain white matter in small vessel disease associated with arterial hypertension and ionizing radiation. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2020;25:558-568. doi: 10.33145/2304-8336-2020-25-558-568.
16. Semyonova OV. [Age-related features of cognitive impairment in small vessel disease of the brain] [dissertation]. Kyiv: Shupyk National Healthcare University of Ukraine; 2022. 214 p. Ukrainian
17. Gkintoni E, Vantarakis A, Gourzis P. Neuroimaging insights into the public health burden of neuropsychiatric disorders: a systematic review of electroencephalography-based cognitive biomarkers. *Medicina (Kaunas)*. 2025 May 28;61(6):1003. doi: 10.3390/medicina61061003.
18. Oken BS, Phillips TS. Evoked potentials: Clinical. In: Larry R, editor. *Encyclopedia of Neuroscience*. Elsevier; 2009. p. 19-28. ISBN 9780080450469. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-008045046-9.00587-8>.
19. Luck SJ, Luck SJ, Kappenman ES, editors. *The Oxford handbook of event-related potential components*. Oxford University Press: Academic; 2012. 664 p.
20. Loganovsky KM, Kuts KV. Cognitive evoked potentials P300 after radiation exposure. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2016 Dec;21:264-290.
21. Loganovsky K, Kuts K. Evoked bioelectrical brain activity following exposure to ionizing radiation. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2017 Dec;22:38-68.
22. Kuts KV. [Neurocognitive deficit in chronic cerebrovascular pathology in the individuals exposed to ionizing radiation in low doses range due to the Chernobyl accident] [dissertation]. Kyiv State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine»; 2018. 200 p. Ukrainian.
23. Polich J. Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *J Clin Neurophysiol*. 2007;118:2128-2148. doi: 10.1016/j.clinph.2007.04.019.
24. van Dinteren R, Arns M, Jongsma ML, Kessels RP. P300 development across the lifespan: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2014 Feb 13;9(2):e87347. doi: 10.1371/journal.pone.0087347.
25. Flor-Henry P, Lind JC, Koles ZJ. A source-imaging (low-resolution electromagnetic tomography) study of the EEGs from unmedicated males with depression. *Psychiatry Research: Neuroimaging*. 2004 Feb 15;130(2):191-207. doi: 10.1016/j.psychresns.2003.08.006.
26. Jadhav C, Kamble P, Mundewadi S, Jaiswal N, Mali S, Ranga S, et al. Clinical applications of EEG as an excellent tool for event

26. Clinical applications of EEG as an excellent tool for event related potentials in psychiatric and neurotic disorders / C. Jadhav, P. Kamble, S. Mundewadi et al. *Int. J. Physiol. Pathophysiol. Pharmacol.* 2022. Vol. 14, no. 2. P. 73-83.
27. The two-step strategy could be inadequate and counteracting to diagnose prodromal dementia or mild cognitive impairment / C. Abbate, P. D. Trimarchi, S. Inglese et al. *Front. Aging Neurosci.* 2020. Vol. 12. P. 229. DOI: 10.3389/fnagi.2020.00229.
28. Loganovsky K., Loganovskaja T., Kuts K. Psychophysiology research in the detection of ionizing radiation effects. In: Advances in psychobiology / ed. by F. Chiappelli. New York : Nova Science Publishers, Inc., 2018. P. 63-152.
29. Gainotti G. Some historical notes orienting towards brain mechanisms that could underlie hemispheric asymmetries. *Cortex.* 2023. Vol. 163. P. 26-41. DOI: 10.1016/j.cortex.2023.03.001.
30. Pu Y., Francks C., Kong X. Z. Global brain asymmetry. *Trends Cogn. Sci.* 2025. Vol. 29, no. 2. P. 114-117. DOI: 10.1016/j.tics.2024.10.008.
- related potentials in psychiatric and neurotic disorders. *Int J Physiol Pathophysiol Pharmacol.* 2022 Apr 15;14(2):73-83.
27. Abbate C, Trimarchi PD, Inglese S, Gallucci A, Tomasini E, Bagarolo R, Giunco F. The two-step strategy could be inadequate and counteracting to diagnose prodromal dementia or mild cognitive impairment. *Front Aging Neurosci.* 2020 Aug 7;12:229. doi: 10.3389/fnagi.2020.00229.
28. Loganovsky K, Loganovskaja T, Kuts K. Psychophysiology research in the detection of ionizing radiation effects. In: Chiappelli F, editor. Advances in psychobiology. New York: Nova Science Publishers, Inc; 2018. p. 63-152.
29. Gainotti G. Some historical notes orienting towards brain mechanisms that could underlie hemispheric asymmetries. *Cortex.* 2023 Jun;163:26-41. doi: 10.1016/j.cortex.2023.03.001.
30. Pu Y, Francks C, Kong XZ. Global brain asymmetry. *Trends Cogn Sci.* 2025 Feb;29(2):114-117. doi: 10.1016/j.tics.2024.10.008.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Куц Костянтин Володимирович, кандидат медичних наук, науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМГО, м. Київ, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1954-3075>

Логановський Костянтин Миколайович, доктор медичних наук, професор, завідувач відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМГО, м. Київ, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0680-8882>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Kostiantyn V. Kuts, Doctor of Medicine, Ph.D. (Candidate of Medical Sciences), Senior Researcher of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRMO, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1954-3075>

Kostiantyn M. Loganovsky, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRMO, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0680-8882>

Стаття надійшла до редакції 31.07.2025

Received: 31.07.2025