

УДК: 575.113:616.89-008.454:616-001.28

К. В. Куц¹✉, Т. К. Логановська¹, Г. Ю. Крейніс¹, І. В. Перчук¹, К. Ю. Антипчук¹,
В. О. Сушко¹, І. М. Дикан²

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

²Державна установа «Інститут ядерної медицини та променевої діагностики Національної академії медичних наук України», вул. Платона Майбороди, 32, м. Київ, 04050, Україна

НЕЙРОФІЗІОЛОГІЧНИЙ БАЗИС КОМБІНОВАНИХ ЕФЕКТІВ ГОСТРОГО СТРЕСУ ТА МАЛИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ГОЛОВНИЙ МОЗОК ЛЮДИНИ

Мета дослідження – дослідити клініко-нейрофізіологічні особливості в УЛНА на ЧАЕС з верифікованою хронічною недостатністю мозкового кровообігу/церебральною хворобою малих судин (ХНМК/ЦХМС), які зазнали впливу малих доз іонізуючого випромінювання (ІВ), працівників Чорнобильської атомної електростанції (ДСП ЧАЕС), які зазнали впливу стресового фактору повномасштабної війни внаслідок перебування в полоні російських військових на своїх робочих місцях, та в осіб неопроміненої групи порівняння.

Дизайн, об'єкт і методи дослідження – поперечне клінічне дослідження з наявністю паралельних груп зовнішнього контролю. Нами вивчались та був проведений експертний статистичний аналіз клініко-нейрофізіологічних характеристик у 62 осіб чоловічої статі, з яких було сформовано три групи обстеження: 1) рандомізована вибірка з Клініко-епідеміологічного реєстру (КЕР) Державної установи «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України» (ННЦРМ) 22 учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на ЧАЕС 1986–1990 рр., обстежених протягом 2020–2021 рр. у віці на момент обстеження 50–68 років ($M \pm SD$: (58,1 \pm 5,2) років) із документованою дозою зовнішнього опромінення 0,03–2,30 Зв; 2) 24 працівники ДСП ЧАЕС, які зазнали впливу стресового фактору повномасштабної війни внаслідок перебування в полоні російських військових на своїх робочих місцях. Середній вік обстежених становив (54,5 \pm 5,8) років (діапазон 46–71 рік). 3) група порівняння – 16 неопромінених осіб чоловічої статі з верифікованою хронічною недостатністю мозкового кровообігу/церебральною хворобою малих судин (ХНМК/ЦХМС). Середній вік обстежених становив (57,8 \pm 5,6) років (діапазон 50–70 років).

Результати. Нейрофізіологічні дослідження підтверджують наявність в УЛНА на ЧАЕС вираженої дисфункції кортико-лімбічної системи лівої домінантної півкулі головного мозку з особливим залученням гіпокампу. У групі ДСП ЧАЕС вперше виявлені порушення церебральної нейродинаміки у вигляді функціональної гіпофронтальності та гіперфункції кортико-лімбічної системи з латералізацією до правої півкулі.

Висновки. На сьогодні існує багаторічний ґрунтовний методологічний та доказовий базис для можливої нейрофізіологічної діагностики та диференційної діагностики комбінованих церебральних ефектів ІВ та психоемоційного стресу, пов'язаного з умовами військових конфліктів. Нейрофізіологічні технології можуть використовуватись при об'єктивному професійному і кваліфікаційному відборі працівників ряду професій, від яких вимагається прийняття швидких та відповідальних рішень. Працівники ДСП ЧАЕС потребують подальшого медико-психологічного супроводу у зв'язку з підвищеним ризиком розвитку порушень ментального здоров'я.

Ключові слова: Чорнобильська катастрофа, іонізуюча радіація, клінічна нейрофізіологія, кількісна ЕЕГ, церебральна хвороба малих судин, ПТСР, військові конфлікти.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2023. Вип. 28. С. 348–373. doi: 10.33145/2304-8336-2023-28-348-373

✉ Куц Костянтин Володимирович, e-mail: kvk0906@gmail.com

K. V. Kuts¹✉, T. K. Loganovska¹, G. Yu. Kreinis¹, I. V. Perchuk¹, K. Yu. Antypchuk¹,
V. O. Sushko¹, I. M. Dykan²

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

²State Institution «Institute Nuclear Medicine and Diagnostic Radiology of National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 32 Platona Maiborody Str., Kyiv, 04050, Ukraine

NEUROPHYSIOLOGICAL BASIS OF THE COMBINED EFFECTS OF ACUTE STRESS AND LOW DOSES OF IONIZING RADIATION ON HUMAN BRAIN

Objective: to study the clinical and neurophysiological features in the Chernobyl clean-up workers with a verified chronic cerebrovascular disease/cerebral small vessels disease (SVD) exposed to low doses of ionizing radiation (IR), employees of the Chernobyl Nuclear Power Plant (SSE ChNPP), who were exposed to the stress factor of a full-scale war as a result of being held captive by the Russian military at their workplaces, and individuals of the non-irradiated comparison group.

Design, object and methods. A cross-sectional clinical study with parallel external control groups. We studied and carried out an expert statistical analysis of the clinical and neurophysiological characteristics of 62 male subjects, from which three examination groups were formed: 1) a randomized sample from the Clinical Epidemiological Register (CER) of the State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (NRCRM) of 22 Chernobyl clean-up workers ('Chernobyl liquidators') in 1986–1990, examined during 2020–2021, aged 50–68 years at the time of examination ($M \pm SD$: (58.1 ± 5.2) years) with a documented external radiation dose of 0.03–2.30 Sv; 2) 24 SSE ChNPP employees exposed to the stress factor impact of a full-scale war as a result of being held captive by the Russian military at their workplaces. The average age of the examined was (54.5 ± 5.8) years (range 46–71 years). 3) Comparison group – 16 non-exposed men with verified chronic cerebrovascular disease/cerebral small vessels disease (SVD). The average age of the examined was (57.8 ± 5.6) years (range 50–70 years).

Results. Neurophysiological studies confirm the presence of the pronounced dysfunction of the cortico-limbic system of the left dominant hemisphere of the brain with special involvement of the hippocampus in the Chernobyl clean-up workers. In the SSE ChNPP group, for the first time, the disorders of cerebral neurodynamics were detected in the form of functional hypofrontality and hyperfunction of the cortico-limbic system with lateralization to the right hemisphere.

Conclusions. Today there exists a long-term thorough methodological and evidence base for a possible neurophysiological diagnosis and differential diagnosis of the combined cerebral effects of IR and psycho-emotional stress associated with the conditions of military conflicts. Neurophysiological technologies can be used in the objective professional and qualification selection of employees in a number of professions that require quick and responsible decision-making. Employees of SSE ChNPP need further medical and psychological support due to an increased risk of developing mental health disorders.

Key words: Chernobyl disaster, ionizing radiation, clinical neurophysiology, quantitative EEG, cerebral small vessel disease, PTSD, military conflicts.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2023;28:348-373. doi: 10.33145/2304-8336-2023-28-348-373

ВСТУП

Дефініції

Цифрова електроенцефалографія (цифрова ЕЕГ, *Digital electroencephalography*) – це техніка запису та інтерпретації рутинної електроенцефалограми (ЕЕГ) за допомогою комп'ютерної техніки [1]. *Кількісна електроенцефалографія (кЕЕГ, Quantitative electroencephalog-*

INTRODUCTION

Definitions

Digital electroencephalography (digital EEG) is a technique of recording and interpreting a routine electroencephalogram (EEG) using computer technology [1]. *Quantitative electroencephalography (QEEG)* is the processing of digital (computer-

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

raphy, QEEG) – це обробка цифрової (комп'ютеризованої) ЕЕГ за допомогою різних математичних алгоритмів і графічних засобів [1]. Використання комп'ютерної техніки для аналізу ЕЕГ було започатковане в 1970-х роках, а Marc Nuwer вперше дав загальновизнану дефініцію цифрової ЕЕГ та кЕЕГ у 1997 році [2]. Переваги ЕЕГ зумовлені тим, що цей метод досить простий у використанні та не пов'язаний із впливом на досліджуваного. ЕЕГ відображає узгодженість роботи різних структур головного мозку, що робить його унікальним та безумовно цінним методом діагностики функціонального стану мозку. За допомогою ЕЕГ можна оцінити ступінь порушення його роботи, дослідити функціональний стан мозку у пацієнтів, для яких клінічно церебральна дисфункція є очевидною, проте структурні методи дослідження (наприклад, магнітно-резонансна томографія, МРТ) показують відсутність органічного ураження головного мозку [3]. Фізіологічне функціонування мозку лежить в основі емоцій, пізнання та поведінки; таким чином, у зазначеному контексті об'єктивна оцінка мозкової дисфункції особливо важлива для неврології та психіатрії [4, 5]. кЕЕГ збагатила клінічну нейрофізіологію новими методами виділення ознак сигналів ЕЕГ: аналіз окремих частотних смуг та складності сигналу, коннективний аналіз та мережевий аналіз [6–8].

Методологічні аспекти

Спонтанна біоелектрична активність головного мозку являє собою нерегулярну складну криву у вигляді поєднання хвиль різних частот. На початковому етапі розшифрування ЕЕГ необхідно переглянути весь запис від початку до кінця, щоб скласти про нього загальне уявлення (умови реєстрації, наявність артефактів, реакція на навантаження, наявність пароксизмальної та локальної патологічної активності) [3]. Сьогодні доступно багато видів аналітичних і відображувальних методів для цифрової ЕЕГ і кЕЕГ [9–11]. Топографічні карти є способом відображення деяких властивостей ЕЕГ. Вольтаж ЕЕГ або інші особливості наносяться на умовну карту поверхні голови контурними лініями або кольоровим кодуванням, щоб визначити ділянки мозку з однаковим значенням показника, що аналізується [1]. Частотний аналіз передбачає обчислення кількості ЕЕГ у кожному основному діапазоні частот (наприклад, альфа-діапазон). Іноді використовуються навіть менші діапазони, аж до частки циклу в секунду. Кількість ЕЕГ у кожному частотному діапазоні в подальшому відображаються в цифровому вигляді у таблиці або на топографічній карті скальпу. Дані частоти можуть

ized) EEG using various mathematical algorithms and graphic tools [1]. The use of computer technology for EEG analysis was initiated in the 1970s, and Marc Nuwer first gave a generally accepted definition of digital EEG and QEEG in 1997 [2]. The advantages of EEG are due to the fact that this method is quite easy to use and does not affect the subject. EEG reflects the coherence of the work of various structures of the brain, which makes it a unique and certainly valuable method of diagnosing the functional state of the brain. With the help of EEG, it is possible to assess the degree of its work disruption, to investigate its functional state in patients for whom clinical cerebral dysfunction is obvious, but structural research methods (for example, magnetic resonance imaging, MRI) show the absence of organic damage to the brain [3]. The physiological functioning of the brain underlies emotions, cognition, and behavior; thus, in this context, the objective assessment of brain dysfunction is particularly important for neurology and psychiatry [4, 5]. QEEG has enriched clinical neurophysiology with new methods of identifying features of EEG signals: analysis of individual frequency bands and signal complexity, connective analysis, and network analysis [6–8].

Methodological aspects

The spontaneous bioelectric activity of the brain is an irregular complex curve in the form of a combination of waves of different frequencies. At the initial stage of EEG decoding, it is necessary to review the entire recording from beginning to end in order to get a general idea of it (registration conditions, artifacts presence, reaction to load, presence of paroxysmal and local abnormal activity) [3]. Today, many types of analytical and imaging methods are available for digital EEG and QEEG [9–11]. Topographic maps are a way of displaying some properties of the EEG. The EEG voltage or other features are applied to the head surface conditional map with contour lines or color coding to determine brain areas with the same value as the indicator being analyzed [1]. Frequency analysis involves calculating the amount of EEG in each major frequency range (for example, the alpha band). Sometimes even smaller ranges are used, down to a fraction of a cycle per second. The number of EEGs in each frequency range is then displayed digitally on a table or on a topographic map of the scalp.

бути представлені як абсолютні або відносні суми та масштабовані пропорційно або через значення вольтажу ЕЕГ (амплітуда), або її потужність. Потужність — це квадрат амплітуди, який часто називають спектральною потужністю. Відносний вольтаж або відносна спектральна потужність також широко використовується на практиці. При відносному масштабуванні кількість ЕЕГ у кожній смузі частот ділиться на загальний вольтаж або потужність у всіх діапазонах ЕЕГ для даного відведення. Загальна кількість ЕЕГ у всіх частотних діапазонах складає 100 відсотків у кожному відведенні [1, 3, 5]. Комп'ютеризована ЕЕГ відкриває нові перспективи для предикації властивостей психотропних лікарських засобів та ефективності фармакотерапії, а також для поглибленого аналізу нейрофізіологічних закономірностей у розвитку та редукції психічних порушень [12]. Метод комп'ютеризованої ЕЕГ з використанням математичних методів аналізу широко використовується у багатоцентричних клінічних дослідженнях і визнаний адекватним для визначення профілів фармако-ЕЕГ для різних класів лікарських препаратів в неврології та психіатрії [13]. Доступні й більш складні алгоритми. Часто використовується досить проста техніка, яка полягає у відніманні активності лівої півкулі від активності правої півкулі, що призводить до візуального відображення або обчислення значення міжпівкульної асиметрії [1]. Аналіз ЕЕГ, вибраної з дискового архіву для візуального та математичного аналізу ЕЕГ та формування заключення містить у собі такі етапи [3]:

- 1) редагування запису, пов'язане з видаленням артефактів;
- 2) виділення ділянок, які являють собою інтерес для математичного аналізу, і відповідають відносно стаціонарним епохам, що відображають певні функціональні стани головного мозку [14];
- 3) математичний аналіз записів з отриманням на екрані комп'ютера його результатів у числовому та графічному вигляді;
- 4) спеціальні перетворення (зокрема, фільтрація), а також інші допоміжні операції (необхідно проводити для ідентифікації певних патернів ЕЕГ);
- 5) документування дослідження у формі видачі на друк його числових та графічних результатів.

Можливість застосування кЕЕГ у клінічній практиці

Відомо, що кЕЕГ чутливіша, ніж рутинна ЕЕГ, для виявлення церебральних півкульних аномалій, пов'язаних з цереброваскулярними захворюваннями.

Frequency data can be presented as absolute or relative sums and scaled proportionally to either the EEG voltage value (amplitude) or its power. Power is the amplitude square, often called spectral power. Relative voltage or relative spectral power is also widely used in practice. In relative scaling, the amount of EEG in each frequency band is divided by the total voltage or power in all EEG bands for a given EEG lead. The total number of EEGs in all frequency ranges is 100 percent in each EEG lead [1, 3, 5]. Computerized EEG opens up new vistas for predicting the properties of psychotropic drugs and the effectiveness of pharmacotherapy, as well as for in-depth analysis of neurophysiological patterns in the development and reduction of mental disorders [12]. The method of computerized EEG using mathematical methods of analysis is widely used in multicenter clinical studies and is recognized as adequate for determining pharmaco-EEG profiles for various classes of drugs in neurology and psychiatry [13]. More complex algorithms are also available. A fairly simple technique is often used, which consists in subtracting the activity of the left hemisphere from the activity of the right hemisphere, which leads to a visual display or calculation of the interhemispheric asymmetry value [1]. The analysis of the EEG selected from the disk archive for visual and mathematical EEG analysis and the formation of a conclusion includes the following stages [3]:

- 1) editing of the record related to the removal of artifacts.
- 2) selection of areas being of interest for mathematical analysis and correspond to relatively stationary epochs that match the certain functional states of the brain [14].
- 3) mathematical analysis of records with obtaining its results in numerical and graphic form on the computer screen.
- 4) special transformations (in particular, filtering), as well as other auxiliary operations (required to identify certain EEG patterns).
- 5) research documentation in the form of printing its numerical and graphical results.

The possibility of using QEEG in clinical practice

QEEG is known to be more sensitive than routine EEG for detecting cerebral hemispheric abnormalities associated with cerebrovascular disease. It

Це недорогий, неінвазивний, відтворюваний і чутливий метод, який можна використовувати в різних умовах (наприклад, відділення інтенсивної терапії або операційна), навіть на основі постійного моніторингу. Рутинні EEG демонструють патологічні зміни приблизно у 40–70 відсотків пацієнтів з порушеннями мозкового кровообігу [1]. Добре відомо, що зміни кЕЕГ добре співвідносяться з регіонарним церебральним кровообігом, регіонарною екстракцією кисню та метаболізмом. Ці зв'язки особливо міцні для відносної дельта- та альфа-активності, а також для співвідношення повільних і швидких ритмів. Кілька дослідницьких груп виявили коефіцієнти кореляції від 0,67 до 0,76, пов'язуючи такі характеристики EEG з метаболічними параметрами [15, 16]. EEG традиційно допомагає відрізнити деменцію від депресії. Наявність надмірного сповільнення допомагає продемонструвати органічну природу симптомів пацієнта, підтримуючи їх відмінність від депресії чи нормального старіння. Техніка кЕЕГ може допомогти, коли нейрофізіологічна аномалія є межевою або незначною [1]. Зокрема, кЕЕГ дослідження показали високу кореляцію між змінами дифузійно-тензорної МРТ / магнітно-резонансної спектроскопії (DTI/MRS) та аномаліями церебральної електричної активності, що свідчить про корисність кЕЕГ для оцінки функціональних церебральних порушень при травматичному пошкодженні головного мозку (ТБІ) [17].

Сьогодні доступно багато видів аналітичних і відображувальних методів для цифрової EEG і кЕЕГ [9–11]. Останніми роками спостерігається поживлення інтересу до методів кЕЕГ у дослідженні нейрофізіологічних біомаркерів нейробиологічних патологічних механізмів психічних розладів, як потенційного діагностичного інструменту та як предиктора терапевтичної відповіді на фармакологічні та соматичні (наприклад, електрошокова терапія) методи лікування [12].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідити клініко-нейрофізіологічні особливості в УЛНА на ЧАЕС з верифікованою хронічною недостатністю мозкового кровообігу/церебральною хворобою малих судин (ХНМК/ЦХМС), які зазнали впливу малих доз іонізуючого випромінювання, працівників ДСП ЧАЕС, які зазнали впливу стресового фактору повномасштабної війни внаслідок перебування в полоні російських військових на своїх робочих місцях, та в осіб неопроміненої групи порівняння, з верифікованою хронічною недостатністю мозкового кровообігу/церебральною хворобою малих судин (ХНМК/ЦХМС).

is a low-cost, non-invasive, reproducible, and sensitive method that can be used in different settings (eg intensive care unit or operating room), even based on continuous monitoring. Routine EEG shows pathological changes in approximately 40–70 percent of patients with cerebrovascular disorders [1]. It is well known that QEEG changes correlate well with regional cerebral blood flow, regional oxygen extraction, and metabolism. These relationships are particularly strong for relative delta and alpha activity and for the ratio of slow to fast rhythms. Several research groups found correlation coefficients from 0.67 to 0.76, associating such EEG characteristics with metabolic parameters [15, 16]. EEG traditionally helps distinguish dementia from depression. The presence of excessive slowing helps demonstrate the organic nature of the patient's symptoms, maintaining their distinction from depression or normal aging. The QEEG technique can help when a neurophysiological abnormality is borderline or minor [1]. In particular, QEEG studies showed a high correlation between changes in diffusion tensor MRI / magnetic resonance spectroscopy (DTI/MRS) and abnormalities of cerebral electrical activity, which indicates the usefulness of QEEG for the assessment of functional cerebral disorders in traumatic brain injury (TBI) [17].

Today, many types of analytical and imaging methods are available for digital EEG and QEEG [9–11]. In recent years, there has been a revival of interest in QEEG methods in the study of neurophysiological biomarkers of neurobiological pathological mechanisms of mental disorders, as a potential diagnostic tool and as a predictor of therapeutic response to pharmacological and somatic (eg, electroshock therapy) treatment methods [12].

OBJECTIVE

To study the clinical and neurophysiological features in the Chernobyl clean-up workers with a verified chronic cerebrovascular disease/cerebral small vessels disease (SVD) exposed to low doses of ionizing radiation, employees of the Chernobyl nuclear power plant, who were exposed to the stress factor of a full-scale war as a result of being held captive by the Russian military at their workplaces, and individuals of the non-irradiated comparison group, with a verified chronic cerebrovascular disease/cerebral small vessels disease (SVD).

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дизайн дослідження – поперечне клінічне дослідження з наявністю паралельних груп зовнішнього контролю. Протягом 2022–2023 років нами вивчались особливості клініко-нейрофізіологічних характеристик фонові конвенційної та кількісної електроенцефалографії у 22 осіб, які були опромінені в дорослому віці внаслідок Чорнобильської катастрофи (всі – чоловіки), 58 осіб (з них 35 осіб чоловічої статі та 23 особи жіночої статі у віці на момент обстеження 24–71 рік ($M \pm SD$: $48,6 \pm 9,3$) років), які зазнали професійного неаварійного опромінення з неперевищеними гранично допустимими дозами (ГДД) (працівників ДСП ЧАЕС) та впливу стресу внаслідок повномасштабної війни з Російською Федерацією і перебування в полоні на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) в умовах окупації Чорнобильської зони відчуження російськими військовими з 24.02 по 31.03.2022 року включно, а також 16 неекспонованих осіб групи порівняння (всі чоловіки). Дози опромінення працівників ДСП ЧАЕС за період окупації ЧАЕС з 24.02 по 31.03.2022 р. знаходились в діапазоні 0,1–0,64 мЗв при середній арифметичній дозі $M \pm SD$: $(0,25 \pm 0,15)$ мЗв, середній геометричній дозі – 0,22 мЗв, медіанній дозі 0,20 мЗв. З метою доказового зіставлення вибірок за віком, статтю, освітнім, професійним рівнем та низкою інших соціально-демографічних характеристик для подальшого експертного статистичного аналізу було відібрано 62 особи чоловічої статі та сформовано три групи обстеження.

1. Рандомізована вибірка з Клініко-епідеміологічного реєстру (КЕР) Державної установи «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України» (ННЦРМ) 22 учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на ЧАЕС 1986–1990 рр., обстежених протягом 2020–2021 рр. (до початку повномасштабної війни з Російською Федерацією), у віці на момент обстеження 50–68 років ($M \pm SD$: $(58,1 \pm 5,2)$ років) із документованою дозою зовнішнього опромінення 0,03–2,30 Зв при середній арифметичній дозі $(0,48 \pm 0,61)$ Зв, середній геометричній дозі – 0,26 Зв, медіанній дозі – 0,23 Зв. Ревізія доз опромінення в УЛНА була здійснена на основі верифікації доз в ННЦРМ, проведеної у попередніх дослідженнях.

2. 24 працівники ДСП ЧАЕС, які зазнали впливу стресового фактору повномасштабної війни внаслідок перебування в полоні російських війсь-

MATERIALS AND METHODS

The study design is a cross-sectional clinical study with parallel external control groups. During 2022–2023, we studied the features of clinical and neurophysiological characteristics of background conventional and quantitative electroencephalography in 22 people who were irradiated in adulthood as a result of the Chernobyl disaster in 1986 (Chernobyl clean-up workers, all men), 58 people (of which 35 were male and 23 were female aged 24–71 years at the time of examination ($M \pm SD$: (48.6 ± 9.3) years) who were exposed to professional non-accidental radiation exposure with unexceeded maximum permissible doses (MPDs) (employees of the Chernobyl nuclear power plant, SSE ChNPP) and to stress impact as a result of a full-scale war with the Russian Federation and being held captive at the Chernobyl nuclear power plant (ChNPP) under the conditions of the occupation of the Chernobyl exclusion zone by the Russian military from 24.02.2022 to 31.03.2022 inclusive, as well as 16 unexposed individuals of the comparison group (all men). The radiation doses of SSE ChNPP workers during the period of the ChNPP occupation from 24.02.2022 to 31.03.2022 were in the range of 0.1–0.64 mSv with the arithmetic mean dose $M \pm SD$: (0.25 ± 0.15) mSv, the geometric mean dose – 0.22 mSv, the median dose – 0.20 mSv. For the purpose of evidential comparison of samples by age, gender, education, professional level, and a number of other socio-demographic characteristics, 62 male persons were selected for further expert statistical analysis, and three examination groups were formed.

1. A randomized sample from the Clinical Epidemiological Register (CER) of the State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (NRCRM) of 22 Chernobyl clean-up workers ('Chernobyl liquidators') in 1986–1990, examined during 2020–2021 (before the start of the full-scale war with the Russian Federation), aged 50–68 years at the time of examination ($M \pm SD$: (58.1 ± 5.2) years) with a documented external radiation dose of 0.03–2.30 Sv with an arithmetic mean dose (0.48 ± 0.61) Sv, geometric mean dose – 0.26 Sv, median dose – 0.23 Sv. Revision of radiation doses of the examined clean-up workers was carried out on the basis of doses verification in NRCRM conducted in previous studies;

2. 24 SSE ChNPP employees exposed to the stress factor impact of a full-scale war as a result of being held captive by the Russian military at their workplaces at

кових на своїх робочих місцях на ДСП ЧАЕС з 24 лютого 2022 року протягом 5 тижнів, в подальшому знаходились на реабілітації та лікуванні у Клініці ННЦРМ, та пройшли поглиблене нейропсихіатричне, нейрофізіологічне, а також нейровізуалізаційне (клініко-радіологічне) обстеження на базі відділу радіаційної психоневрології Інституту клінічної радіології (ІКР) ННЦРМ та Державної установи «Інститут ядерної медицини та променевої діагностики НАМН України» (ІЯМПД). Середній вік обстежених становив ($54,5 \pm 5,8$) років (діапазон 46–71 рік).

3. У якості групи порівняння проспективно відновлені дані клініко-нейрофізіологічного обстеження на 16 осіб чоловічої статі з верифікованою хронічною недостатністю мозкового кровообігу/церебральною хворобою малих судин (ХНМК/ЦХМС), які не зазнали впливу джерел іонізуючого випромінювання (ІВ) та проходили обстеження на базі відділу радіаційної психоневрології ІКР ННЦРМ у 2019–2020 роках до початку повномасштабної війни з Російською Федерацією. Середній вік обстежених становив ($57,8 \pm 5,6$) років (діапазон 50–70 років).

Всі залучені до поглибленого статистичного аналізу обстежені мали вищу освіту. Критеріями виключення з аналізу були: жіноча стать, вік обстежуваного до 45 років, низький освітній та професійний рівень, проживання в сільській місцевості, наявність на момент дослідження вираженої соматоневрологічної та психічної патології у стадії декомпенсації; нейроінфекційних та демієлінізуючих захворювань; зловживання психоактивними речовинами, окрім тютюну.

Реєстрацію ЕЕГ виконували за допомогою комп'ютерного 24-канального електроенцефалографа «BRAINTEST» виробництва науково-виробничого підприємства «DX-системи» (м. Харків, Україна). Запис комп'ютерної ЕЕГ (кЕЕГ) виконували за допомогою 24-канального електроенцефалографа «BRAINTEST» виробництва науково-виробничого підприємства «DX-системи» (м. Харків, Україна). Реєстрацію біоелектричної активності головного мозку проводили за допомогою чашечкових срібно-хлорсрібних електродів (Ag-AgCl), накладених за допомогою літєвого гелю. ЕЕГ записували монополярно відповідно до Міжнародної системи «10–20», константу часу встановлювали на 0,3, фільтри – 75 Гц. ЕЕГ реєстрували: 1) у стані пасивного неспання із заплющеними очима протягом 1 хв; 2) стані пасивного неспання з розплющеними очима протягом 30 с; 3) гіпервентиляції при заплюще-

the Chornobyl nuclear power plant from February 24, 2022, for 5 weeks, were subsequently rehabilitated and treated at the NRCRM Clinic and underwent in-depth neuropsychiatric, neurophysiological, and neuroimaging (clinical- radiological) examination on the basis of the Department of Radiation Psychoneurology of the Institute of Clinical Radiology (ICR) of the NRCRM and the State Institution «Institute of Nuclear Medicine and Diagnostic Radiology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (INMDR). The average age of the examined was (54.5 ± 5.8) years (range 46–71 years).

3. As a comparison group, the data of clinical-neurophysiological examination of 16 men with verified chronic cerebrovascular disease/cerebral small vessels disease (SVD) who were not exposed to sources of ionizing radiation (IR) and were examined on the basis the Department of Radiation Psychoneurology of the ICR of the NRCRM in 2019–2020 before the start of a full-scale war with the Russian Federation were prospectively restored. The average age of the examined was (57.8 ± 5.6) years (range 50–70 years).

All subjects involved in the in-depth statistical analysis had higher education. The criteria for exclusion from the analysis were: female sex, the age of the examinee up to 45 years, low educational and professional level, living in a rural area, the presence at the time of the study of pronounced somato-neurological and mental pathology in the stage of decompensation; neuroinfectious and demyelinating diseases; psychoactive substances abuse, except tobacco.

EEG registration was performed using a computer 24-channel EEG-amplifier «BRAINTEST» manufactured by the research and production enterprise «DX-systems» (Kharkiv, Ukraine). Computer EEG recording (QEEG) was performed using a computer 24-channel EEG-amplifier «BRAINTEST» manufactured by the research and production enterprise «DX-systems» (Kharkiv, Ukraine). The bioelectrical activity of the brain was recorded using cupped silver-silver chloride (Ag-AgCl) electrodes superimposed with lithium gel. The EEG was recorded monopolar according to the International System «10–20», the time constant was set to 0.3, filters – 75 Hz. EEG was recorded: 1) in a state of passive wakefulness with closed eyes for 1 min; 2) passive wakefulness with eyes open for 30 seconds; 3) hyperventilation with closed eyes for 3 minutes; 4) passive wakefulness after hyperventilation

них очах протягом 3 хв; 4) стані пасивного неспання після гіпервентиляції з заплющеними очима протягом 1 хв. Оцінку та інтерпретацію базували на класичних підручниках і атласах з ЕЕГ [12, 18, 19].

Здійснювали візуальний і спектральний аналіз ЕЕГ. Епоха спектрального аналізу становила 60 с, частотний діапазон – 1–32 Гц. Із усіх ЕЕГ-записів до проведення аналізу видаляли артефактні фрагменти. Використані методи дескриптивної і варіаційної статистики, параметричні та непараметричні критерії.

РЕЗУЛЬТАТИ

При аналізі фонові конвенційної ЕЕГ спокою, зареєстрованої у суб'єктів в стані пасивного неспання із закритим очима, нами були відокремлені такі патерни в обстежених основної групи УЛНА, групи працівників ДСП ЧАЕС, а також у групі порівняння.

1. *Організований альфа-патерн*, основним компонентом якого є α -ритм з частотою 8–13 Гц, регулярний за частотою, чітко модульований за амплітудою у веретена, з середнім та високим індексом (прим. індекс – час (у відсотках), впродовж якого на будь-якому відрізку кривої ЕЕГ виражена активність у даному частотному діапазоні), добре вираженими зональними відмінностями. Остання властивість α -ритму характеризується тим, що найвищу амплітуду (50–80 мкВ) він має у потиличних відведеннях, а в напрямку до передніх відділів кори його вираженість градуально зменшується. Форма хвиль гладенька. У скроневих відділах α -ритм представлений у вигляді низькоамплітудних фрагментованих веретен. β -активність середньої та/або високої частоти, низької амплітуди, помірно виражена у фронто-центральному та скроневих відділах кори. Повільнохвильова активність виражена слабо. Може реєструватися δ - і θ -активність у вигляді поодиноких дифузних хвиль, що не перевищують амплітуду основного ритму, інколи з деяким акцентом у передніх відведеннях кори. Даний патерн фонові ЕЕГ вважається класичним варіантом норми.

2. *Дезорганізований патерн* з переважанням низько- та середньоамплітудного α -ритму, середнього індексу, слабо модульованого за амплітудою і частотою, з порушенням його нормальних топографічних особливостей (потилічно-лобного градієнту), наявністю ділянок спонтанного подавлення α -ритму у фоновому записі тривалістю не менше 3 с, з пароксизмальної активності у вигляді генералізованих пароксизмальних спалахів гострих хвиль, α -хвиль загостреної форми (часто у вигляді поширених груп та спалахів), θ - і δ -хвиль середньої та високої амплітуди, а також

with closed eyes for 1 min. Evaluation and interpretation were based on the classical EEG textbooks and atlases [12, 18, 19].

Visual and spectral analyses of EEG were carried out. The epoch of spectral analysis was 60 s, the frequency range was 1–32 Hz. Artifact fragments were removed from all EEG recordings before analysis. The methods of descriptive and variational statistics, parametric and non-parametric criteria were used.

RESULTS

When analyzing the background resting-state EEG, registered in subjects in a state of passive wakefulness with eyes closed, we distinguished the following patterns in the examined subjects of the main group of the Chernobyl clean-up workers, the group of SSE ChNPP employees, as well as in the comparison group.

1. An *organized alpha pattern*, the main component of which is an α -rhythm with a frequency of 8–13 Hz, regular in frequency, clearly modulated by the amplitude into the spindles, with a medium and high index (fn. the index is the time (in percent) during which activity in a given frequency range is expressed on any segment of the EEG curve), with well-defined zonal differences. The last property of the α -rhythm is characterized by the fact that it has the highest amplitude (50–80 μ V) in the occipital leads, and its representation gradually decreases towards the frontal parts of the cortex. The waveform is smooth. In the temporal regions, the α -rhythm is presented in the form of low-amplitude fragmented spindles. β -activity of medium and/or high frequency, low amplitude, moderately expressed in the frontocentral and temporal regions of the cortex. Slow-wave activity is weakly expressed. δ - and θ -activity can be registered in the form of single diffuse waves that do not exceed the amplitude of the main rhythm, sometimes with some emphasis in the anterior leads of the cortex. This background EEG pattern is considered a classic variant of the norm.

2. A *disorganized pattern* with a predominance of low- and medium-amplitude α -rhythm, of an average index, weakly modulated in amplitude and frequency, with a violation of its normal topographical features (occipital-frontal gradient), the presence of areas of the α -rhythm spontaneous suppression in the background recording lasting at least 3 s, with paroxysmal activity in the form of generalized paroxysmal bursts of sharp waves, α -waves of an acute form

зі збільшенням білатеральної пароксизмальної активності при гіпервентиляції. Такі зміни трактувались нами як помірні або виражені порушення церебральної біоелектричної активності регуляторного характеру з ознаками дезінтеграції функціонування стовбурово-діенцефальних структур головного мозку залежно від індексу (представленості) та морфології пароксизмальної активності, а також від вираженості дезорганізації і порушень топічного розподілу основних кіркових ритмів.

3. *Гіперсинхронний тип* з екзальтацією середньо- або високоамплітудного α -ритму, мономодального за частотою, слабо модульованого за амплітудою (аж до появи «машинного ритму» з повною відсутністю амплітудної модуляції α -ритму у веретена), з порушенням нормального топічного розподілу основних кіркових ритмів у вигляді дифузного поширення α -ритму в лобно-центральної відведення, з практично повною відсутністю зональних розбіжностей. Інші церебральні ритми на таких записах представлені слабо. При проведенні функціональних проб такий патерн практично не піддається видимим змінам або демонструє пароксизмальну активність подібну до такої у патерні № 2. Дані зміни трактувались нами як помірні або виражені порушення регуляторного характеру з ознаками гіперактивації діенцефальних структур та лімбіко-ретикулярного комплексу. Такий патерн досить часто зустрічається в осіб з тривожним типом реагування, зокрема при панічних розладах [14].

4. *Низьковольтна («плоский поліморфний тип»)* EEG (амплітуда спонтанної біоелектричної активності не перевищує 20–25 мкВ) з ексцесом повільної (δ) і швидкої (β) активності та пригніченням тета-активності (θ -активності) з пароксизмальною активністю є характерною для постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС, що зазначалось в наших попередніх роботах [20–25]. Проте плоский поліморфний тип EEG сам по собі може бути проявом нейрофізіологічної тахіаритмії при атеросклеротичному ураженні церебральних судин та органічному ураженні головного мозку іншого генезу, стресової реакції внаслідок надмірної активації ретикулярної формації стовбура головного мозку та гіпоталамічних структур, а також навіть бути психофізіологічним варіантом норми, який може зустрічатись у неврологічно та психічно здорових осіб [1, 3, 12, 14, 18]. При експертному описі фонові (конвенційної) EEG виділити певні характеристики такого типу

(often in the form of widespread groups and bursts), δ - and θ -waves of medium and high amplitude, as well as with an increase in bilateral paroxysmal activity during hyperventilation. Such changes were interpreted by us as moderate or pronounced abnormalities of cerebral bioelectrical activity of a regulatory nature with the signs of disintegration of the functioning of the stem-diencephalic structures of the brain, depending on the index (representation) and morphology of paroxysmal activity, as well as on the severity of disorganization and violations of the topical distribution of the main cortical rhythms.

3. A *hypersynchronous pattern* with the exaltation of a medium or high-amplitude α -rhythm, monomodal in frequency, weakly modulated in amplitude (up to the appearance of a «machine rhythm» with a complete absence of the α -rhythm amplitude modulation into the spindles), with a violation of the normal topical distribution of the main cortical rhythms in the form of a diffuse spread of the α -rhythm to the fronto-central leads, with an almost complete absence of zonal differences. Other cerebral rhythms are weakly represented on such recordings. When conducting functional tests, such a pattern practically does not undergo visible changes or demonstrates paroxysmal activity similar to that in pattern № 2. These changes were interpreted by us as moderate or pronounced violations of a regulatory nature with signs of hyperactivation of diencephalic structures and the limbic-reticular complex. Such a pattern is quite common in people with an anxious type of response, in particular, in panic disorders [14].

4) A *low-voltage («flat polymorphic pattern»)* EEG (amplitude of spontaneous bioelectric activity does not exceed 20–25 μ V) with an excess of slow (δ -) and fast (β -) activity and suppression of theta activity (θ -activity) with paroxysmal activity has been characteristic for the victims as a result of the Chernobyl accident, which was noted in our previous works [20–25]. However, the flat polymorphic EEG pattern itself can be a manifestation of neurophysiological tachyarrhythmia in atherosclerotic lesions of cerebral vessels and in organic lesions of the brain of another genesis, or a stress reaction due to excessive activation of the reticular formation of the brain stem and hypothalamic structures, as well as even be a psychophysiological normal variant, which can occur in neurologically and mentally healthy individuals [1, 3, 12, 14, 18]. In the expert description of the background (conventional) EEG pattern, it is a difficult task to highlight certain characteristics of this particular type of EEG, since the amplitude of the main EEG components is

ЕЕГ складно, оскільки амплітуда основних компонентів ЕЕГ є низькою, і в більшості випадків не перевищує 20 мкВ. Проте дані кількісної ЕЕГ дозволили встановити, що даний патерн не є однорідним, а має певні підтипи відповідно до частотно-спектральних характеристик електроенцефалографічної кривої, а саме з переважанням швидкої або повільної церебральної активності. Це дало змогу виділити такі підтипи даного патерну:

а) *низьковольтна дизритмія «швидкого типу»* – характеризується ексцесом високочастотної α - (11–13 Гц) та/або низькочастотної (15–17 Гц) низькоамплітудної β -активності, з дифузним топографічним розподілом по конвексу, та деяким акцентом у фронто-центральных і скроневиx відведеннях, субдомінуванням дифузної негрубої поліморфної низькоамплітудної δ -активності; такий патерн ми вважаємо нейрофізіологічним корелятом переважання активуючих впливів серединних структур на кору головного мозку, що може бути індивідуальною психофізіологічною особливістю в особистостей «художнього типу», а також стану «суперпильності» та «фізіологічної гіперзбудливості» як проявів церебральної реакції на гострий чи хронічний стрес [14]; таким чином, залежно від клінічних проявів, низьковольтна дизритмія «швидкого типу» може трактуватись або як варіант норми, або як легкі чи помірні порушення регуляторного характеру, залежно від клінічної картини, представленості повільно-хвильових компонентів при візуальному та частотно-спектральному аналізі, а також пароксизмальних форм активності.

б) *низьковольтна дизритмія «повільного типу»*; візуально даний патерн дуже подібний до попереднього, але за даними частотно-спектрального аналізу характеризується дифузним превалюванням низькоамплітудних поліморфних повільно-хвильових форм активності, переважно δ -діапазону при суттєвій редукції пароксизмальної активності; такий патерн є типовим для дифузного мікроорганічного ураження кори головного мозку та був описаний в УЛНА на ЧАЕС у віддалений період після впливу ІВ [20, 21] і трактується нами як помірні дифузні зміни церебральної біоелектричної активності органічного характеру.

5) *Дифузне сповільнення ЕЕГ (diffuse slowing)* – дезорганізований повільний тип ЕЕГ з домінуванням δ -активності, характеризується дезорганізованою активністю помірної (40–55 мкВ) або високої (70–80 мкВ) амплітуди з переважанням поліморфної δ -активності (та/або θ -) і нерегулярної α -активності та біла-

low, and in most cases does not exceed 20 μ V. However, quantitative EEG data made it possible to establish that this pattern is not homogeneous but has certain subtypes according to the frequency-spectral characteristics of the electroencephalographic curve, namely, with a predominance of either fast or slow cerebral activity. This made it possible to distinguish the following subtypes of this pattern:

a) a *low-voltage dysrhythmia of the «fast type»* is characterized by an excess of high-frequency α - (11–13 Hz) and/or low-frequency (15–17 Hz) low-amplitude β -activity, with a diffuse topographic distribution along the convexity, and some accent in the fronto-central and temporal leads, sub dominance of diffuse non-coarse polymorphic low-amplitude δ -activity; we consider this pattern to be a neurophysiological correlate of the predominance of the activating effects of midline structures on the cerebral cortex, which can be an individual psychophysiological feature in «artistic type» personalities, as well as the state of «hypervigilance» and «physiological hyperexcitability» as manifestations of the cerebral reaction to acute or chronic stress [14]; thus, depending on the clinical manifestations, low-voltage dysrhythmia of the «fast type» can be interpreted either as a variant of the norm, or as mild or moderate violations of a regulatory nature, depending on the clinical picture, the presence of slow-wave components during visual and frequency-spectral analysis, as well as paroxysmal forms of activity;

b) a *low-voltage dysrhythmia of the «slow type»*; visually, this pattern is very similar to the previous one, but according to frequency-spectral analysis, it is characterized by a diffuse predominance of low-amplitude polymorphic slow-wave forms of activity, mainly in the δ -range with a significant reduction of paroxysmal activity; this pattern is typical for diffuse micro-organic lesions of the cerebral cortex and was described in the Chornobyl clean-up workers in the remote period following exposure to IR [20, 21] and is interpreted by us as moderate diffuse changes in the cerebral bioelectric activity of organic nature.

5) *A diffuse slowing of the EEG (diffuse slowing)* is a disorganized slow type of EEG with a dominance of δ -activity, characterized by the disorganized activity of moderate (40–55 μ V) or high (70–80 μ V) amplitude with a predominance of polymorphic δ -activity (and/or θ -) and irregular α activity and

теральними пароксизмальними розрядами при гіпервентиляції, які нерідко мають епілептиформну морфологію (гострі хвилі, комплекси «гостра-повільна хвиля» та «спайк-хвиля»). Такий патерн є класичним нейрофізіологічним неспецифічним маркером енцефалопатій різної етіології [26–28] та вказує на більш виражене структурне дифузне органічне ураження кори головного мозку, ніж при наявності патерну 4Б. Таким чином, дані зміни трактуються нами як виражені дифузні зміни церебральної біоелектричної активності органічного характеру.

6) *Фокальне тривале сповільнення EEG (focal continuous slowing)* – наявність грубої поліморфної середньо- та високоамплітудної повільнохвильової δ -активності на тлі будь-якого з патернів 1–5, з чіткою латералізацією до певної ділянки головного мозку, яка займає понад 30 % запису, з наявністю епілептиформної активності у даній ділянці або без. Епілептиформна активність може бути фокальною, або зі схильністю до вторинної генералізації. Такий патерн дуже часто вказує на наявність грубого вогнищового структурного ураження головного мозку (інсульт, пухлина, фокальна кіркова дисплазія, кіста, наслідки ЧМТ, вогнище демієлінізації) та в більшості випадків потребує додаткового МРТ-обстеження для з'ясування етіології цих змін [26–28]. Даний патерн трактується нами як грубі зміни церебральної біоелектричної активності органічного характеру з наявністю вогнища патологічної активності (не)епілептиформного характеру у певній ділянці головного мозку.

Таким чином, можна зробити висновок, що ступінь порушень церебральної біоелектричної активності в групах обстеження зростає за класифікацією патерну EEG від 1 до 6. Дана експертна оцінка, на наш погляд, має суттєве практичне значення і може застосовуватись як у клінічній практиці, так і при експертному аналізі нейро- (психо-) фізіологічних дисфункцій у різних клінічних та професійних когортах пацієнтів і здорових осіб, зокрема у працівників атомної енергетики та промисловості – як при професійному відборі, так і в процесі динамічного біомедичного моніторингу.

Експертна класифікація патернів фонові конвенційної EEG наведена в таблиці 1.

Характер біоелектричної активності головного мозку пацієнтів у групі УЛНА суттєво відрізнявся від обох груп порівняння. Жоден опромінений пацієнт не мав нормальної (організованої) EEG. Найбільш характерним для віддаленого періоду опромінення є «плоский» поліморфний тип EEG повільного типу, а

bilateral paroxysmal discharges during hyperventilation, which often have an epileptiform morphology (sharp waves, «sharp-slow wave» and «spike-wave» complexes). This pattern is a classic neurophysiological non-specific marker of encephalopathies of various etiology [26–28] and indicates a more pronounced structural diffuse organic lesion of the cerebral cortex than in the presence of pattern 4B. Thus, these changes are interpreted by us as severe diffuse changes in the cerebral bioelectrical activity of an organic nature.

6) *A focal continuous slowing of the EEG (focal continuous slowing)* – the presence of coarse polymorphic medium and high-amplitude slow-wave δ -activity against the background of any of the patterns 1–5, with clear lateralization to a certain area of the brain, which occupies more than 30 % of the recording, with or without epileptiform activity in this area. Epileptiform activity can be focal, or with a tendency to secondary generalization. Such a pattern very often indicates the presence of a gross focal structural brain lesion (stroke, tumor, focal cortical dysplasia, cyst, TBI consequences, focus of demyelination) and in most cases requires an additional MRI examination to clarify the etiology of these changes [26–28]. This pattern is interpreted by us as gross changes in the cerebral bioelectrical activity of organic nature with the presence of a pathological activity focus of a (non)epileptiform nature in a certain area of the brain.

Thus, it can be concluded that the degree of cerebral bioelectric activity violations in the study groups increases according to the classification of the EEG pattern from 1 to 6. This expert assessment, in our opinion, has considerable practical significance and can be used both in clinical practice and in expert analysis of neuro- (psycho-) physiological dysfunctions in various clinical and professional cohorts of patients and healthy individuals, in particular in nuclear power and industry workers – both during professional selection and in the process of dynamic biomedical monitoring. The expert classification of background conventional EEG patterns is shown in Table 1.

The nature of the brain bioelectrical activity in patients in the Chernobyl clean-up workers group differed significantly from both comparison groups. No irradiated patient had a normal (organized) EEG. The most characteristic of the remote period following radiation exposure is the «flat» polymor-

Таблиця 1

Експертна класифікація патернів фонової (конвенційної) ЕЕГ в групах обстеження

Table 1

Expert classification of background (conventional) EEG patterns in the study groups

Патерн фонової (конвенційної) ЕЕГ Background (conventional) EEG pattern	УЛНА абс. (відн.) Chornobyl liquidators abs. (rel.) n = 22	ДСП ЧАЕС абс. (відн.) SSE ChNPP employees abs. (rel.) n = 24	Група порівняння абс. (відн.) Comparison group abs. (rel.) n = 16	χ^2 або точний критерій Фішера для таблиць 2x3 χ^2 or Fisher's exact test for 2x3 tables p
Організований альфа-патерн Organized alpha pattern	0 (0,0)	2 (0,08)	5 (0,31)	p = 0,009
Дезорганізований патерн Disorganized pattern	8 (0,36)	3 (0,13)	6 (0,38)	$\chi^2 = 4,39$, p = 0,11
Гіперсинхронний тип Hypersynchronous pattern	2 (0,09)	0 (0,0)	0 (0,0)	p = 0,19
Низьковольна дизритмія «швидкого типу» Low-voltage dysrhythmia of the «fast type»	2 (0,09)	11 (0,46)	5 (0,31)	$\chi^2 = 7,57$, p = 0,02
Низьковольна дизритмія «повільного типу» Low-voltage dysrhythmia of the «slow type»	4 (0,18)	6 (0,25)	0 (0,0)	p = 0,08
Дифузне сповільнення Diffuse slowing	4 (0,18)	2 (0,08)	0 (0,0)	p = 0,18
Фокальне сповільнення (з латералізацією до лівої скроневої ділянки) Focal continuous slowing (lateralized to the left temporal area)	2 (0,09)	0 (0,0)	0 (0,0)	p = 0,19

також загальна тенденція до сповільнення ЕЕГ-патерну, тобто заміни нормальної високочастотної активності патологічними низькочастотними коливаннями (ритмами). В сумі патерни ЕЕГ з переважанням патологічних повільнохвильових форм активності (три останні патерни в таблиці) достовірно переважали в групі УЛНА на ЧАЕС порівняно з іншими групами дослідження ($\chi^2 = 9,64$, $df = 2$, $p = 0,009$). Ці відмінності виявились дещо більш вираженими відносно групи ДСП ЧАЕС ($p = 0,29$ за точним критерієм Фішера) та достовірними відносно групи порівняння ($p = 0,001$ за точним критерієм Фішера). Патерн конвенційної ЕЕГ у групі УЛНА, на відміну від груп порівняння, має такі особливості: 1) латералізаційний ефект – переважне залучення лівої гемісфери, особливо лобно-скроневої ділянки; 2) збільшення δ -активності при зменшенні α - і θ -активності; 3) «плоский» поліморфний тип ЕЕГ. Простежена тенденція до збільшення індексу низькоамплітудної (< 20 мкВ) β -активності у віддалений період після аварії [20–25].

Одним з пояснень зростання частоти «плоского» поліморфного патерну ЕЕГ у групі УЛНА може бути їх постаріння. Такий патерн ЕЕГ є типовим для пригнічення кортико-лімбічної системи і має такі ознаки:

phic EEG pattern of the «slow type», as well as the general tendency to slow down the EEG pattern, that is, the replacement of normal high-frequency activity by pathological low-frequency oscillations (rhythms). In total, EEG patterns with a predominance of pathological slow-wave forms of activity (the last three patterns in the table) significantly prevailed in the Chornobyl liquidators compared to other study groups ($\chi^2 = 9.64$, $df = 2$, $p = 0.009$). These differences were slightly more pronounced relative to the SSE ChNPP employees group ($p = 0.29$ by Fisher's exact test) and significant relative to the comparison group ($p = 0.001$ by Fisher's exact test). The pattern of the conventional EEG in the Chornobyl clean-up workers group, in contrast to the comparison groups, has the following features: 1) lateralization effect – predominant involvement of the left hemisphere, especially the frontotemporal area; 2) an increase in δ -activity with a decrease in α - and θ -activity; 3) «flat» polymorphic type of EEG. A trend towards an increase in the index of low-amplitude (< 20 μ V) β -activity in the remote period following the Chornobyl accident was observed [20–25].

One of the explanations for the increase in the frequency of the «flat» polymorphic EEG pattern in the Chornobyl clean-up workers group may be their aging. This EEG pattern is typical for inhibition of the cortico-limbic system and has the following features:

- а) значне збільшення δ -активності, латералізованої до лівої лобно-скроневої ділянки, що відбиває розгальмування глибоких кортикальних і таламічних нейронів внаслідок пригнічення ретикулярної форми та заднього гіпоталамусу;
- б) значне дифузне збільшення β -активності, що свідчить про дисфункцію кортикокортикальних та таламокортикальних взаємодій, а також про посилення впливу таламуса і хвостатого ядра на кору великих півкуль;
- в) редукція α -активності, що вказує на ураження кори головного мозку та дисфункцію стовбурових структур;
- г) значна редукція θ -активності, що свідчить про кортико-лімбічну, особливо гіпокаммальну гіпофункцію [20–25].

Отже, у віддалений період після аварії на ЧАЕС у групі УЛНА нейрофізіологічні порушення свідчать про органічне ураження головного мозку з переважним пригніченням кортико-лімбічної системи лівої домінуючої півкулі. Отриманий нейрофізіологічний патерн узгоджується з нашими даними щодо радіаційно-індукованих змін ЕЕГ у людини [20, 21]. Таким чином, дані нейрофізіологічного обстеження підтверджують дані нейропсихологічного обстеження і вказують на локалізацію патологічного процесу у обстежуваних групі УЛНА в передніх відділах лівої церебральної гемісфери.

Інші тенденції були виявлені у групі працівників ДСП ЧАЕС. Частота нормального організованого альфа-патерну ($p = 0,07$ за точним критерієм Фішера), а також дезорганізованого патерну ($p = 0,10$ за точним критерієм Фішера), в них була суттєво нижчою, ніж у групі порівняння. Також простежувалась тенденція до зниження частоти дезорганізованого патерну і відносно групи УЛНА у працівників ДСП ЧАЕС ($p = 0,09$ за точним критерієм Фішера). Проте в даній групі виявилась досить промовиста тенденція до збільшення частоти низьковольтної дизритмії «швидкого типу», яка була достовірною відносно групи УЛНА на ЧАЕС ($\chi^2 = 7,64, p = 0,006$), а також дещо підвищеною порівняно з групою порівняння ($\chi^2 = 0,85, p = 0,36$). Даний феномен заслуговує окремого обговорення.

Дані комп'ютеризованої кЕЕГ засвідчили наявність у групі УЛНА виражених патологічних змін спонтанної біоелектричної активності. У групі УЛНА на ЧАЕС достовірно порівняно з групами порівняння та працівників ДСП ЧАЕС ($p < 0,05$ – $0,001$) дифузно збільшена відносна (%) спектральна потужність дельта (> 0 – $4,0$ Гц) діапазону кЕЕГ, виявлено дос-

- а) a significant increase in δ -activity, lateralized to the left frontotemporal area, which reflects the disinhibition of deep cortical and thalamic neurons due to inhibition of the reticular formation and the posterior hypothalamus;
- б) a significant diffuse increase in β -activity, which indicates dysfunction of corticocortical and thalamocortical interactions, as well as increased influence of the thalamus and caudate nucleus on the cortex of the large hemispheres;
- в) reduction of α -activity, which indicates damage to the cerebral cortex and dysfunction of the stem structures;
- г) significant reduction of θ -activity, which indicates cortico-limbic, especially hippocampal hypofunction [20–25].

Thus, in the remote period following the accident at ChNPP in the Chernobyl clean-up workers group, neurophysiological disorders indicate organic brain damage with predominant suppression of the cortico-limbic system of the left dominant hemisphere. The obtained neurophysiological pattern is consistent with our data on radiation-induced EEG changes in humans [20, 21]. In this connection, the data of the neurophysiological examination confirm the data of the neuropsychological examination and point to the localization of the pathological process in the examined group of clean-up workers in the anterior parts of the left cerebral hemisphere.

Other trends were found in the group of SSE ChNPP employees. The frequency of a normal organized alpha pattern ($p = 0.07$ according to Fisher's exact test), as well as a disorganized pattern ($p = 0.10$ according to Fisher's exact test), was lower in them than in the comparison group. There was also a tendency to decrease the frequency of the disorganized pattern relative to the Chernobyl clean-up workers group in SSE ChNPP employees ($p = 0.09$ according to Fisher's exact test). However, in this group, there was a rather significant trend towards an increase in the frequency of low-voltage dysrhythmias of the «fast type», which turned out to be reliable relative to the Chernobyl clean-up workers group ($\chi^2 = 7.64, p = 0.006$), and also slightly increased relative to the comparison group ($\chi^2 = 0.85, p = 0.36$). This phenomenon deserves a separate discussion.

Computerized QEEG data confirmed the presence of pronounced pathological abnormalities in spontaneous bioelectrical activity in the Chernobyl clean-up workers group. In the Chernobyl clean-up workers, the relative (%) spectral delta-power

товірне білатеральне зниження відносної спектральної тета-потужності ($> 4,0-7,0$ Гц) у фронтальних ділянках ($p < 0,05-0,01$), достовірно збільшена абсолютна спектральна потужність дельта-діапазону у лівій постеро-темпоральній ділянці порівняно з обома групами порівняння ($p < 0,05-0,001$) (табл. 2,3). Відповідно до наших попередніх даних, раніше спостерігалось радіаційно-асоційоване зниження тета-діапазону кЕЕГ, що інтерпретувалося як інгібіція гіпокампу. Крім того, у групі УЛНА продемонстровано зниження відносної спектральної бета-потужності ($p < 0,05$), дифузне зниження абсолютної і відносної спектральної альфа-потужності (8–13 Гц) з акцентом у лівій фронто-темпоральній та темпоро-окципітальній ділянці, а також достовірне зниження відносної спектральної бета-потужності у потиличних відведеннях і симетричне дифузне зниження абсолютної бета-потужності ($> 13-30$ Гц) практично в усіх відведеннях кЕЕГ ($p < 0,05-0,001$) відносно груп порівняння (табл. 2, 3). Виявлені зміни засвідчують вірогідний вплив процесів старіння на функціонування головного мозку після опромінення. Достовірне зниження відносної спектральної тета-потужності у лобних відведеннях може бути нейрофізіологічним корелятом *функціональної гіпофронтальності* – зниженням функції лобових часток головного мозку, яка клінічно виявляється у порушеннях вищих психічних функцій (короткотривалої пам'яті, уваги, мислення тощо), нетриманні афектів, недотриманні соціальних норм і правил, розгальмованості, а також у патопсихологічно дефіцитарній шизофреноподібній симптоматиці [29–30]. Загалом, нейрофізіологічний патерн, за даними кЕЕГ в УЛНА на ЧАЕС, можна охарактеризувати як тенденцію до дифузного сповільнення біоелектричної активності головного мозку (diffuse slowing), тобто заміщення нормальної ритміки головного мозку у альфа- та бета-діапазоні низькочастотними (повільнохвильовими) формами активності. Такі зміни свідчать про дифузне багаторівневе органічне ураження головного мозку в УЛНА на ЧАЕС, яке характеризується глибокою дисфункцією стовбурово-дienceфальних структур, прогресуючим характером енцефалопатії з переважним залученням кортико-лімбічної системи лівої (домінантної) півкулі головного мозку, що може бути обумовленим впливом прискореного старіння головного мозку у віддалений період після впливу ІВ.

У групі ДСП ЧАЕС спостерігалось подібне до УЛНА, хоча й менш виразне, зниження відносної

($> 0-4.0$ Hz) of the QEEG range was diffusely increased significantly relative to the comparison group and SSE ChNPP employees ($p < 0.05-0.001$), and a significant bilateral decrease in the relative spectral theta-power ($> 4.0-7.0$ Hz) was detected in the frontal areas ($p < 0.05-0.01$), absolute spectral power of the delta range in the left posterior-temporal area significantly increased relative to both comparison groups ($p < 0.05-0.001$) (Tables 2, 3). Consistent with our previous data [20–25], a radiation-associated decrease in the QEEG theta range was previously observed, interpreted as hippocampal inhibition. In addition, the Chernobyl clean-up workers group demonstrated a decrease in the relative spectral beta-power ($p < 0.05$), a diffuse decrease in the absolute and relative spectral alpha-power (8–13 Hz) with an emphasis in the left frontotemporal and temporooccipital areas, and also a significant decrease in the relative spectral beta power in the occipital leads and a symmetrical diffuse decrease in the absolute beta power ($> 13-30$ Hz) in almost all QEEG leads ($p < 0.05-0.001$) relative to the comparison groups (Tables 2, 3). The detected changes testify to the probable influence of aging processes on the brain functioning after irradiation. A significant decrease in the relative spectral theta power in the frontal leads can be a neurophysiological correlate of *functional hypofrontality* – a decrease in the function of the frontal lobes of the brain, which is clinically manifested in disorders of higher mental functions (short-term memory, attention, thinking, etc.), incontinence of affects, non-observance of social norms and rules, disinhibition, as well as pathopsychological deficient schizophrenic symptoms [29–30]. In general, the neurophysiological pattern according to QEEG data in the Chernobyl clean-up workers can be characterized as a tendency towards diffuse slowing of brain bioelectric activity, i.e. replacement of normal brain rhythms in the alpha and beta range by low-frequency (slow-wave) forms of activity. Such changes indicate a diffuse multilevel organic brain lesion in the Chernobyl clean-up workers, which is characterized by profound dysfunction of the stem-diencephalic structures, the progressive nature of encephalopathy with the predominant involvement of the cortico-limbic system of the left (dominant) hemisphere of the brain, which may be due to the effect of accelerated brain aging brain in the remote period following exposure to IR.

In the SSE ChNPP employees group, a decrease in the relative spectral theta-power in the frontal

Таблиця 2

Результати комп'ютерної електроенцефалографії (відносна спектральна потужність) у групах обстеження

Table 2

Results of computer electroencephalography (relative spectral power) in the study groups

Показник, відведення Index, EEG lead	УЛНА Chornobyl liquidators n = 22 (M ± SD)	ДСП ЧАЕС SSE ChNPP employees n = 24 (M ± SD)	Група порівняння Comparison group n = 16 (M ± SD)
Відносна спектральна дельта-потужність, % / Relative spectral delta-power, %			
Fp1	64,2 ± 20,1 ^{2,5}	41,4 ± 20,7	42,6 ± 18,0
Fp2	55,9 ± 18,6 ^{1,4}	43,8 ± 19,2	42,4 ± 20,4
F7	52,0 ± 15,9 ^{3,5}	38,8 ± 19,9	32,5 ± 15,8
F3	51,0 ± 18,4 ^{3,5}	41,1 ± 20,1 ¹	30,5 ± 15,1
F4	52,1 ± 21,1 ^{2,5}	35,0 ± 20,0	32,7 ± 18,7
F8	52,9 ± 18,8 ^{2,5}	35,8 ± 18,3	34,3 ± 17,2
T3	47,8 ± 22,0 ^{2,4}	35,8 ± 19,9	29,7 ± 16,3
C3	48,7 ± 18,3 ²	40,0 ± 24,2 ¹	28,6 ± 17,7
C4	47,2 ± 21,1 ^{1,4}	32,3 ± 18,8	29,0 ± 18,8
T4	53,9 ± 21,0 ^{3,5}	34,3 ± 19,8	33,8 ± 20,4
T5	45,1 ± 19,4 ^{3,5}	33,0 ± 21,7	23,8 ± 13,1
P3	42,5 ± 22,6 ¹	34,0 ± 17,2 ¹	24,9 ± 16,7
P4	44,2 ± 25,2 ^{2,4}	30,8 ± 18,0	24,3 ± 17,4
T6	43,6 ± 22,9 ^{1,4}	31,8 ± 18,6	27,4 ± 16,5
O1	43,8 ± 21,3 ^{3,6}	25,4 ± 15,9	21,7 ± 13,9
O2	38,8 ± 21,0 ^{2,5}	27,3 ± 16,7	20,8 ± 14,8
Відносна спектральна тета-потужність, %			
Fp1	10,2 ± 20,1 ^{2,5}	19,6 ± 15,0	16,2 ± 6,9
Fp2	11,8 ± 18,6 ¹	13,8 ± 5,4	15,4 ± 5,9
F7	11,6 ± 15,9 ¹	13,8 ± 5,6*	18,0 ± 5,6
F3	12,8 ± 18,4 ²	14,5 ± 5,8*	18,7 ± 5,8
F4	12,7 ± 21,1 ¹	15,7 ± 5,9	17,0 ± 6,4
F8	12,1 ± 18,8 ¹	14,7 ± 6,7	16,3 ± 5,8
Відносна спектральна альфа-потужність, %			
Fp1	15,9 ± 13,2 ¹	16,3 ± 13,0 ²	26,7 ± 12,8
F7	20,4 ± 14,3 ¹	19,5 ± 13,3 ¹	32,9 ± 14,1
F3	22,2 ± 15,9 ¹	20,4 ± 13,3 ²	34,8 ± 14,3
F8	21,0 ± 15,2 ¹	20,3 ± 13,4 ¹	31,3 ± 14,2
T3	23,4 ± 17,2 ¹	22,5 ± 14,9 ²	37,0 ± 15,0
C3	24,8 ± 16,4 ¹	23,4 ± 17,4 ¹	38,8 ± 16,0
T4	22,0 ± 14,7 ¹	25,3 ± 16,1 ¹	33,5 ± 14,1
T5	26,8 ± 18,5 ²	27,1 ± 17,1 ²	44,5 ± 15,4
P3	31,9 ± 20,9 ¹	28,5 ± 18,7 ²	45,8 ± 17,4
P4	30,4 ± 22,4 ¹	28,9 ± 18,9 ²	46,5 ± 17,8
O1	30,9 ± 20,6 ²	36,6 ± 18,8 ²	52,4 ± 18,0
O2	35,0 ± 21,0 ²	34,5 ± 18,9 ²	54,1 ± 19,0
Відносна спектральна бета-потужність, %			
Fp2	15,4 ± 8,6 ⁴	24,1 ± 14,1 ¹	16,1 ± 7,2
F8	15,3 ± 5,7 ^{1,6}	29,2 ± 16,7 ¹	20,8 ± 9,7
T5	14,0 ± 4,6 ^{1,6}	27,3 ± 15,7 ¹	18,6 ± 6,0
P3	11,7 ± 3,7 ^{2,6}	25,7 ± 14,1 ¹	16,6 ± 6,4
P4	10,8 ± 5,2 ^{2,6}	28,2 ± 14,5 ²	16,9 ± 6,7
T6	12,5 ± 6,4 ^{1,6}	28,2 ± 14,7 ¹	17,7 ± 7,7
O1	12,0 ± 4,7 ^{1,6}	26,4 ± 14,8 ²	16,2 ± 5,6
O2	11,3 ± 3,9 ^{1,6}	26,9 ± 14,1 ²	14,5 ± 5,2

Примітки. 1, 2, 3 – достовірність різниці з рівнем статистичної значущості $p < 0,05$; $p < 0,01$ та $p < 0,001$ відповідно по відношенню до групи порівняння за t -критерієм Стьюдента; 4, 5, 6 – достовірність різниці з рівнем статистичної значущості $p < 0,05$; $p < 0,01$ та $p < 0,001$ відповідно по відношенню до групи ДСП ЧАЕС за t -критерієм Стьюдента.

Notes. 1, 2, 3 – the reliability of the difference with the level of statistical significance $p < 0.05$, $p < 0.01$ and $p < 0.001$, respectively, in relation to the comparison group according to the Student's t -test; 4, 5, 6 – the reliability of the difference with the level of statistical significance $p < 0.05$, $p < 0.01$ and $p < 0.001$, respectively, in relation to the SSE ChNPP employees group by Student's t -test.

Таблиця 3

Результати комп'ютерної електроенцефалографії (абсолютна спектральна потужність) у групах обстеження

Table 3

Results of computer electroencephalography (absolute spectral power) in the study groups

Показник, відведення Index, EEG lead	УЛНА Chornobyl liquidators n = 22 (M ± SD)	ДСП ЧАЕС SSE ChNPP employees n = 24 (M ± SD)	Група порівняння Comparison group n = 16 (M ± SD)
Абсолютна спектральна дельта-потужність, мкВ²/Гц // Absolute spectral delta-power, μV²/Hz			
Fp1	123,8 ± 95,4 ^{1,4}	73,5 ± 60,6	68,8 ± 52,6
T5	46,1 ± 36,3*	47,3 ± 40,5 ¹	26,7 ± 15,4
Абсолютна спектральна тета-потужність, мкВ²/Гц // Absolute spectral theta-power, μV²/Hz			
Fp2	12,6 ± 6,7 ¹	17,4 ± 27,9	23,3 ± 16,4
F3	13,6 ± 7,4 ¹	17,7 ± 26,2	29,2 ± 27,9
F4	15,2 ± 9,4 ¹	20,2 ± 36,7	29,3 ± 23,9
F8	13,2 ± 7,9 ¹	17,5 ± 20,7	24,0 ± 18,6
T3	10,6 ± 6,5 ¹	11,8 ± 24,3	23,6 ± 24,1
C3	12,9 ± 7,7 ¹	21,0 ± 20,0	22,6 ± 17,8
C4	13,4 ± 8,4 ¹	16,4 ± 18,2	22,8 ± 16,8
T4	12,2 ± 8,0 ¹	15,6 ± 17,1	21,5 ± 15,1
Абсолютна спектральна альфа-потужність, мкВ²/Гц // Absolute spectral alpha-power, μV²/Hz			
Fp1	24,5 ± 24,9 ^{1,4}	39,3 ± 22,3	45,3 ± 35,4
Fp2	21,6 ± 28,5 ¹	18,2 ± 28,6 ²	45,7 ± 37,6
F7	22,3 ± 23,9 ¹	25,0 ± 31,9 ¹	49,3 ± 37,6
F3	27,0 ± 32,2 ¹	22,8 ± 31,9 ¹	57,3 ± 45,8
F4	28,8 ± 35,7 ¹	28,8 ± 35,7 ²	56,5 ± 43,7
T3	28,3 ± 30,1 ^{1,4}	17,6 ± 30,1 ³	56,9 ± 40,1
C3	35,4 ± 37,6 ¹	26,4 ± 36,2 ²	63,9 ± 45,4
T4	27,9 ± 26,5 ¹	27,2 ± 26,5 ¹	53,9 ± 37,9
P4	60,5 ± 77,9	35,3 ± 35,4	92,8 ± 69,5
O1	77,8 ± 73,4 ¹	47,2 ± 71,5 ²	126,0 ± 104,0
O2	65,9 ± 62,5 ¹	38,9 ± 62,5 ²	127,5 ± 107,2
Абсолютна спектральна бета-потужність, мкВ²/Гц // Absolute spectral beta-power, μV²/Hz			
F7	14,8 ± 9,4 ^{1,4}	49,8 ± 47,3	26,8 ± 20,7
F3	13,9 ± 8,1 ^{1,4}	26,7 ± 21,1	26,6 ± 21,6
F8	14,9 ± 8,7	27,7 ± 25,2	28,0 ± 22,6
F4	14,9 ± 9,9 ¹	38,3 ± 31,6	24,5 ± 17,3
T3	15,3 ± 9,7 ¹	20,9 ± 27,5	28,9 ± 22,2
C3	14,5 ± 8,4 ¹	26,1 ± 30,7	27,6 ± 20,5
C4	14,8 ± 8,9 ¹	27,9 ± 35,8	27,7 ± 20,8
T4	14,0 ± 8,8 ¹	26,0 ± 26,5	27,3 ± 20,3
T5	13,4 ± 8,5 ²	22,6 ± 24,5	29,1 ± 22,1
P3	13,4 ± 8,9 ²	26,7 ± 24,8	28,5 ± 21,5
P4	13,7 ± 8,4 ²	26,9 ± 37,8	28,1 ± 21,3
T6	14,0 ± 9,2 ²	24,5 ± 30,8	28,4 ± 19,4
O1	15,3 ± 10,4 ²	27,9 ± 33,9	26,9 ± 18,4
O2	12,8 ± 9,9	24,1 ± 25,5	26,7 ± 19,5

Примітки. 1, 2, 3 – достовірність різниці з рівнем статистичної значущості $p < 0,05$; $p < 0,01$ та $p < 0,001$ відповідно по відношенню до групи порівняння за t -критерієм Стьюдента; 4, 5, 6 – достовірність різниці з рівнем статистичної значущості $p < 0,05$; $p < 0,01$ та $p < 0,001$ відповідно по відношенню до групи ДСП ЧАЕС за t -критерієм Стьюдента.

Notes. 1, 2, 3 – the reliability of the difference with the level of statistical significance $p < 0.05$, $p < 0.01$ and $p < 0.001$, respectively, in relation to the comparison group according to the Student's t -test; 4, 5, 6 – the reliability of the difference with the level of statistical significance $p < 0.05$, $p < 0.01$ and $p < 0.001$, respectively, in relation to the SSE ChNPP employees group by Student's t -test.

спектральної тета-потужності у лобових частках відносно групи порівняння, яке у лівій фронтотемпоральній ділянці сягнуло ступеня достовірності ($p < 0,05$). Також звертало на себе увагу характерна дифузна депресія відносної та абсолют-

regions, similar to the one in the clean-up workers, although less pronounced, was observed compared to the comparison group, which reached the level of significance in the left frontotemporal region ($p < 0.05$). The characteristic diffuse depression of relative and

ної спектральної альфа-потужності практично в усіх відведеннях кЕЕГ, яка виявилась достовірною відносно групи порівняння ($p < 0,05-0,01$) та на рівні деяких тенденцій відносно групи УЛНА ($p > 0,05$). Ці зміни супроводжувались зростанням відносної бета-потужності, яке виявилось високостовірним у лобних, потиличних (з деякою латералізацією до правої півкулі головного мозку) та лівій скроневій ділянці відносно групи УЛНА ($p < 0,001$) і достовірним у правому лобному, правому тім'яному та обох потиличних відведеннях відносно групи порівняння ($p < 0,05-0,01$). Такі тенденції засвідчують зміни церебральної ритміки у працівників ДСП ЧАЕС, які є протилежними до таких в УЛНА, а саме – більша представленість у кількісній ЕЕГ не «повільних» (низьких) частот, а «швидких» (високих) бета-частот та частот альфа-2 діапазону (excessive fast activity), що ми трактуємо як перевагу десинхронних (активуючих) впливів структур лімбіко-ретикулярного комплексу (зокрема, мигдалеподібного тіла) на кору головного мозку. Дані кількісної ЕЕГ цілком збігаються з результатами експертного аналізу фонові (конвенційної) ЕЕГ, які засвідчили тенденції до зростання частоти саме тих патернів ЕЕГ в групі ДСП ЧАЕС, які візуально містять великий відсоток високочастотних компонентів – дезорганізованого патерну та низьковольтної дизритмії швидкого типу. Такі зміни можуть бути психофізіологічним корелятом тривожних станів, зокрема панічних розладів, ПТСР тощо. Крім того, депресія відносної спектральної тета-потужності у групі ДСП ЧАЕС, подібна до такої в УЛНА, може бути маркером *функціональної гіпофронтальності*, поведінкові кореляти якої описані вище. Питома вага внеску таких факторів, як імовірного впливу малих доз ІВ внаслідок професійних особливостей, а також психоемоційного стресу, пов'язаного з перебуванням у полоні російських військових на ЧАЕС, у виникненні цих змін залишається вельми дискусійною. Необхідні додаткові дослідження з метою з'ясування стійкості та генезу даних нейрофізіологічних особливостей.

ОБГОВОРЕННЯ

З самого початку становлення ЕЕГ як діагностичного методу перед ним ставилось завдання пошуку корелятив між порушеннями психічної діяльності та біоелектричною картиною головного мозку. Проте знайти специфічні ознаки на ЕЕГ,

absolute spectral alpha-power in almost all QEEG leads was also noteworthy and proved to be reliable relative to the comparison group ($p < 0.05-0.01$) and at the level of some tendencies relative to the Chernobyl clean-up workers group ($p > 0.05$). These changes were accompanied by an increase in the relative beta-power, which was found to be highly reliable in the frontal, occipital (with some lateralization to the right cerebral hemisphere), and left temporal regions relative to the Chernobyl clean-up workers group ($p < 0.001$) and reliable in the right frontal, right parietal, and both occipital leads relative to the comparison group ($p < 0.05-0.01$). Such trends testify to changes in cerebral rhythms in the SSE ChNPP employees, which are opposite to those in the Chernobyl clean-up workers, namely, a greater representation in the quantitative EEG of not «slow» (low) frequencies, but «fast» (high) beta frequencies and alpha-2 frequencies (excessive fast activity), which we interpret as a preponderance of asynchronous (activating) effects of the limbic-reticular complex structures (in particular, the amygdala) on the cerebral cortex. Quantitative EEG data completely coincide with the results of expert analysis of background (conventional) EEG, which showed a trend towards an increase in the frequency of those EEG patterns visually containing a large percentage of high-frequency components – a disorganized pattern and a low-voltage dysrhythmia of the «fast type» in the SSE ChNPP employees group. Such changes can be a psychophysiological correlate of anxiety states, in particular panic disorders, post-traumatic stress disorder (PTSD), etc. In addition, the depression of relative spectral theta-power in the SSE ChNPP employees group, similar to that in the Chernobyl clean-up workers, may be a marker of *functional hypofrontality*, the behavioral correlates of which are described above. The specific weight of the contribution of such factors as the probable impact of low doses of IR due to professional characteristics, as well as psycho-emotional stress associated with being in captivity of the Russian military on ChNPP, remains highly debatable in the occurrence of these changes. Additional research is needed to clarify the stability and genesis of these neurophysiological features.

DISCUSSION

From the very beginning of the development of EEG as a diagnostic method, it was faced with the task of finding correlations between disorders of mental activity and the bioelectric picture of the brain. However, it has not yet been possible to find specific signs on EEG

які переконливо б свідчили про наявність того чи іншого психічного розладу, досі не вдалося. Однак ці пошуки як тривали в минулому, так продовжуються і донині. Деякі автори відмічали, що, наприклад, високий мю-ритм або повільний еквівалент мю-ритму в тета-діапазоні, як правило, супроводжують клінічну картину невротичних розладів, проте загального визнання ці маркери поки що не отримали [31–32].

Загальновідомо, що ЕЕГ оцінює два функціональних стани: сон і свідомість. Проте рівень останньої не є стаціонарним, а постійно змінюється. Такий дрейф рівня свідомості може бути як фізіологічним, так і аномальним, патологічним явищем. Крім того, рівень свідомості нерозривно пов'язаний з основною функціональною діяльністю головного мозку – процесом мислення. Результати психофізіологічних досліджень засвідчують можливість встановлення домінуючого характеру розумової діяльності за особливостями формування біоелектричної активності головного мозку, що є дуже важливим і перспективним в діагностиці панічних розладів та інших різноманітних форм неврозів [14]. Стартовим моментом процесу пошуку зв'язків особливостей ЕЕГ з варіантами невротичних станів було відкриття збігу тривожних скарг та феномену просторово поширеного альфа-ритму, причому така закономірність продемонструвала високу відтворюваність у різних групах пацієнтів [33]. Низьковольтні дизритмії повільного типу, коли на ЕЕГ переважає невисока невизначена ритміка у вигляді поєднання низьких тета-, альфа- і низькочастотних бета-коливань, свідчать про зниження рівня свідомості, а візуально схожа крива, але з переважанням дифузної бета-активності є ознакою станів «суперпильності», що клінічно виявляється підвищеною драгівливістю, експлозивністю, підвищеною кольоровою гаммою відтворення уявних зорових образів, що відповідає так званому «художньому типу» особистості [14]. Повідомляли про дифузне зростання коливань β -діапазону у спектрі ЕЕГ у пацієнтів з біполярним депресивним розладом [34]. Відомо, що бета-ритмічні коливання можуть сприяти синхронізації нейронних елементів у різних кіркових системах, пов'язаних з різними моторними та когнітивними функціями [12]. Низьковольтні дизритмії швидкого типу на ЕЕГ в амбулаторного пацієнта у стані пасивного неспання обумовлені вираженням переважанням висхідних (активуючих, десинхронізуючих) впливів над гальмівними у ЦНС. Більшість людей з таким типом ЕЕГ є неврологічно та психічно здоро-

that would convincingly indicate the presence of one or another mental disorder. Nevertheless, these searches both lasted in the past and continue to this day. Some authors noted that, for example, a high mu-rhythm or a slow mu-rhythm equivalent in the theta range usually accompanies the clinical picture of neurotic disorders, but these markers have not yet received general recognition [31–32].

It is generally known that EEG evaluates two functional states: sleep and consciousness. However, the level of the latter is not stationary, but constantly changes. Such a drift in the level of consciousness can be both a physiological and an abnormal, pathological phenomenon [14]. In addition, the level of consciousness is inextricably linked with the main functional activity of the brain - the thinking process. The results of psychophysiological studies testify to the possibility of establishing the dominant nature of mental activity based on the features of the formation of bioelectrical activity of the brain, which is very important and promising in the diagnosis of panic disorders and other various forms of neuroses [14]. The starting point of the process of finding associations between specific EEG features and variants of neurotic states was the discovery of the coincidence of anxiety complaints and the phenomenon of the spatially widespread alpha rhythm, and this consistent pattern demonstrated high reproducibility in different groups of patients [33]. Low-voltage dysrhythmias of the slow type, when the EEG is dominated by a low, uncertain rhythm in the form of a combination of low theta, alpha, and low-frequency beta oscillations, indicate a decrease in the level of consciousness, and a visually similar curve, but with a predominance of diffuse beta activity, is a sign of states of «hypervigilance», which is clinically manifested by increased irritability, explosiveness, increased color gamut of reproduction of imaginary visual images, which corresponds to the so-called «artistic type» of the personality [14]. A diffuse increase in β -band oscillations in the EEG spectrum was reported in patients with bipolar depressive disorder [34]. It is known that beta rhythmic oscillations can contribute to the synchronization of neuronal elements in different cortical systems associated with various motor and cognitive functions [12]. Low-voltage dysrhythmias of the fast type on the EEG in an ambulatory patient in a state of passive wakefulness are caused by a pronounced predominance of ascending (activating, desynchronizing) influences over inhibitory ones in the central nervous system. Most people with this

вими, а вищезазначена нейрофізіологічна особливість є індивідуальним варіантом мозкової діяльності, проте такі люди можуть відзначати наявність станів внутрішньої напруженості, інколи немотивованої дратівливості [3, 14]. Варіанти низьковольтної дизритмії швидкого типу іноді зустрічаються при синдромі дефіциту уваги з гіперактивністю (СДВГ) та можуть трактуватись як стан «суперпильності» [35]. Ці нейрофізіологічні особливості є досить цікавими у потенційній діагностиці тривожних та асоційованих зі стресом розладів, зокрема ПТСР, що вкрай актуально в умовах погіршення психічного здоров'я населення України через вплив повномасштабної війни з РФ.

Посттравматичний стресовий розлад (ПТСР) відрізняється від тривожних розладів за своєю етіологією та клінічною симптоматикою і був перекласифікований у розлади, пов'язані з травмою та стресором, у DSM-5. Тривають дослідження, що мають на меті знайти нейрофізіологічні кореляти, які відрізняють ПТСР від тривожних розладів за допомогою кількісної електроенцефалографії у стані спокою (кЕЕГ) [12, 36]. Було показано, що підвищені загальні абсолютні дельта-потужності та відносні гамма-потужності є потенційними маркерами, які можуть диференціювати ПТСР від тривожних розладів. Крім того, збільшення фронтальної абсолютної гамма- і задньої дельта-потужностей може бути новим маркером ПТСР, що може відображати його чітку симптоматику [37]. У випадках посттравматичного стресового розладу (ПТСР), пов'язаного з фактичним фізичним і сексуальним насильством, порушення ЕЕГ можуть бути присутніми переважно в лобно-скроневих ділянках [12]. Хоча попередні дослідження встановили, що віртуальну реальність (VR) можна успішно використовувати для лікування тривожних розладів, включаючи фобії і посттравматичний стресовий розлад, жодне дослідження не вивчало зміни в патернах мозку, пов'язані з використанням VR для генералізованої тривоги. Було показано, що втручання VR призводить до зміщення пропорційної потужності з вищих бета-частот на нижчі бета-частоти і значно знижує широкосмугову бета-активність у передній частині поясної кори головного мозку. Ці ефекти узгоджуються з фізіологічним зниженням тривоги. Це пілотне дослідження надає попередні докази, що підтверджують терапевтичний потенціал VR для програм управління тривогою та зниження стресу [38].

Дослідження кЕЕГ асиметрії при тривожних розладах вказують на дисфункції правої, субдомінантної, півкулі [39–42], на відміну від лівопівкульних дисфункцій при пострадіаційних церебральних уражен-

type of EEG are neurologically and mentally healthy, and the above-mentioned neurophysiological feature is an individual type of brain activity, however, such people can note the presence of states of internal tension, sometimes unmotivated irritability [3, 14]. Variants of low-voltage dysrhythmias of the fast type sometimes occur in attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) and can be interpreted as a state of «hypervigilance» [35]. These neurophysiological features are quite interesting in the potential diagnosis of anxiety and stress-related disorders, in particular PTSD, which is extremely relevant in the conditions of the mental health deterioration of the population of Ukraine due to the impact of a full-scale war with the Russian Federation.

Posttraumatic stress disorder (PTSD) differs from anxiety disorders in its etiology and clinical symptoms and was reclassified as a trauma- and stress-related disorder in DSM-5. Studies are ongoing that aim to find neurophysiological correlates differentiating PTSD from anxiety disorders using resting quantitative electroencephalography (QEEG) [12, 36]. Elevated total absolute delta powers and relative gamma powers have been shown to be potential markers that can differentiate PTSD from anxiety disorders. In addition, an increase in frontal absolute gamma and posterior delta powers can be a new marker of PTSD, which can reflect its clear symptoms [37]. In cases of post-traumatic stress disorder (PTSD) associated with actual physical and sexual violence, EEG abnormalities may be present mainly in the frontotemporal regions [12]. Although previous studies have found that virtual reality (VR) can be successfully used to treat anxiety disorders, including phobias and PTSD, no studies have examined the changes in brain patterns associated with the use of VR for generalized anxiety. VR intervention has been shown to shift proportional power from higher beta frequencies to lower beta frequencies and significantly reduce broadband beta activity in the anterior cingulate cortex. These effects are consistent with a physiological reduction in anxiety. This pilot study provides preliminary evidence supporting the therapeutic potential of VR for anxiety management and stress reduction programs [38].

Studies of QEEG asymmetry in anxiety disorders indicate dysfunctions of the right, subdominant, hemisphere [39–42], in contrast to left hemisphere dysfunctions in post-radiation cere-

нях [20–25, 43–45]. У дітей, які зазнали психологічного, фізичного та сексуального насильства, крім електрофізіологічних відхилень, були виявлені аномалії при неврологічних обстеженнях, нейропсихологічних тестах і візуалізаційних дослідженнях [46]. Пацієнти з підвищеним рівнем тривожності демонструють більший рівень α -активності у правій лобовій частці, ніж у пацієнтів без тривоги [47]. Пацієнти з соціальною фобією та панічними атаками також мали більш високу α -активність у правій фронтальній ділянці, причому асиметрія фронтальної α -активності значно корелює з ознаками тривоги [48, 49]. Також повідомлялося про тім'яно-скроневі асиметрії як у пацієнтів з тривогою, так і в пацієнтів з депресією [47]. Дослідження кЕЕГ при посттравматичних стресових розладах, пов'язаних з бойовими діями, показали підвищення тета-активності в центральних областях порівняно з контрольною групою [50]. Bremner [51] детально описав нейроанатомічні субстрати розладів, пов'язаних зі стресом, та асоційовані нейрональні мережі в гіпокампі, мигдалеподібному тілі, поясній корі та медіальній лобовій корі. Пацієнти із соціальною тривогою продемонстрували виражену праву передню активацію кЕЕГ в діапазоні потужності альфа-1 та вегетативні реакції під час очікування публічного виступу порівняно з контрольною групою [48]. Дослідження кількісної ЕЕГ також проводилися при обсесивно-компульсивному розладі з виявленням підвищених неспецифічних аномалій у діапазоні високих частот [52]. Дослідження нейровізуалізації (ПЕТ) свідчать про дисфункцію лобових часток, базальних гангліїв і префронтальних ділянок при тривожних станах [53, 54].

ВИСНОВКИ

Таким чином, на сьогодні існує багаторічний ґрунтовний методологічний і доказовий базис для можливої нейрофізіологічної діагностики та диференційної діагностики комбінованих церебральних ефектів ІВ і психоемоційного стресу, пов'язаного з умовами військових конфліктів. Даний факт має виняткове наукове та практичне значення для України, населення якої перебуває в умовах різних сценаріїв стресу в умовах повномасштабної війни з росією, з потенційною можливістю радіаційних аварій (ЧАЕС, ЗАЕС тощо). Нейрофізіологічні технології можуть використовуватись при об'єктивному професійному та кваліфікаційному відборі працівників ряду професій, від яких вимагається прийняття швидких і відповідальних рішень (військовослужбовці, астронавти, працівники атомної енергетики та промисловості, пілоти, авіадиспетчери тощо).

bral lesions [20–25, 43–45]. Children who were subjected to psychological, physical, and sexual violence, in addition to electrophysiological abnormalities, were found to have abnormalities during neurological examinations, neuropsychological tests, and neuroimaging studies [46]. Patients with elevated levels of anxiety show greater levels of α -activity in the right frontal lobe than non-anxious patients [47]. Patients with social phobia and panic attacks also had higher α -activity in the right frontal lobe, with frontal α -activity asymmetry significantly correlated with anxiety symptoms [48, 49]. Parietotemporal asymmetries have also been reported in both anxious and depressed patients [47]. QEEG studies in combat-related PTSD have shown increased theta activity in central regions compared to controls [50]. Bremner (2003) described in detail the neuroanatomical substrates of stress-related disorders and associated neuronal networks in the hippocampus, amygdala, cingulate cortex, and medial frontal cortex [51]. Patients with social anxiety disorder showed pronounced right frontal QEEG activation in the alpha-1 power range and autonomic responses during public speaking anticipation compared to controls [48]. Quantitative EEG studies were also conducted in obsessive-compulsive disorder with the detection of increased non-specific abnormalities in the high-frequency range [52]. Neuroimaging studies (PET) indicate dysfunction of the frontal lobes, basal ganglia, and prefrontal regions in anxiety states [53, 54].

CONCLUSIONS

Thus, today there exists a long-term thorough methodological and evidence base for a possible neurophysiological diagnosis and differential diagnosis of the combined cerebral effects of IR and psycho-emotional stress associated with the conditions of military conflicts. This fact is of exceptional scientific and practical importance for Ukraine, a population of which is in conditions of various stress scenarios in the conditions of a full-scale war with the Russian Federation, with the potential threat of radiation accidents (ChNPP, ZNPP, etc.). Neurophysiological technologies can be used in the objective professional and qualification selection of employees in a number of professions that require quick and responsible decision-making (military personnel, astronauts, nuclear energy and industry workers, pilots, air traffic con-

Відомо, що потенційні кандидати можуть приховувати (дисимулювати) проблеми психічного здоров'я як при клінічному інтерв'ю, так і при нейропсихологічному тестуванні. Вищезазначене обумовлює важливість та подальшу необхідність розробки технологій об'єктивної діагностики психофізіологічних станів людини.

Нейрофізіологічні дослідження підтверджують наявність в УЛНА на ЧАЕС вираженої дисфункції кортико-лімбічної системи лівої домінантної півкулі головного мозку з особливим залученням гіпокампу, як ключовий церебральний базис органічного ураження мозку після опромінення з тенденціями до дифузного поширення церебрального органічного ураження із залученням правої субдомінантної півкулі. У групі ДСП ЧАЕС вперше виявлені порушення церебральної нейродинаміки у вигляді функціональної гіпофронтальності та гіперфункції кортико-лімбічної системи з латералізацією до правої півкулі, що можуть бути корелятом невротичних, тривожних, асоційованих зі стресом станів, і потребують подальших досліджень в динаміці. Працівники ДСП ЧАЕС потребують подальшого медико-психологічного супроводу у зв'язку з тривалим перебуванням в умовах окупації російськими військами та підвищеним ризиком розвитку порушень ментального здоров'я.

trollers, etc.). It is known that potential candidates can hide (dissimulate) mental health problems both during the clinical interview and during neuropsychological testing. The above determines the importance and further necessity of developing technologies for the objective diagnosis of human psychophysiological states.

Neurophysiological studies confirm the presence of the pronounced dysfunction of the cortico-limbic system of the left dominant hemisphere of the brain with special involvement of the hippocampus in the Chernobyl clean-up workers, as the key cerebral basis of organic brain damage following radiation exposure with tendencies towards diffuse spread of cerebral organic damage involving the right subdominant hemisphere. In the SSE ChNPP group, for the first time, the disorders of cerebral neurodynamics were detected in the form of functional hypofrontality and hyperfunction of the cortico-limbic system with lateralization to the right hemisphere, which may be a correlate of neurotic, anxious, stress-associated states, and require further dynamical studies. Employees of SSE ChNPP need further medical and psychological support due to a long stay in the conditions of being in captivity by Russian troops and an increased risk of developing mental health disorders.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aminoff M. J. Aminoff's electrodiagnosis in clinical neurology. 6th ed. Elsevier Saunders, 2012.
2. Nuwer M. Assessment of digital EEG, quantitative EEG, and EEG brain mapping: report of the American Academy of Neurology and the American Clinical Neurophysiology Society. *Neurology*. 1997. Vol. 49, no. 1. P. 277-292. doi: 10.1212/wnl.49.1.277. PMID: 9222209.
3. Клиническая электроэнцефалография. Фармакоэлектроэнцефалография / Л. Н. Неробкова, Г. Г. Авакян, Т. А. Воронина, Г. Н. Авакян. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2020.
4. Lazarev V. V. The relationship of theory and methodology in EEG studies of mental activity. *Int. J. Psychophysiol*. 2006. Vol. 62, no. 3. P. 384-393. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2006.01.006.
5. Kropotov J. D. Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy. Oxford, UK : Elsevier, 2009.
6. Quantitative measure of complexity of EEG signal dynamics / W. Klonowski, W. Jernajczyk, K. Niedzielska et al. *Acta Neurobiol. Exp. (Wars)*. 1999. Vol. 59, no. 4. P. 315-21.
7. van Straaten E. C., Stam C. J. Structure out of chaos: functional brain network analysis with EEG, MEG, and functional MRI. *Eur. Neuropsychopharmacol*. 2013. Vol. 23, no. 1. P. 7-18. doi: 10.1016/j.euroneuro.2012.10.010.

REFERENCES

1. Aminoff M. J. Aminoff's electrodiagnosis in clinical neurology (6th ed.). Elsevier Saunders; 2012. 869 p. doi: 10.1016/C2010-0-65599-4
2. Nuwer M. Assessment of digital EEG, quantitative EEG, and EEG brain mapping: Report of the American Academy of Neurology and the American Clinical Neurophysiology Society. *Neurology*. 1997; 49(1):277-292. doi: 10.1212/wnl.49.1.277
3. Nerobkova LN, Avakyan GG, Voronina TA, Avakyan GN. [Clinical electroencephalography. Pharmacoelectroencephalography]. Moskva: GJeOTAR-Media; 2020. 288 p. Russian.
4. Lazarev W. The relationship of theory and methodology in EEG studies of mental activity. *Int J Psychophysiol*. 2006;62:384-393. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2006.01.006.
5. Kropotov J. D. Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy. Oxford, UK: Elsevier; 2009. 531 p.
6. Klonowski W, Jernajczyk W, Niedzielska K, Rydz A, Stepień R. Quantitative measure of complexity of EEG signal dynamics. *Acta Neurobiol Exp (Wars)*. 1999;59:315-321.
7. van Straaten ECW, Stam CJ. Structure out of chaos: Functional brain network analysis with EEG, MEG, and functional MRI. *Eur Neuropsychopharmacol*. 2013;23(1):7-18. doi: 10.1016/j.euroneuro.2012.10.010.

8. The Role of Quantitative EEG in the Diagnosis of Neuropsychiatric Disorders / L. Livint Popa, H. Dragos, C. Pantelemon et al. *J. Med. Life*. 2020. Vol. 13, no. 1. P. 8-15. doi: 10.25122/jml-2019-0085.
9. Nuwer M. R. Quantitative EEG: I. Techniques and problems of frequency analysis and topographic mapping. *J. Clin. Neurophysiol*. 1988. Vol. 5, no. 1. P. 1-43.
10. Advanced tools for digital EEG review: virtual source montages, whole-head mapping, correlation, and phase analysis / M. Scherg, N. Ille, H. Bornfleth, P. Berg. *J. Clin. Neurophysiol*. 2002. Vol. 19, no. 2. P. 91-112. doi: 10.1097/00004691-200203000-00001.
11. Cohen Mike X. Analyzing neural time series data: theory and practice. London : The MIT Press Cambridge, 2014.
12. Niedermeyer's electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields / ed. by D. L. Schomer, F. H. Lopes da Silva. 7th ed. Oxford University Press, 2018. doi: 10.1093/med/9780190228484.001.0001.
13. Quantifying drug-drug interactions in pharmaco-EEG / M. J. Barbanoj, R. M. Antonijoan, J. Riba et al. *Clin. EEG Neurosci*. 2006. Vol. 37, no. 2. P. 108-120. doi: 10.1177/155005940603700208.
14. Александров М. В., Иванов Л. Б., Лытаев С. А. Электроэнцефалография : руководство. Санкт-Петербург : СпецЛит, 2020.
15. Tolonen U., Sulg I. A. Comparison of quantitative EEG parameters from four different analysis techniques in evaluation of relationships between EEG and CBF in brain infarction. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol*. 1981. Vol. 51, no. 2. P. 177-85. doi: 10.1016/0013-4694(81)90007-9.
16. Electroencephalographic correlates of blood flow and oxygen metabolism provided by positron emission tomography in patients with cerebral infarction / K. Nagata, K. Tagawa, S. Hiroi et al. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol*. 1989. Vol. 72, no. 1. P. 16-30. doi: 10.1016/0013-4694(89)90027-8.
17. A Brain Electrical Activity Electroencephalographic-Based Biomarker of Functional Impairment in Traumatic Brain Injury: A Multi-Site Validation Trial / D. Hanley, L. S. Prichep, N. Badjatia et al. *J. Neurotrauma*. 2018. Vol. 35, no. 1. P. 41-47. doi: 10.1089/neu.2017.5004.
18. Зенков Л. Р., Ронкин М. А. Функциональная диагностика нервных болезней : руководство для врачей. 5-е изд. Москва : МЕДпресс-информ, 2013.
19. Жирмунская Е. А. Клиническая электроэнцефалография. Обзор литературы и перспективы использования метода. Москва : МЭИБИ, 1991.
20. Loganovsky K. N., Yuryev K. L. EEG patterns in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident: part 1: conventional EEG analysis. *J. Neuropsychiatry Clin. Neurosci*. 2001. Vol. 13, no. 4. P. 441-58. doi: 10.1176/jnp.13.4.441.
21. Loganovsky K. N., Yuryev K. L. EEG patterns in persons exposed to ionizing radiation as a result of the chernobyl accident. Part 2: quantitative EEG analysis in patients who had acute radiation sickness. *J. Neuropsychiatry Clin. Neurosci*. 2004. Vol. 16, no. 1. P. 70-82. doi: 10.1176/jnp.16.1.70.
8. Livint Popa L, Dragos H, Pantelemon C, Verisezan Rosu O, Strilciuc S. The role of quantitative eeg in the diagnosis of neuropsychiatric disorders. *J Med Life*. 2020;13(1):8-15. doi: 10.25122/jml-2019-0085.
9. Nuwer MR. Quantitative EEG: I. Techniques and problems of frequency analysis and topographic mapping. *J Clin Neurophysiol*. 1988;5(1):1-43.
10. Scherg M, Ille N, Bornfleth H, Berg P. Advanced tools for digital EEG review: virtual source montages, whole-head mapping, correlation, and phase analysis. *J Clin Neurophysiol*. 2002;19(2):91-112. doi: 10.1097/00004691-200203000-00001.
11. Cohen Mike X. Analyzing neural time series data: theory and practice. Massachusetts London, England: MIT Press Cambridge; 2014. 594 p.
12. Schomer DL, Lopes da Silva FH. Edited by Niedermeyer's electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields (7th ed.). Oxford University Press; 2018. 2337 p. doi: 10.1093/med/9780190228484.001.0001.
13. Barbanoj MJ, Antonjoan RM, Riba J, Valle M, Romero S, Jane F. Quantifying drug-drug interactions in pharmaco-EEG. *Clin EEG Neurosci*. 2006;37(2):108-120. doi: 10.1177/155005940603700208.
14. Aleksandrov MV, Ivanov LB, Lytaev SA. [Electroencephalography: a guide]. Sankt-Peterburg: SpecLit; 2020. 224 p. Russian.
15. Tolonen U, Sulg IA. Comparison of quantitative EEG parameters from four different analysis techniques in evaluation of relationships between EEG and CBF in brain infarction. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1981;51(2):177-185. doi: 10.1016/0013-4694(81)90007-9.
16. Nagata K, Tagawa K, Hiroi S, Shishido F, Uemura K. Electroencephalographic correlates of blood flow and oxygen metabolism provided by positron emission tomography in patients with cerebral infarction. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1989;72(1):16-30. doi: 10.1016/0013-4694(89)90027-8.
17. Hanley D, Prichep LS, Badjatia N, Bazarian J, Chiacchierini R, Curley KC, et al. A brain electrical activity electroencephalographic-based biomarker of functional impairment in traumatic brain injury: a multi-site validation trial. *J Neurotrauma*. 2018;35(1):41-47. doi: 10.1089/neu.2017.5004.
18. Zenkov LR, Ronkin MA. [Functional diagnosis of nervous diseases]. Moskva: MEDpress-inform; 2013. 488 p. Russian.
19. Zhirmunskaja YeA. [Clinical electroencephalography. Literature review and prospects for using the method]. Moscow: MJEJBI; 1991. 77 p. Russian.
20. Loganovsky KN, Yuryev KL. EEG patterns in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident : Part 1 : Conventional EEG analysis. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*. 2001;13(4):441-458. doi: 10.1176/jnp.13.4.441.
21. Loganovsky KN, Yuryev KL. EEG patterns in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. Part 2 : quantitative EEG analysis in patients who had acute radiation sickness. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*. 2004;16(1):70-82. doi: 10.1176/jnp.16.1.70.

22. Нягу А. И., Логановский К. Н. Нейропсихиатрические эффекты ионизирующих излучений. Киев : Чернобыльинтеринформ, 1998.
23. Клінічні настанови з верифікації органічного ураження головного мозку в учасників ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС : відомча інструкція / К. М. Логановський, Н. Ю. Чупровська, Л. Л. Здоренко та ін. Київ : МОЗ України, АМН України, МНС України, Український центр наукової медичної інформації та патентно-ліцензійної роботи, 2005.
24. Застосування результатів нейропсихологічних досліджень та ЕЕГ-картування у топічній діагностиці ураження головного мозку у віддалений після опромінення період : методичні рекомендації / К. М. Логановський, Н. Ю. Чупровська, К. Ю. Антипчук та ін. Київ : МОЗ, АМН України, 2007.
25. Особливості діагностики когнітивних розладів у постраждалих внаслідок Чорнобильської катастрофи, їх профілактика, лікування та шляхи реабілітації : методичні рекомендації / К. М. Логановський, К. Ю. Антипчук, Т. К. Логановська та ін. Київ : МОЗ, АМН України, Український центр наукової медичної інформації та патентно-ліцензійної роботи, 2010.
26. Luders H., Noachtar S. Atlas and classification of electroencephalography. Saunders, 2000.
27. International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN) - EEG research workgroup: Recommendations on frequency and topographic analysis of resting state EEG rhythms. Part 1: Applications in clinical research studies / C. Babiloni, R. J. Barry, E. Basar et al. *Clin. Neurophysiol.* 2020. Vol. 131, no. 1. P. 285-307. doi: 10.1016/j.clinph.2019.06.234.
28. Tatum IV W. O. Handbook of EEG interpretation. Springer Publishing Company, 2021.
29. Hypofrontality in schizophrenia: distributed dysfunctional circuits in neuroleptic-naive patients / N. C. Andreasen, D. S. O'Leary, M. Flaum et al. *Lancet.* 1997. Vol. 349, no. 9067. P. 1730-1734. doi: 10.1016/S0140-6736(96)08258-X.
30. Cortical hypoactivation during resting EEG in schizophrenics but not in depressives and schizotypal subjects as revealed by low resolution electromagnetic tomography (LORETA) / S. Mientus, J. Gallinat, Y. Wuebben et al. *Psychiatry Res.* 2002. Vol. 116, no. 1-2. P. 95-111. doi: 10.1016/S0925-4927(02)00043-4.
31. Евтушенко С. К., Омеляненко К. А. Клиническая электроэнцефалография у детей : руководство. Донецк : Донетчина, 2005.
32. Изнак А. Ф., Никишова М. Б. Электрофизиологические корреляты психогенных расстройств. *Физиология человека.* 2007. № 2. С. 137-139.
33. Стрекалкина Н. Н., Чулкова Н. Ю., Иванов Л. Б. Пространственное распределение альфа-активности в зависимости от формы аффективного расстройства. Материалы Общероссийской конференции Российского общества психиатров; 2008 Окт 28-30, Москва, РФ. Москва : ФГУ МНИИП, 2008. С. 381-382.
34. EEG power, cordance and coherence differences between unipolar and bipolar depression / C. Tas, M. Cebi, O. Tan et al. *J. Affect. Disord.* 2015. Vol. 172. P. 184-190. doi: 10.1016/j.jad.2014. 10.001.
22. Njagu AI, Loganovskij KN. [Neuropsychiatric effects of ionizing radiation]. Kyiv: Chernobylinterinform; 1998. 368 p. Russian.
23. Loganovsky KM, Chuprovskya NY, Zdorenko LL, et al. [Clinical guidelines for the verification of organic brain damage in participants in the liquidation of the consequences of the accident at the Chernobyl NPP: departmental instructions]. Kyiv; 2005. 26 p. Ukrainian.
24. Loganovsky KM, Chuprovskya NY, Antypchuk KY, et al. [Application of the results of neuropsychological studies and EEG-mapping in the topical diagnosis of brain damage in the remote period after irradiation: methodological recommendations]. Kyiv; 2007. 36 p. Ukrainian.
25. Loganovsky KM, Antypchuk KY, Loganovska TK et al. [Features of diagnosis of cognitive disorders in victims of the Chernobyl disaster, their prevention, treatment and ways of rehabilitation: methodical recommendations]. Kyiv; 2010. 24 p. Ukrainian.
26. Luders H, Noachtar S. Atlas and classification of electroencephalography. Saunders; 2000. 82 p.
27. Babiloni C, Barry RJ, Basar E, Blinowska KJ, Cichocki A, Drinkenburg WHIM, et al. International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN)-EEG Research Workgroup: Recommendations on frequency and topographic analysis of resting state EEG rhythms. Part 1: Applications in clinical research studies. *Clin Neurophysiol.* 2020;131(1):285-307. doi: 10.1016/j.clinph.2019.06.234.
28. Tatum IV WO. Handbook of EEG interpretation. Springer Publishing Company; 2021. 276 p.
29. Andreasen NC, O'Leary DS, Flaum M, Nopoulos P, Watkins GL, Ponto LLB, et al. Hypofrontality in schizophrenia: distributed dysfunctional circuits in neuroleptic-naive patients. *The Lancet.* 1997; 349(9067):1730-1734. doi: 10.1016/S0140-6736(96)08258-X.
30. Mientus S, Gallinat J, Wuebben Y, Pascual-Marqui RD, Mulert C, Frick K, et al. Cortical hypoactivation during resting EEG in schizophrenics but not in depressives and schizotypal subjects as revealed by low resolution electromagnetic tomography (LORETA). *Psychiatry Research : Neuroimaging.* 2002;116(1-2):95-111. doi: 10.1016/S0925-4927(02)00043-4.
31. Evtushenko SK, Omelianenko KA. [Clinical electroencephalography in children: a guide]. Donetsk: Donetchina, 2005. 866 p. Russian.
32. Iznak AF, Nikishova MB. [Electrophysiological correlates of psychogenic disorders]. *Fiziologija cheloveka.* 2007;(2):137-139. Russian.
33. Strekalkina NN, Chulkova NY, Ivanov LB. [Spatial distribution of alpha activity depending on the form of affective disorder]. In: Materials of the All-Russian Conference of the Russian Society of Psychiatrists; 28-30 Oct 2008; Moscow. Moscow; 2008. p. 381-382. Russian.
34. Tas C, Cebi M, Tan O, Hizli-Sayar G, Tarhan N, Brown EC. EEG power, cordance and coherence differences between unipolar

35. Латаш Л. П. Гипоталамус, приспособительная активность и электроэнцефалограмма. Москва : Наука, 1968.
36. Niedermeyer E., Lopes da Silva F. H. Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields. Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
37. Increased frontal gamma and posterior delta powers as potential neurophysiological correlates differentiating posttraumatic stress disorder from anxiety disorders / S. Y. Moon, Y. B. Choi, H. K. Jung et al. *Psychiatry Investig.* 2018. Vol. 15, no. 11. P. 1087-1093. doi: 10.30773/pi.2018.09.30.
38. Tarrant J., Viczko J., Cope H. Virtual reality for anxiety reduction demonstrated by quantitative EEG: a pilot study. *Front. Psychol.* 2018. Vol. 9. P. 1280. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01280.
39. Regional brain asymmetries in major depression with or without an anxiety disorder: a quantitative electroencephalographic study / G. E. Bruder, R. Fong, C. E. Tenke et al. *Biol. Psychiatry.* 1997. Vol. 41, no. 9. P. 939-948. doi: 10.1016/S0006-3223(96)00260-0.
40. Cutting J. The role of right hemisphere dysfunction in psychiatric disorders. *Br. J. Psychiatry.* 1992. Vol. 160. P. 583-588. doi: 10.1192/bjp.160.5.583.
41. Davidson R. J. Anterior electrophysiological asymmetries, emotion, and depression: conceptual and methodological conundrums. *Psychophysiology.* 1998. Vol. 35, no. 5. P. 607-614. doi: 10.1017/s0048577298000134.
42. Электроэнцефалографические корреляты психовегетативного синдрома при неврастении и генерализованном тревожном расстройстве / С. А. Гордеев, Г. В. Ковров, С. И. Посохов и др. *Международ. неврол. журн.* 2013. № 2. С. 78-82.
43. 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.
44. Логановський К. М., Куц К. В. Когнітивні викликані потенціали P300 після опромінення. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2016. Вип. 21. С. 264-290.
45. Логановський К. М., Куц К. В. Викликана біоелектрична активність головного мозку після опромінення. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2017. Вип. 22. С. 38-68.
46. Increased prevalence of electrophysiological abnormalities in children with psychological, physical, and sexual abuse / Y. Ito, M. H. Teicher, C. A. Glod et al. *J. Neuropsychiatry Clin. Neurosci.* 1993. Vol. 5, no. 4. P. 401-408. doi: 10.1176/jnp.5.4.401.
47. Patterns of regional brain activity differentiate types of anxiety / W. Heller, J. B. Nitschke M. A., Etienne, G. A. Miller. *J. Abnorm. Psychol.* 1997. Vol. 106, no. 3. P. 376-85. doi: 10.1037//0021-843x.106.3.376.
48. While a phobic waits: regional brain electrical and autonomic activity in social phobics during anticipation of public speaking / R. J. Davidson, J. R. Marshall, A. J. Tomarken, J. B. Henriques. *Biol. Psychiatry.* 2000. Vol. 47, no. 2. P. 85-95. doi: 10.1016/s0006-3223(99)00222-x.
- and bipolar depression. *J Affect Disord.* 2015; 172: 184-190. doi: 10.1016/j.jad.2014.10.001.
35. Latash LP. [Hypothalamus, adaptive activity and electroencephalogram]. Moscow: Nauka; 1968. 295 p. Russian.
36. Niedermeyer E, Lopes da Silva FH. Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields. Lippincott Williams & Wilkins; 2005. 1309 p.
37. Moon SY, Choi YB, Jung HK, Lee YI, Choi SH. Increased frontal gamma and posterior delta powers as potential neurophysiological correlates differentiating posttraumatic stress disorder from anxiety disorders. *Psychiatry Investig.* 2018;15(11):1087-1093. doi: 10.30773/pi.2018.09.30.
38. Tarrant J, Viczko J, Cope H. Virtual reality for anxiety reduction demonstrated by quantitative EEG: A pilot study. *Front Psychol.* 2018;9:1280. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01280.
39. Bruder GE, Fong R, Tenke CE, Leite P, Towey JP, Stewart JE, et al. Regional brain asymmetries in major depression with or without an anxiety disorder: a quantitative electroencephalographic study. *Biol Psychiatry.* 1997;41:939-948. doi: 10.1016/S0006-3223(96)00260-0.
40. Cutting J. The role of right hemisphere dysfunction in psychiatric disorders. *Br J Psychiatry.* 1992;160:583-588. doi: 10.1192/bjp.160.5.583. PMID: 1591569.
41. Davidson RJ. Anterior electrophysiological asymmetries, emotion, and depression: conceptual and methodological conundrums. *Psychophysiology.* 1998;35:607-614. doi: 10.1017/s0048577298000134.
42. Gordeev SA, Kovrov GV, Posohov SI, Katenko SV, D'jakonova NA. [Electroencephalographic correlates of psychovegetative syndrome in neurasthenia and generalized anxiety disorder]. *Mezhdunar. неврол. zhurn.* 2013;(2):78-82. Russian.
43. 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.
44. Loganovsky KM, Kuts KV. Cognitive evoked potentials P300 after radiation exposure. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2016;21:264-290.
45. [Loganovsky K. M., Kuts K. V. Evoked bioelectrical brain activity following exposure to ionizing radiation. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2017;22:38-68.
46. Ito Y, Teicher MH, Glod CA, Harper D, Magnus E, Gelbard HA. Increased prevalence of electrophysiological abnormalities in children with psychological, physical, and sexual abuse. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci.* 1993;5(4):401-408. doi: 10.1176/jnp.5.4.401.
47. Heller W, Nitschke JB, Etienne MA, Miller GA. Patterns of regional brain activity differentiate types of anxiety. *J Abnorm Psychol.* 1997;106(3):376-385. doi: 10.1037//0021-843x.106.3.376.
48. Davidson RJ, Marshall JR, Tomarken AJ, Henriques JB. While a phobic waits: regional brain electrical and autonomic activity in social phobics during anticipation of public speaking. *Biol Psychiatry.* 2000;47(2):85-95. doi: 10.1016/s0006-3223(99)00222-x.

49. Frontal brain asymmetry as a biological substrate of emotions in patients with panic disorders / G. Wiedemann, P. Pauli, W. Dengler et al. *Arch. Gen. Psychiatry*. 1999. Vol. 56, no. 1. P. 78-84. doi: 10.1001/archpsyc.56.1.78.
50. Begic D., Hotujac L., Jokic-Begic N. Electroencephalographic comparison of veterans with combat-related post-traumatic stress disorder and healthy subjects. *Int. J. Psychophysiol*. 2001. Vol. 40, no. 2. P. 167-172. doi: 10.1016/s0167-8760(00)00153-7.
51. Bremner J. D. Functional neuroanatomical correlates of traumatic stress revisited 7 years later, this time with data. *Psychopharmacol. Bull.* 2003. Vol. 37, no. 2. P. 6-25.
52. Jenike M. A., Brotman A. W. The EEG in obsessive-compulsive disorder. *J. Clin. Psychiatry*. 1984. Vol. 45, no. 3. P. 122-124.
53. The neurology of obsessional slowness / N. Hymas, A. Lees, D. Bolton et al. *Brain*. 1991. Vol. 114, Pt 5. P. 2203-2233. doi: 10.1093/brain/114.5.2203.
54. Obsessional slowness. Functional studies with positron emission tomography / G. V. Sawle, N. F. Hymas, A. J. Lees, R. S. Frackowiak. *Brain*. 1991. Vol. 114, Pt 5. P. 2191-2202. doi: 10.1093/brain/114.5.2191.
49. Wiedemann G, Pauli P, Dengler W, Lutzenberger W, Birbaumer N, Buchkremer G. Frontal brain asymmetry as a biological substrate of emotions in patients with panic disorders. *Arch Gen Psychiatry*. 1999;56(1):78-84. doi: 10.1001/archpsyc.56.1.78.
50. Begic D, Hotujac L, Jokic-Begic N. Electroencephalographic comparison of veterans with combat-related post-traumatic stress disorder and healthy subjects. *Int J Psychophysiol*. 2001;40:167-172. doi: 10.1016/s0167-8760(00)00153-7.
51. Bremner JD. Functional neuroanatomical correlates of traumatic stress revisited 7 years later, this time with data. *Psychopharmacol Bull*. 2003;37:6-25.
52. Jenike M, and Brotman A. The EEG in obsessive-compulsive disorder. *J Clin Psychiatry*. 1984;45:122-124.
53. Hyma N, Lees A, Bolt D, Epps K, Head D. The neurology of obsessional slowness. *Brain*. 1991;114:2203-2233. doi: 10.1093/brain/114.5.2203.
54. Sawle GV, Hymas NF, Lees AJ, Frackowiak RS. Obsessional slowness. Functional studies with positron emission tomography. *Brain*. 1991;114:2191-2202.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

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

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

Крейніс Георгій Юрійович – науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID: 0000-0002-4470-1517

Перчук Ірина Вадимівна – кандидат медичних наук, старший науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID: 0000-0002-2537-2113

Антипчук Катерина Юріївна – кандидат медичних наук, старший науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID: 0000-0001-8463-7874

Сушко Віктор Олександрович – доктор медичних наук, професор, чл.-кор. НАМН України, перший заступник генерального директора ННЦРМ з наукової роботи, керівник відділу медичної експертизи та лікування наслідків впливу радіаційного опромінення, Інститут клінічної радіології, ННЦРМ, м. Київ, Україна, ORCID: 0000-0001-6893-8642

Дикан Ірина Миколаївна – доктор медичних наук, професор, чл.-кор. НАМН України, директор Державної ус-

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Kostiantyn V. Kuts – Candidate of Medical Sciences, Researcher of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0003-1954-3075

Tetiana K. Loganovska – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Leading Scientist of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0001-7498-1401

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

Iryna V. Perchuk – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-2537-2113

Katerina Yu. Antypchuk – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0001-8463-7874

Viktor O. Sushko – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the NAMS of Ukraine, First deputy General Director of NRCRM for Research Work, Chief of Division for Medical Expertise and Treatment of Ionizing Irradiation Consequences, Institute of Clinical Radiology, NRCRM, Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0001-6893-8642

Iryna M. Dykan – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the NAMS of Ukraine, Director of

танови «Інститут ядерної медицини та променевої діагностики Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна, ORCID: 0000-0001-8776-3278

State institution «Institute Nuclear Medicine and Diagnostic Radiology of National Academy of Medical Science of Ukraine», Kyiv, Ukraine, ORCID: 0000-0001-8776-3278

Стаття надійшла до редакції 19.09.2023

Received: 19.09.2023