

УДК 575.113:616.89-008.454:616-001.28

Д. А. Бази́ка, К. В. Куц✉, І. В. Перчук, Г. Ю. Крейніс, К. Ю. Антипчук, З. Л. Василенко, М. С. Григоренко

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

ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНІ ЗМІНИ В УЧАСНИКІВ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС ТА ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ СИЛ ОБОРОНИ УКРАЇНИ, ЯКІ Є РЕКОНВАЛЕСЦЕНТАМИ КОРОНАВІРУСНОЇ ХВОРОБИ (COVID-19)

Мета: провести клініко-нейрофізіологічне обстеження учасників ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС) і військовослужбовців Сил Оборони України (ЗСУ), які перехворіли на коронавірусну хворобу (COVID-19) та осіб груп порівняння з метою вивчення впливу віддалених наслідків дії іонізуючого випромінювання, психоемоційного стресу та перенесеної коронавірусної інфекції на стан церебрального функціонування.

Матеріали та методи. Проспективне клінічне дослідження УЛНА на ЧАЕС і військовослужбовців ЗСУ, які перехворіли на коронавірусну хворобу (COVID-19) та осіб груп порівняння. Основна група – 30 УЛНА на ЧАЕС чоловічої статі, з верифікованим COVID-19 в анамнезі (УЛНА COVID+), які брали участь у ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС у 1986–1990 роках. Як групу нозологічного контролю (ГНК) протягом 2020–2022 років обстежено 24 особи чоловічої статі з верифікованою хронічною недостатністю мозкового кровообігу (ХНМК), які не зазнали впливу джерел іонізуючого випромінювання, впливу психоемоційного стресу, пов'язаного з повномасштабною війною, та не хворіли на COVID-19. Військовослужбовці ЗСУ залежно від наявності COVID-19 в анамнезі були розподілені на 2 підгрупи: «COVID+» (n = 20) і «COVID-» (n = 15). Діагностику нейропсихіатричних розладів здійснювали за діагностичними рубриками МКХ-10. Візуальний і спектральний аналіз ЕЕГ проводили для оцінки церебральних функцій у стані пасивного неспання (rsEEG).

Результати. Достовірно за клінічними психоневрологічними характеристиками групи УЛНА на ЧАЕС «COVID+» та ГНК практично не відрізнялись, за винятком достовірно вищої частоти органічного розладу особистості (F07) в групі УЛНА на ЧАЕС «COVID+» ($p < 0,001$). У групі УЛНА на ЧАЕС «COVID+» виявлено достовірне збільшення відносної (%) спектральної дельта-потужності кЕЕГ білатеральне зниження відносної спектральної тета-потужності у фронтальних ділянках та збільшення абсолютної спектральної дельта-потужності у лівій постеро-темпоральній ділянці відносно ГНК ($p < 0,05$). У групі ЗСУ «COVID+» виявлено достовірне збільшення відносної спектральної тета-потужності з білатеральним ексцесом у тім'яних ділянках ($p < 0,05–0,01$), а також достовірне зростання абсолютної спектральної тета-потужності білатерально в лобних ділянках ($p < 0,05$) відносно групи ЗСУ «COVID-».

Висновки. В УЛНА на ЧАЕС реконвалесцентів COVID-19 вперше виявлено виражене дифузне сповільнення біоелектричної активності головного мозку до дельта-частот відносно ГНК. У військовослужбовців ЗСУ, які перехворіли на COVID-19, спостерігається помірно виражена стійка церебральна дисфункція. Дані зміни потребують подальшого спостереження та вивчення.

Ключові слова: Чорнобильська катастрофа; ліквідатори аварії на Чорнобильській АЕС (УЛНА); посттравматичний стресовий розлад; ЗСУ; кількісна електроенцефалографія (кЕЕГ); COVID-19.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2024. Вип. 29. С. 271–294. doi: 10.33145/2304-8336-2024-29-271-294

D. A. Bazyka, K. V. Kuts✉, I. V. Perchuk, G. Y. Kreinis, K. Y. Antipchuk, Z. L. Vasylenko, M. S. Hryhorenko

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

ELECTROPHYSIOLOGICAL CHANGES IN THE PARTICIPANTS OF THE LIQUIDATION OF THE CONSEQUENCES OF THE CHORNOBYL ACCIDENT AND THE MILITARY PERSONNEL OF THE UKRAINIAN DEFENSE FORCES RECOVERING FROM CORONAVIRUS DISEASE (COVID-19)

Objective: to conduct a clinical and neurophysiological study of Chernobyl clean-up workers and military personnel of the Armed Forces of Ukraine (AFU) with previous coronavirus disease (COVID-19) and individuals of the comparison groups to study the impact of long-term effects of ionizing radiation, psychoemotional stress and previous coronavirus infection on cerebral functioning.

Materials and methods. A prospective clinical study of Chernobyl clean-up workers and servicemen of the Armed Forces of Ukraine (AFU) who had coronavirus disease (COVID-19) and individuals of the comparison groups. The main group – 30 males participated in liquidating the consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant (ChNPP) accident with previously verified COVID-19 (Chernobyl clean-up workers). As a nosological control group (NCG), 24 men with verified chronic cerebrovascular disorder (CVD) not exposed to radiation sources, war-associated psychoemotional stress, and COVID-19 were examined in 2020–2022. Depending on the history of COVID-19, the AFU servicemen were divided into 2 subgroups: «COVID+» and «COVID-». The diagnosis of neuropsychiatric disorders was established according to ICD-10. Visual and spectral EEG analyses assessed cerebral functions in passive wakefulness (rsEEG).

Results. Chernobyl clean-up workers «COVID+» and NCG groups did not differ significantly in clinical neuropsychiatric features, except for a higher frequency of organic personality disorder (F07) in the group of the Chernobyl clean workers «COVID+» ($p < 0.001$). In the group of the Chernobyl clean workers «COVID+» relative (%) spectral delta-power of EEG was significantly diffusely increased as well as absolute spectral delta-power in the left posterior-temporal area compared to NCG ($p < 0.05$). A significant diffuse increase in relative spectral theta-power with a bilateral excess in parietal areas ($p < 0.05 - 0.01$), as well as a significant increase in absolute spectral theta-power bilaterally in frontal areas ($p < 0.05$) was found in the group AFU «COVID+», compared to the group AFU «COVID-».

Conclusions. For the first time, a pronounced diffuse slowing of cerebral bioelectrical activity to delta-frequencies was detected in the Chernobyl clean-up workers being COVID-19 recuperates compared to the comparison group with chronic CVD. The AFU servicemen with previous COVID-19 have moderate persistent cerebral dysfunction. These changes require further observation and study.

Key words: Chernobyl disaster; Chernobyl clean-up workers; post-traumatic stress disorder; Armed Forces of Ukraine; quantitative electroencephalography (QEEG); COVID-19.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2024;29:271-294. doi: 10.33145/2304-8336-2024-29-271-294

ВСТУП

Гостра тяжка вірусна інфекція, що стала відомою з грудня 2019 року, була названа BOO3 коронавірусною хворобою в 2019 році (COVID-19). Збудник COVID-19 був віднесений до коронавірусу 2 тяжкого гострого респіраторного синдрому (SARS-CoV-2), нового бета-коронавірусу, тісно пов'язаного з коронавірусом SARS-CoV [1]. Пандемія COVID-19, що розпочалась у 2020 році, створила численні ризики

INTRODUCTION

The acute severe viral infection that became known in December 2019 was named the coronavirus disease (COVID-19) by the WHO. The causative agent of COVID-19 was classified as the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), a novel beta-coronavirus closely related to the SARS-CoV coronavirus [1]. The COVID-19 pandemic, which began in 2020, has

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

та загрози в галузі громадського здоров'я в більшості країн світу. Сьогодні проблема порушень психічного здоров'я і нейропсихіатричні наслідки пандемії COVID-19 знаходяться у фокусі уваги світової нейропсихіатрії [2, 3]. 30 січня 2020 року Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) оголосила надзвичайну ситуацію в галузі охорони здоров'я, що викликає міжнародне занепокоєння (Public Health Emergency of International Concern, PHEIC), а 11 березня 2020 року охарактеризувала спалах коронавірусної хвороби як пандемію [4]. Станом на 23.09.2024 року число підтверджених випадків інфікування COVID-19 в світі становить 776 205 140 осіб, в тому числі 5 538 518 в Україні, число померлих перевищує 7 мільйонів, в тому числі понад 109 тис. летальних випадків в Україні [5].

У 2023 році Національний інститут охорони здоров'я США (The National Institutes of Health, NIH) заснував Консорціум з дослідження COVID для покращення відновлення (RECOVER) – перспективну лонгitudинальну когортну ініціативу для вивчення довгострокових наслідків COVID-19 [6]. Станом на 23 червня 2023 року в дослідженні RECOVER взяли участь 12 057 реконвалесцентів коронавірусної хвороби, а також додатково 1 917 вагітних жінок і 9 599 дітей з довгостроковими симптомами після підтвердженої інфекції SARS-CoV-2 у 85 місцях у 33 штатах США [6].

Одним з найбільших контингентів, якого безпосередньо стосується дана проблема в Україні, є учасники ліквідації наслідків аварії (УЛНА) на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС). Найсерйознішими ризиками для цієї категорії пацієнтів в розрізі проблем, обумовлених пандемією COVID-19, є висока поширеність серцево-судинних та цереброваскулярних захворювань, високий рівень захворюваності на онкологічні та онкогематологічні захворювання, внаслідок дії іонізуючого випромінювання (ІВ) на імунну систему і процеси метаболізму, що додатково обтяжується чинником віку (для осіб старших за 60 років). Комплекс несприятливих психотравмуючих чинників зберігає свою актуальність і у віддаленому періоді після радіаційних надзвичайних ситуацій: асоціальні відносини, невизначеність через суперечливу інформацію, недовіру, стигматизацію, а також порушення роботи медичних служб, які призводять до стресу, спричиняють негативні соціальні та економічні наслідки для постраждалого населення та пов'язаних із цим захворюваності та смертності. Цей набір негативних чинників подібний до такого при пандемії COVID-19, в ході якої можна виділити прямі наслідки SARS-CoV-2 (інфекція, пневмонія, пошкод-

created numerous public health risks and threats in most countries worldwide. Today, the problem of mental health disorders and the neuropsychiatric consequences of the COVID-19 pandemic are in the focus of global neuropsychiatry [2,3]. On January 30, 2020, the World Health Organization (WHO) declared a Public Health Emergency of International Concern (PHEIC), and on March 11, 2020, characterized the coronavirus outbreak as a pandemic [4]. As of 23.09.2024, the number of confirmed cases of COVID-19 infection worldwide reached 776,205,140 people, including 5,538,518 in Ukraine, the number of deaths exceeded 7 million, including more than 109 thousand deaths in Ukraine [5].

In 2023, the US National Institutes of Health (NIH) established the Research Consortium on COVID to Improve Recovery (RECOVER), a promising longitudinal cohort initiative to study the long-term effects of COVID-19 [6]. As of June 23, 2023, 12,057 coronavirus survivors, as well as 1,917 pregnant women and 9,599 children in addition with long-term symptoms following confirmed SARS-CoV-2 infection at 85 sites in 33 states across the United States, have participated in the RECOVER study [6].

One of the largest cohorts directly affected by this problem in Ukraine is the liquidators of the consequences of the Chernobyl nuclear power plant (ChNPP) accident (hereinafter referred to as «Chernobyl clean-up workers» or «clean-up workers»). The most serious risks for this group of patients in the context of the problems caused by the COVID-19 pandemic are the high prevalence of cardiovascular and cerebrovascular diseases, high incidence of cancer and oncohematological diseases due to the effects of ionizing radiation (IR) on the immune system and metabolic processes, which is further aggravated by the age factor (for people above 60 years old). The complex of unfavorable psychotraumatic factors remains relevant in the long term after radiation emergencies: antisocial relationships, uncertainty due to conflicting information, distrust, stigmatization, and disruption of medical services that lead to stress, cause negative social and economic consequences for the affected population and related morbidity and mortality. This complex of negative factors is similar to that of the COVID-19 pandemic, during which one can distinguish direct effects of SARS-CoV-2 (infection, pneu-

ження тканин), непрямі ефекти пандемії (соціальні та економічні наслідки, невизначеність, суперечлива інформація, недовіра, стигматизація); порушення роботи медичних служб (проблеми психічного здоров'я, збільшення захворюваності та смертності, тяжкість інших захворювань, не діагностованих та вчасно не пролікованих) [7]. Таким чином, постраждали внаслідок аварії на ЧАЕС, які перехворіли на коронавірусну інфекцію (Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2), є унікальним зразком для всебічних нейробиологічних та епідеміологічних досліджень радіаційно-COVID-асоційованих розладів [8].

Повномасштабні військові дії, що розпочалися на території України внаслідок збройної агресії російської федерації 24 лютого 2022 року призвели до появи масштабного спектру стресорних факторів, що прямо чи опосередковано впливають на стан здоров'я: страх, негативні емоції, фізичні та психологічні травми, порушення сну, голодування, невчасно виявлені та/або непроліковані захворювання, антисанітарія внаслідок не тільки проживання в умовах окупації чи перебування у зоні бойових дій, а й у населених пунктах, що зазнають обстрілів. Пролонговані ефекти перенесеної COVID-19 накладаються на комплексну дію стресорних факторів, що виникли під час війни, і можуть стати потужними чинниками погіршення стану здоров'я та омолодження патологічних процесів, особливо у військовослужбовців Сил оборони України (ЗСУ).

Клінічні настанови з менеджменту гострої коронавірусної хвороби розроблені та ефективно впроваджуються в різних країнах світу [9]. Проте питання відтермінованих наслідків перенесеної коронавірусної інфекції залишаються набагато менш вивченими, а існуючі рекомендації з ведення таких пацієнтів лікарями первинної ланки є недосконалими [10]. Визначення та діагностичні критерії постковідного синдрому залишаються вкрай нечіткими та дискусійними. Сьогодні за термінами давнини клінічної симптоматики при коронавірусній хворобі розрізняють гострий COVID-19 (acute COVID 19) тривалістю понад 3 тижні з моменту дебюту захворювання, підгострий (post-acute COVID-19) до 12 тижнів з моменту виникнення симптоматики, а також хронічний або довготривалий COVID-19 (chronic COVID-19, «long COVID») тривалістю понад 12 тижнів з моменту дебюту захворювання [10]. Станом на 2024 рік вже існує ряд дефініцій COVID-19-асоційованих станів, які описують поліорганный патологію та симптомокомплекси у пацієнтів, які перенесли гостру коронавірусну хворобу, зокрема:

- ▶ тривала коронавірусна хвороба (Long COVID) – ознаки, симптоми та стани, які тривають або розвива-

monia, tissue damage), indirect effects of the pandemic (social and economic consequences, uncertainty, conflicting information, distrust, stigmatization); disruption of health services (mental health problems, increased morbidity and mortality, and the severity of other diseases not timely diagnosed and treated) [7]. Thus, persons suffered due to the Chernobyl accident recovered from coronavirus infection (Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2) appear to be a unique model for comprehensive neurobiological and epidemiological studies of radiation-COVID-associated disorders [8].

The full-scale military operations that began on the territory of Ukraine as a result of the armed aggression of the Russian Federation on February 24, 2022, led to the emergence of a wide range of stressors that directly or indirectly affect health: fear, negative emotions, physical and psychological trauma, sleep disturbances, hunger, late detected and/or untreated diseases, and unsanitary conditions due not only to living under occupation or in the combat zone, but also in settlements under fire. The prolonged effects of COVID-19 pandemic are superimposed on the complex effect of stressors that arose during the war and can become powerful factors in deteriorating health and rejuvenating pathological processes, especially in the military of the Ukrainian Defense Forces (the Armed Forces of Ukraine, AFU).

Clinical guidelines for the management of acute coronavirus disease have been developed and are being effectively implemented around the world [9]. However, the issues of delayed consequences of coronavirus infection remain much less well understood, and the existing guidelines for the management of such patients by primary care physicians are imperfect [10]. The definition and diagnostic criteria for post-COVID syndrome remain extremely unclear and controversial. Today, according to the duration of clinical symptoms in coronavirus disease, acute COVID-19 (acute COVID 19) lasting more than 3 weeks from the date of the disease debut, subacute COVID-19 (post-acute COVID-19) up to 12 weeks from the date of symptom onset, and chronic or long-term COVID-19 (chronic COVID-19, «long COVID») lasting more than 12 weeks from the date of the disease debut, are

ються після первинної інфекції SARS-CoV-2 і тривають більше 4 тижнів [11];

- ▶ післягострі наслідки інфекції SARS-CoV-2 (Post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection, PASC) – тривалі, рецидивуючі або нові симптоми чи клінічні стани, що виникають через 30 або більше днів після інфікування SARS-CoV-2 [12];
- ▶ стан після COVID-19 (Post-COVID-19 condition) – симптоми, що проявляються через 3 місяці від початку COVID-19, які тривають не менше 2 місяців і не можуть бути пояснені іншими діагнозами [13];
- ▶ постковідний синдром (Post-COVID syndrome) – симптоми, які не пояснюються альтернативним діагнозом і зберігаються понад 12 тижнів після перенесеного гострого COVID-19 [14];
- ▶ симптоматичний COVID-19, що триває (Ongoing symptomatic COVID-19) – симптоми, які не пояснюються альтернативним діагнозом і зберігаються протягом 4–12 тижнів після перенесеного гострого COVID-19 [14].

З огляду на існування значної термінологічної невизначеності та спірних питань у диференційній діагностиці вищезазначених станів, надалі в даній роботі обстежені нами пацієнти, які перехворіли на коронавірусну хворобу, будуть називатись «реконвалесцентами коронавірусної хвороби (COVID-19)».

Незважаючи на те, що COVID-19 є інфекційним захворюванням, яке вражає в основному легені, розвиток поліорганної симптоматики при цьому потребує міждисциплінарного підходу, який охоплює практично всі галузі внутрішньої медицини та геріатрії [15]. Існує гіпотеза, що вірус SARS-CoV-2 викликає запальний процес у судинному руслі, що може бути причиною персистуючих симптомів, які спостерігаються у реконвалесцентів COVID-19 [16]. Станом на 2024 рік, ефективного доказового лікування вищезазначених станів ще не існує. Тому індивідуалізоване ведення пацієнта вимагає мультидисциплінарного клінічного підходу [17].

Багато реконвалесцентів коронавірусної хвороби демонструють аномальну електроенцефалографічну (ЕЕГ) активність, асоційовану з симптомокомплексом так званого «мозкового туману» (brain fog) [18] та легкі когнітивні порушення навіть через кілька місяців після гострої фази інфекції. Вперше про кілька постінфекційних, імовірно, аутоімунних ускладнень COVID-19 з ураженням головного мозку та периферичної нервової системи повідомлялось ще у 2020 році [19, 20], зокрема про розвиток у реконвалесцентів коронавірусної хвороби хронічної втоми, ортостатичного запаморочення і мозкового туману,

classified [10]. As of 2024, there are already a number of definitions of COVID-19-associated conditions that describe multiorgan pathology and symptom complexes in patients who have had acute coronavirus disease, in particular:

- ▶ Long-term coronavirus disease (Long COVID) is signs, symptoms, and conditions that persist or develop after primary SARS-CoV-2 infection and last more than 4 weeks [11];
- ▶ Post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection (PASC) are prolonged, recurrent, or new symptoms or clinical conditions that occur 30 days or more after SARS-CoV-2 infection [12];
- ▶ Post-COVID-19 condition is symptoms that appear 3 months after the onset of COVID-19, last for at least 2 months and cannot be explained by other diagnoses [13];
- ▶ Post-COVID syndrome is symptoms that cannot be explained by an alternative diagnosis and persist for more than 12 weeks after acute COVID-19 [14];
- ▶ Ongoing symptomatic COVID-19 is symptoms that cannot be explained by an alternative diagnosis and persist for 4–12 weeks after acute COVID-19 [14].

Due to significant terminological uncertainty and controversial issues in the differential diagnosis of the above-mentioned conditions, the examined patients who had coronavirus disease will be referred to as «coronavirus disease (COVID-19) convalescents» in the following.

Even though COVID-19 is an infectious disease that mainly affects the lungs, developing multiorgan symptoms requires an interdisciplinary approach that covers almost all areas of internal medicine and geriatrics [15]. It is hypothesized that the SARS-CoV-2 virus causes an inflammatory process in the vascular bed, which may cause persistent symptoms observed in COVID-19 convalescents [16]. As of 2024, there is no effective evidence-based treatment for the above conditions. Therefore, individualized patient management requires a multidisciplinary clinical approach [17].

Many coronavirus survivors demonstrate abnormal electroencephalographic (EEG) activity associated with the so-called «brain fog» symptom complex [18] and mild cognitive impairment even months following the acute phase of infection. Several post-infectious, probably autoimmune complications of COVID-19 with brain and peripheral nervous system damage were first reported in 2020 [19, 20], including the develop-

що відповідають синдрому ортостатичної гіперперфузії (orthostatic hyperperfusion syndrome, OCHOS) та болісної периферичної нейропатії дрібних волокон (small fiber neuropathy, SFN) [21]. Початкові звіти описували поширеність тривалого перебігу коронавірусної хвороби у 10–30 % пацієнтів зі свіжим анамнезом інфекції SARS-CoV-2, включаючи легеневі, ниркові, серцево-судинні, імунологічні, гематологічні, нейропсихіатричні, шлунково-кишкові та дерматологічні ураження, а також хронічні мультисистемні запальні синдроми у дітей і дорослих [20].

Останній систематичний огляд 2024 року групи експертів з США, Туреччини, Чилі, Аргентини, Ірландії та Італії, опублікований в журналі *Alzheimer's & Dementia*, показав, що аномалії електроенцефалограми (ЕЕГ) у стані спокою включають дифузне уповільнення ЕЕГ (зниження альфа-ритму; збільшення повільних хвиль) та епілептиформну активність, які спостерігаються у багатьох пацієнтів впродовж місяців після перенесеної гострої стадії COVID-19. Представлені переконливі докази того, що дефіцит когнітивних функцій через COVID-19, а також хворобу Альцгеймера і пов'язану з нею деменцію (*Alzheimer's disease and related dementia, ADRD*) спричинений перехресними патологіями та нейрофізіологічними відхиленнями [22]. Добре відомо, що маркери ЕЕГ свідчать про неспецифічні зміни в активності нейронних мереж, викликані основними нейродегенеративними або судинними змінами [23, 24] на ранніх стадіях когнітивних порушень [25, 26].

Аномалії ЕЕГ, що спостерігаються у пацієнтів з COVID-19, нагадують ті, що спостерігаються на ранніх стадіях нейродегенеративних захворювань, зокрема ADRD. Припускають, що подібні аномалії ЕЕГ при Long COVID та ADRD обумовлені паралельним нейрозалпаленням, реактивністю астроцитів, гіпоксією та нейроваскулярним пошкодженням [22]. Ритми кЕЕГ при проведенні запису ЕЕГ в стані спокою (resting state electroencephalography, rsEEG) є аномальними у пацієнтів, які страждають на тривалий COVID та мають «мозковий туман»: у цих осіб спостерігається вогнищеве або дифузне уповільнення ритмів ЕЕГ, з найбільшою вираженістю в лобних ділянках [27, 28]. Це уповільнення може бути кількісно оцінено за допомогою спектрального аналізу ритмів rsEEG як дифузного збільшення спектральної потужності церебральної біоелектричної активності на низьких частотах, таких як дельта (< 4 Гц) і тета (4–7 Гц), а також зниження спектральної потужності на вищих альфа (8–12 Гц) і бета (13–30 Гц) частотах [22]. В осіб, постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС (УЛНА), а

ment of chronic fatigue in coronavirus convalescents, orthostatic dizziness and brain fog, which correspond to orthostatic hypoperfusion syndrome (OCHOS) and painful small fiber neuropathy (SFN) [21]. Initial reports described the prevalence of long-term coronavirus disease in 10–30 % of patients with a recent history of SARS-CoV-2 infection, including pulmonary, renal, cardiovascular, immunologic, hematologic, neuropsychiatric, gastrointestinal, and dermatologic lesions, as well as chronic multisystem inflammatory syndromes in children and adults [20].

A recent 2024 systematic review by a team of experts from the United States, Turkey, Chile, Argentina, Ireland, and Italy published in the journal *Alzheimer's & Dementia* found that resting-state electroencephalogram (EEG) abnormalities include diffuse EEG slowing (decreased alpha rhythm; increased slow waves) and epileptiform activity, which are observed in many patients for months after the acute stage of COVID-19. Strong evidence has been presented that cognitive deficits due to COVID-19, as well as Alzheimer's disease and related dementia (ADRD), are caused by overlapping pathologies and neurophysiological abnormalities [22]. It is well known that EEG markers indicate nonspecific changes in neural network activity caused by underlying neurodegenerative or vascular changes [23, 24] in the early stages of cognitive impairment [25, 26].

The EEG abnormalities found in patients with COVID-19 resemble those observed in the early stages of neurodegenerative diseases, including ADRD. It is assumed that similar EEG abnormalities in Long COVID and ADRD are due to parallel neuroinflammation, astrocyte reactivity, hypoxia, and neurovascular damage [22]. Resting-state electroencephalography (rsEEG) rhythms are abnormal in patients with long-term COVID and brain fog: these patients have focal or diffuse slowing of EEG rhythms, with the greatest severity in frontal areas [27, 28]. This slowing can be quantified by spectral analysis of rsEEG rhythms as a diffuse increase in the spectral power of cerebral bioelectrical activity at low frequencies, such as delta (<4 Hz) and theta (4–7 Hz), and a decrease in spectral power at higher alpha (8–12 Hz) and beta (13–30 Hz) frequencies [22]. We have described similar electrophysiological abnormalities in people affected by the Chernobyl accident (clean-up workers), as well as in workers at the «Shelter»

також у працівників об'єкту «Укриття», нами описувались подібні електрофізіологічні відхилення, які були асоційовані як з дією ІВ, так і з комплексом інших несприятливих чинників нерадіаційної природи внаслідок Чорнобильської катастрофи [29–33]. Крім того, вплив ІВ та вірусної інфекції має спільні «органи / тканини-мішені», а також чинить несприятливий вплив на організм людини через перехресні або спільні ланки каскаду взаємопов'язаних патофізіологічних механізмів [34].

За даними позитронно-емісійної томографії (ПЕТ), у порівнянні зі здоровими суб'єктами пацієнти з тривалою COVID-19 демонстрували двосторонній гіпометаболізм у білатеральній прямій / орбітальній звивині, включаючи нюхову звивину; правій скроневій частці, включаючи мигдалину та гіпокамп, що простягається до правого таламуса; у мозковому стовбурі на рівні понто-церебелярних зв'язків; а також білатерально у мозочку (р-воксель < 0,001 невикорисаний, р-кластер < 0,05 викорисаний FWE). Ці метаболічні кластери були високо дискримінантними для розрізнення пацієнтів і здорових осіб (100 % правильна класифікація). Присутність вказаних зон гіпометаболізму була суттєво пов'язана з більш численними функціональними скаргами, і всі вони пов'язані з появою певних симптомів (гіпосмія / аносмія, порушення пам'яті / когнітивних функцій, біль та безсоння) ($p < 0,05$) [35]. Зазначене дає привід трактувати поліморфну нейропсихіатричну симптоматику у багатьох пацієнтів з постковідним синдромом (зокрема, синдром хронічної втоми, панічні та депресивні розлади, психотичні епізоди) як прояви лімбічної енцефалопатії з органічним ураженням підкіркових та медіобазальних відділів скроневих часток головного мозку, в основі якої лежать патогенетичні механізми, про які згадувалось вище.

На наш погляд, перспективними для діагностики та об'єктивізації зазначених уражень, оцінки ефективності лікувальних заходів, динамічного спостереження за пацієнтами є дешеві, безпечні та неінвазивні нейрофізіологічні методи обстеження, які дозволяють об'єктивно оцінити функціонування головного мозку людини в нормі та за різних патологічних станів. Вони включають в себе кількісну електроенцефалографію (кЕЕГ), слухові викликані потенціали мозкового стовбура (СВПМС), соматосенсорні викликані потенціали (ССВП), зорові викликані потенціали на реверсивний шаховий патерн (ЗВПШП) [36–38], а також fNIRS [39], як альтернативу більш вартісним методам функціональної нейровізуалізації, таким як ПЕТ та фМРТ. Процедура дослідження ритмів кЕЕГ у стані пасивного неспання добре описана та стандартизова-

object, associated with both the effects of IR and a complex of other adverse non-radiation factors due to the Chernobyl disaster [29–33]. In addition, the effects of IR and viral infection have common «target organs/tissues» and also harm the human body through cross or common links in the cascade of interrelated pathophysiological mechanisms [34].

According to positron emission tomography (PET), compared to healthy subjects, patients with prolonged COVID-19 showed bilateral hypometabolism in the bilateral rectus/orbital gyrus, including the olfactory gyrus; the right temporal lobe, including the amygdala and hippocampus, extending to the right thalamus; in the brainstem at the level of the pontocerebellar connections; and bilaterally in the cerebellum (p -value < 0.001 uncorrected, p -cluster < 0.05 corrected FWE). These metabolic clusters were highly discriminative for distinguishing between patients and healthy subjects (100 % correct classification). The presence of these zones of hypometabolism was significantly associated with more functional complaints, as well as with the appearance of certain symptoms (hyposmia/anosmia, memory/cognitive impairment, pain, and insomnia) ($p < 0.05$) [35]. The above gives reason to interpret polymorphic neuropsychiatric symptoms in many patients with post-COVID syndrome (in particular, chronic fatigue syndrome, panic, depressive disorders, and psychotic episodes) as manifestations of limbic encephalopathy with organic damage to the subcortical and mediobasal regions of the temporal lobes of the brain, which is based on the pathogenetic mechanisms mentioned above.

In our opinion, cheap, safe, and non-invasive neurophysiological methods of examination allowing to objectively assess the functioning of the human brain in normal and various pathological conditions, are promising for diagnosing and objectifying these lesions, evaluating the effectiveness of treatment measures, and monitoring patients dynamically. They include quantitative electroencephalography (qEEG), auditory brainstem evoked potentials (ABEPs), somatosensory evoked potentials (SSEPs), visual evoked potentials to the reversed checkerboard pattern (VEPs) [36–38], and fNIRS [39] as an alternative to more expensive functional neuroimaging methods such as PET and fMRI. The study of EEG rhythms in

на Міжнародною федерацією з клінічної нейрофізіології (International Federation of Clinical Neurophysiology, IFCN), що відповідає сучасним стандартам доказової медицини [40]. Зазначене обумовлює необхідність проведення даного дослідження.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Провести клініко-нейрофізіологічне обстеження УЛНА на ЧАЕС та військовослужбовців Сил Оборони України (ЗСУ), які перехворіли на коронавірусну хворобу (COVID-19) та осіб відповідних груп порівняння з метою вивчення впливу віддалених наслідків дії іонізуючого випромінювання, психоемоційного стресу та перенесеної коронавірусної інфекції на стан церебрального функціонування.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Впродовж 2022–2024 років за розробленим уніфікованим протоколом з використанням квантифікованих клінічних нейропсихіатричних, нейропсихологічних, нейро- та психофізіологічних і статистичних методів у відділі радіаційної психоневрології Інституту клінічної радіології (ІКР) Державної установи «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України» (ННЦРМГО) було проведено проспективне клінічне дослідження: обстежено 82 особи, з них УЛНА на ЧАЕС, які перехворіли на коронавірусну хворобу «COVID+» – 65 осіб (61 особа чоловічої та 5 осіб жіночої статі), а також 34 неопромінених осіб (32 особи чоловічої та 2 особи жіночої статі). Додатково було обстежено 35 військовослужбовців ЗСУ чоловічої статі, які перебували на обстеженні та реабілітаційному лікуванні в Клініці ННЦРМ, з яких 20 осіб перехворіли на COVID-19 у 2020–2022 роках (група військовослужбовців ЗСУ «COVID+»), а 15 обстежених не хворіли на коронавірусну хворобу (група військовослужбовців ЗСУ «COVID-»).

З метою доказового паралельного зіставлення обстежених вибірок за віком, статтю, освітнім і професійним рівнем для подальшого експертного статистичного аналізу нами було відібрано 89 осіб чоловічої статі та сформовано чотири групи обстеження:

1) Основна група – 30 УЛНА на ЧАЕС, які перехворіли на коронавірусну хворобу (УЛНА COVID+), які брали участь у ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС) у 1986–1990 роках, чоловічої статі, які перехворіли на COVID-19 у 2020–2022 роках, у віці на момент обстеження 52–70 років ($M \pm SD$: (56,1 \pm 3,7) років) із

passive wakefulness is well described and standardized by the International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN), which meets modern standards of evidence-based medicine [40]. This necessitates the conduct of this study.

OBJECTIVE OF THE STUDY

To conduct a clinical and neurophysiological examination of the Chernobyl clean-up workers and military personnel of the Armed Forces of Ukraine (AFU) who had coronavirus disease (COVID-19) and individuals of the corresponding comparison groups to study the impact of long-term effects of ionizing radiation, psychoemotional stress, and coronavirus infection on cerebral functioning.

MATERIALS AND METHODS

During 2022–2024, according to the developed unified protocol, a prospective clinical study was conducted using quantified clinical neuropsychiatric, neuropsychological, neuro- and psychophysiological, and statistical methods at the Department of Radiation Psychoneurology of the Institute for Clinical Radiology (ICR) of the State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (NRCRMHO): 82 people were examined, including 65 Chernobyl clean-up workers (61 men and 5 women) who had contracted the coronavirus disease (COVID+) and 34 non-affected people (32 men and 2 women). Additionally, 35 male servicemen of the Armed Forces of Ukraine were examined and underwent a course of rehabilitation treatment at the NRCRMHO Clinic, of whom 20 had COVID-19 in 2020–2022 (COVID+ group of servicemen of the Armed Forces of Ukraine), and 15 did not have coronavirus disease (COVID- group of servicemen of the Armed Forces of Ukraine).

For evidence-based parallel comparison of the surveyed samples by age, gender, educational and professional level, we selected 89 male subjects for further expert statistical analysis and formed four survey groups:

1) Main group – 30 male Chernobyl clean-up workers who contracted coronavirus disease (COVID+ survivors), who participated in the liquidation of the consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant (ChNPP) accident in 1986–1990, who contracted COVID-19 in 2020–2022, aged 52–70 years at the time of the examination ($M \pm SD$:

документованою дозою зовнішнього опромінення $0,01\text{--}0,82$ Зв при середній арифметичній дозі ($0,36 \pm 0,32$) Зв, середній геометричній дозі $0,21$ Зв, медіанній дозі – $0,25$ Зв. Рівень антитіл IgG до SARS-CoV-2 в УЛНА на ЧАЕС «COVID+» становив ($7,98 \pm 2,08$, діапазон $5,16\text{--}9,36$ у.о.).

2) Як групу нозологічного контролю (ГНК) на базі відділу радіаційної психоневрології ІКР ННЦРМ протягом 2020–2022 років обстежено 24 особи чоловічої статі з верифікованою хронічною недостатністю мозкового кровообігу (ХНМК), які не зазнали впливу джерел іонізуючого випромінювання, впливу психоемоційного стресу, пов'язаного з повномасштабною війною, та не хворіли на COVID-19. Середній вік обстежених становив ($54,5 \pm 4,6$) років (діапазон $50\text{--}70$ років).

Військовослужбовці ЗСУ, залежно від наявності COVID-19 в анамнезі, були розподілені на 2 підгрупи: «COVID+» і «COVID-».

3) До групи військовослужбовців ЗСУ «COVID+» увійшли 20 осіб, які перехворіли на COVID-19 у 2020–2022 роках, у віці на момент обстеження $28\text{--}60$ років ($M \pm SD$: $37,7 \pm 9,0$) років)

4) 15 обстежених осіб, які не хворіли на коронавірусну хворобу, становили групу військовослужбовців ЗСУ «COVID-» у віці на момент обстеження $29\text{--}60$ років ($M \pm SD$: $39,8 \pm 9,8$) років). Рівень антитіл IgG до SARS-CoV-2 у військовослужбовців ЗСУ «COVID+» – ($7,96 \pm 2,08$, діапазон $8,20\text{--}9,25$ у.о.), а у «COVID-» – ($2,04 \pm 1,26$, діапазон $0,08\text{--}3,94$ у.о.).

Діагностику розладів психіки і поведінки та захворювань нервової системи здійснювали за діагностичними рубриками і категоріями МКХ-10. Нейрофізіологічні дослідження спонтанної церебральної біоелектричної активності (спектральний аналіз кЕЕГ) проводили для оцінки церебральних функцій у стані пасивного неспання (rsEEG). Ці дослідження виконували в кабінеті ЕЕГ відділу радіаційної психоневрології ІКР ННЦРМГО в першій половині дня у стані пасивного неспання пацієнта. Реєстрацію ЕЕГ виконували за допомогою комп'ютерного 24-канального електроенцефалографа «BRAINTTEST» виробництва наукововиробничого підприємства «DX-системи» (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 встанов-

($56,1 \pm 3,7$) years) with a documented external radiation dose of $0.01\text{--}0.82$ Sv with an arithmetic mean dose of (0.36 ± 0.32) Sv, geometric mean dose of 0.21 Sv, and median dose of 0.25 Sv. The level of IgG antibodies to SARS-CoV-2 in the Chernobyl cleanup workers «COVID+» was (7.98 ± 2.08 , range $5.16\text{--}9.36$ units).

2) As a nosological control group (NCG), 24 men with verified chronic cerebrovascular disorder (CVD) who were not exposed to radiation sources, psychoemotional stress associated with a full-scale war, and did not have COVID-19 were examined at the Department of Radiation Psychoneurology of the ICR NRCRMO in 2020–2022. The average age of the subjects was (54.5 ± 4.6) years, (range $50\text{--}70$ years).

The AFU servicemen were divided into 2 subgroups, depending on the presence of COVID-19 in their anamnesis: «COVID+» and «COVID-».

3) The COVID+ group of AFU servicemen included 20 people who contracted COVID-19 in 2020–2022, aged $28\text{--}60$ years at the time of the examination ($M \pm SD$: 37.7 ± 9.0) years).

4) 15 examined persons who did not have coronavirus disease constituted a group of «COVID-» AFU servicemen aged $29\text{--}60$ years at the time of the examination ($M \pm SD$: 39.8 ± 9.8) years). The level of IgG antibodies to SARS-CoV-2 in the «COVID+» group of the Armed Forces of Ukraine was (7.96 ± 2.08 , range $8.20\text{--}9.25$ units), and in the «COVID-» group – (2.04 ± 1.26 , range $0.08\text{--}3.94$ units).

The diagnosis of mental and behavioral disorders and diseases of the nervous system was carried out according to the diagnostic rubrics and categories of ICD-10. Neurophysiological studies of spontaneous cerebral bioelectrical activity (spectral analysis of QEEG) were performed to assess cerebral functions in the state of passive wakefulness (rsEEG). These studies were performed in the EEG room of the Department of Radiation Psychoneurology of the ICR NRCRMO in the morning time in the patient's passive wakefulness. EEG recording was performed using a 24-channel computer electroencephalograph «BRAINTTEST» manufactured by the research and production enterprise «DX-systems» (Ukraine). The bioelectrical activity of the brain was recorded using cup-shaped silver-chlorosilver electrodes (Ag–AgCl) applied with lithium gel. The EEG was recorded monopolarly according to the International 10–20 system, the time constant was

лювали на 0,3, фільтри – 75 Гц. EEG 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 заплющених очах протягом 3 хв; 4) стані пасивного неспання після гіпервентиляції із заплющеними очима протягом 1 хв. Оцінку та інтерпретацію базували на класичних підручниках і атласах з EEG [38].

Здійснювали візуальний і спектральний аналіз EEG. Епоха спектрального аналізу становила 60 с, частотний діапазон – 1–32 Гц. Із усіх EEG-записів до проведення аналізу видаляли артефактні фрагменти. Спектральний аналіз виконували із застосуванням загальноприйнятого методу швидкого перетворення Фур'є. Отримували показники абсолютної спектральної потужності ($\text{мкВ}^2 \cdot \text{Гц}^{-1}$) і домінуючої частоти (Гц) для усього діапазону частот (1–32 Гц), а також домінуючу частоту, абсолютну і відносну (у відсотках до усього спектрального складу) спектральну потужність по основних частотних діапазонах: δ (1–4 Гц), θ (> 4–7 Гц), α (> 7–12 Гц) і β (> 12–32 Гц). Аналізували числові показники і карти топографічного розподілу спектральної потужності основних діапазонів EEG по скальпу.

Електронні таблиці Excel (MS Windows) були використані як структура баз даних для накопичування, зберігання та аналізу інформації. Статистичний аналіз проведено у стандартних статистичних пакетах Statistica 10.0 та SPSS 16.0. Для виявлення розбіжностей між групами обстежених осіб використовували параметричні (t-критерій Стьюдента) та непараметричні (точний критерій Фішера, χ^2) критерії.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Всі обстежені УЛНА на ЧАЕС «COVID+» і пацієнти з ГНК були міськими жителями, а також мали вищу та середню спеціальну освіту. Критеріями виключення з дослідження були: наявність на момент дослідження вираженої соматоневрологічної та психічної патології у стадії декомпенсації; нейроінфекційних і демієлінізуючих захворювань; зловживання психоактивними речовинами, окрім тютюну. Додатковими критеріями виключення для військовослужбовців ЗСУ була відсутність в анамнезі мінно-вибухових травм, соматоневрологічної патології, декомпенсованих розладів психіки та поведінки. Обстежені військовослужбовці ЗСУ не мали контактів з джерелами ІВ, були міськими жителями, мали вищу та середню спеціальну освіту.

В усіх обстежених УЛНА на ЧАЕС «COVID+» та осіб ГНК була діагностована хронічна цереброваску-

set to 0.3, and the filters were 75 Hz. EEG was recorded: 1) in a state of passive wakefulness with eyes closed for 1 min; 2) in a state of passive wakefulness with eyes open for 30 s; 3) hyperventilation with eyes closed for 3 min; 4) in a state of passive wakefulness after hyperventilation with eyes closed for 1 min. Evaluation and interpretation were based on classical textbooks and atlases on EEG [38].

Visual and spectral analysis of EEG was performed. 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. Spectral analysis was performed using the generally accepted fast Fourier transform method. The absolute spectral power ($\mu\text{V}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$) and the dominant frequency (Hz) for the entire frequency range (1–32 Hz), as well as the dominant frequency, absolute and relative (as a percentage of the total spectral composition) spectral power for the main frequency bands: δ (1–4 Hz), θ (> 4–7 Hz), α (> 7–12 Hz), and β (> 12–32 Hz) were obtained. Numerical indicators and maps of the topographic distribution of the spectral power of the main EEG bands over the scalp were analyzed.

Excel spreadsheets (MS Windows) were used as a database structure for accumulating, storing, and analyzing information. Statistical analysis was performed using standard statistical packages Statistica 10.0 and SPSS 16.0. Parametric (Student's t-test) and non-parametric (Fisher's exact test, χ^2) criteria were used to identify differences between groups of subjects.

RESULTS AND DISCUSSION

All the examined Chornobyl clean-up workers «COVID+» and patients of NCG were urban residents and had higher and secondary specialized education. Exclusion criteria in the study were: the presence of severe somatoneurological and mental pathology in the stage of decompensation at the time of the study; neuroinfectious and demyelinating diseases; substance abuse, except for tobacco. Additional exclusion criteria for AFU servicemen were the absence of a history of mine-blast injuries, somatoneurological pathology, and decompensated mental and behavioral disorders. The surveyed AFU servicemen had no contact with sources of IR, were urban residents, and had higher and secondary specialized education.

All the examined Chornobyl clean-up workers «COVID+» and individuals of NCG were diag-

лярна патологія (дисциркуляторна енцефалопатія) у вигляді хронічного порушення мозкового кровообігу (ХПМК) (МКХ-10: I67.4, I67.8, I67.9) та церебрального атеросклерозу (МКХ-10: I67.2). У двох випадках в групі УЛНА на ЧАЕС «COVID+» були виявлені наслідки перенесеного ГПМК за ішемічним типом. Клінічно в УЛНА на ЧАЕС «COVID+» і осіб ГНК виявлялися розсіяна мікровогнищева неврологічна симптоматика; емоційно-поведінкові розлади з депресивними, тривожними і соматоформними проявами, а також когнітивні розлади у вигляді зниження пам'яті, переважно на поточні події; зниження концентрації уваги; інтелектуально-мнестичне зниження; елементи акустико-мнестичної афазії; порушення мислення, розуміння, планування, цілепокладання та суджень. За МКХ-10 діагностували органічний емоційно-лабільний (астенічний) розлад (F06.6); легкий когнітивний розлад (F06.7); органічний розлад особистості (F07). При дослідженні право-ліворукості було встановлено, що у всіх УЛНА на ЧАЕС «COVID+» і осіб ГНК провідною рукою була права. Достовірно за клінічними психоневрологічними характеристиками обидві групи практично не відрізнялись, за винятком достовірно вищої частоти розладів психіки та поведінки у групі УЛНА на ЧАЕС «COVID+» за рахунок органічного розладу особистості (F07) ($p < 0,001$), (табл. 1).

Клінічно за структурою нейропсихіатричної патології групи військовослужбовців ЗСУ «COVID+» та «COVID-» практично не відрізнялись, проте привертає до себе увагу дещо вища частота церебрального атеросклерозу (I67.2) та хронічної ішемії головного мозку (I67.4, I67.8, I 67.9) у групі ЗСУ «COVID+», яка не сягнула рівня статистичної значущості (табл. 2).

Нейрофізіологічна характеристика обстежених груп

Спонтанна біоелектрична активність головного мозку

Дані комп'ютеризованої ЕЕГ засвідчили наявність у групі УЛНА на ЧАЕС «COVID+» виражених патологічних змін спонтанної біоелектричної активності. У групі УЛНА на ЧАЕС «COVID+» достовірно відносно осіб ГНК дифузно збільшена відносна (%) спектральна потужність дельта (> 0–4,0 Гц) діапазону кЕЕГ, виявлене достовірне білатеральне зниження відносної спектральної тета-потужності (> 4,0–7,0 Гц) у фронтальних ділянках, достовірно збільшена абсолютна спектральна потужність

nosed with chronic cerebrovascular disease (discirculatory encephalopathy) in the form of chronic cerebrovascular disease (CVD) (ICD-10: I67.4, I67.8, I67.9) and cerebral atherosclerosis (ICD-10: I67.2). In two cases, sequelae of cerebral infarction were detected in the group of the COVID+ group of the Chernobyl clean-up workers. Clinically, in the Chernobyl clean-up workers «COVID+» and NCG had scattered microfocal neurological symptoms; emotional and behavioral disorders with depressive, anxiety and somatoform manifestations, as well as cognitive disorders in the form of memory loss, mainly for current events; decreased concentration; intellectual and mental decline; elements of acoustic-mnestic aphasia; impaired thinking, understanding, planning, goal setting and judgment. According to the ICD-10, organic emotionally labile (asthenic) disorder (F06.6); mild cognitive disorder (F06.7); organic personality disorder (F07) were diagnosed. In the study of right- and left-handedness, it was found that all the Chernobyl clean-up workers «COVID+» and the persons from NCG were right-handed. Both groups did not differ significantly in clinical neuropsychiatric features, except for a substantially higher frequency of mental and behavioral disorders in the Chernobyl clean-up workers «COVID+» due to organic personality disorder (F07) ($p < 0.001$) (Table 1).

Clinically, the structure of neuropsychiatric pathology in the groups of the AFU «COVID+» and «COVID-» practically did not differ, but the slightly higher frequency of cerebral atherosclerosis (I67.2) and chronic cerebral ischemia (I67.4, I67.8, I 67.9) in the group of the Armed Forces of Ukraine «COVID+», which did not reach the level of statistical significance, is noteworthy (Table 2).

Neurophysiological characteristics of the examined groups

Spontaneous bioelectrical activity of the brain

The data of computerized EEG showed pronounced pathological changes in spontaneous bioelectrical activity in the group of Chernobyl clean-up workers «COVID+». In the Chernobyl clean-up workers «COVID+», the relative (%) spectral delta power (> 0–4.0 Hz) of QEEG range was significantly increased compared to the individuals of the NCG; a significant bilateral decrease in the relative spectral theta power (> 4.0–7.0 Hz) in the frontal areas, significantly increased absolute spectral power of the

Таблиця 1

Клінічна психоневрологічна характеристика за критеріями МКХ-10 УЛНА на ЧАЕС «COVID+» та осіб ГНК

Table 1

Clinical neuropsychiatric characteristics according to ICD-10 criteria of COVID+ patients at ChNPP and persons with GOC

Діагноз, МКХ-10 Diagnosis, ICD-10	УЛНА на ЧАЕС «COVID+» Chornobyl clean-up workers «COVID+» n = 30 абс./abs. (%)	χ^2 з поправкою Yates, двобічний точний критерій Фішера, p χ^2 with Yates correction two-sided Fisher's exact test, p	ГНК NCG n = 24 абс./abs. (%)
СОМАТОНЕВРОЛОГІЧНІ, ВКЛЮЧАЮЧИ ЦЕРЕБРОВАСКУЛЯРНІ, РОЗЛАДИ SOMATONEUROLOGICAL, INCLUDING CEREBROVASCULAR, DISORDERS			
Соматоневрологічні розлади Somatoneurological disorders	30 (100,0 %)	p = 1,0	24 (100,0 %)
Соматоневрологічна коморбідність Somatoneurological comorbidity	24 (80,0 %)	$\chi^2 = 2,05$ p = 0,13	14 (58,3 %)
Церебральний атеросклероз (I67.2) Cerebral atherosclerosis (I67.2)	23 (73,3 %)	$\chi^2 = 0,01$ p = 1,0	19 (79,2 %)
Хронічна ішемія головного мозку (I67.4, I67.8, I67.9) Chronic cerebral ischemia (I67.4, I67.8, I67.9)	30 (100,0 %)	p = 1,0	24 (100,0 %)
Наслідки перенесеного ГПМК за ішемічним типом (I69.3) Sequelae of cerebral infarction (I69.3)	2 (6,7 %)	p = 0,49	0 (0,0 %)
Невропатія лицьового нерва (G51.0) Bell palsy (G51.0)	0 (0,0 %)	p = 0,44	1 (4,2 %)
Плечова плексопатія (G54.0) Brachial plexus disorders (G54.0)	1 (3,3 %)	p = 1,0	0 (0,0 %)
Синдром карпального каналу (G56.0) Carpal tunnel syndrome (G56.0)	2 (6,7 %)	p = 0,49	0 (0,0 %)
Невропатія ліктьового нерва (G56.2) Ulnar nerve neuropathy (G56.2)	2 (6,7 %)	p = 1,0	1 (4,2 %)
Попереково-крижова радикулопатія з моторними порушеннями (G54.4) Lumbosacral radiculopathy with motor disorders (G54.4)	3 (10,0 %)	p = 1,0	3 (12,5 %)
Діабетична поліневропатія (G63.2) Diabetic polyneuropathy (G63.2)	4 (13,3 %)	p = 1,0	4 (16,7 %)
Постковідний синдром (U09.9) Post-COVID syndrome (U09.9)	2 (6,7 %)	p = 0,49	0 (0,0 %)
Остеохондроз хребта (M42) та дорсопатії (M51, M52, M54) Spinal osteochondrosis (M42) and other dorsopathies (M51, M52, M54)	24 (80,0 %)	p = 0,52	17 (70,8 %)
ПСИХІЧНІ І ПОВЕДІНКОВІ РОЗЛАДИ MENTAL AND BEHAVIORAL DISORDERS			
Психічні і поведінкові розлади Mental and behavioral disorder	29 (96,7 %)	$\chi^2 = 19,64$ p < 0,001	9 (37,5 %)
Психіатрична коморбідність Psychiatric comorbidity	3 (10,0 %)	p = 1,0	2 (8,3 %)
Органічний астенічний розлад (F06.6) Organic emotionally labile [asthenic] disorder (F06.6)	17 (56,7 %)	$\chi^2 = 0,22$ p = 0,57	8 (33,3 %)
Помірний когнітивний розлад (F06.7) Mild cognitive disorder (F06.7)	5 (16,7 %)	p = 0,21	1 (4,2 %)
Органічний розлад особистості і поведінки (F07) Organic personality disorder (F07)	11 (36,6 %)	$\chi^2 = 6,4$ p = 0,007	1 (4,2 %)
Панічний розлад (F41.0) Panic disorder [episodic paroxysmal anxiety] (F41.0)	0 (0,0 %)	p = 1,0	1 (4,2 %)

дельта-діапазону у лівій постеро-темпоральній ділянці (табл. 3). Крім того, в групі УЛНА на ЧАЕС

delta range in the left posterior-temporal area (Table 3) were revealed. In addition, in the

Таблиця 2

Клінічна психоневрологічна характеристика за критеріями МКХ-10 у групах військовослужбовців ЗСУ «COVID+» та «COVID-»

Table 2

Clinical neuropsychiatric features according to ICD-10 criteria in the groups of the Armed Forces of Ukraine «COVID+» and «COVID-»

Діагноз, МКХ-10 Diagnosis, ICD-10	УЛНА на ЧАЕС «COVID+» Chornobyl clean-up workers «COVID+» n = 30 абс./abs. (%)	χ^2 з поправкою Yates, двобічний точний критерій Фішера, p χ^2 with Yates correction two-sided Fisher's exact test, p	ГНК NCG n = 24 абс./abs. (%)
СОМАТОНЕВРОЛОГІЧНІ, ВКЛЮЧАЮЧИ ЦЕРЕБРОВАСКУЛЯРНІ, РОЗЛАДИ SOMATONEUROLOGICAL, INCLUDING CEREBROVASCULAR, DISORDERS			
Соматоневрологічні розлади Somatoneurological disorders	15 (75,0 %)	p = 0,21	23 (93,3 %)
Соматоневрологічна коморбідність Somatoneurological comorbidity	8 (40,0 %)	p = 0,74	7 (46,7 %)
Церебральний атеросклероз (I67.2) Cerebral atherosclerosis (I67.2)	4 (20,0 %)	p = 0,12	0 (0,0 %)
Хронічна ішемія головного мозку (I67.4, I67.8, I 67.9) Chronic cerebral ischemia (I67.4, I67.8, I 67.9)	8 (40,0 %)	p = 0,28	3 (20,0 %)
Інші розлади вегетативної нервової системи (G90.8) Other disorders of autonomic nervous system (G90.8)	10 (50,0 %)	p = 0,73	9 (60,0 %)
Порушення засинання та підтримання сну, безсоння (G47.0) Sleep and sleep maintenance disorders, insomnia (G47.0)	3 (15,0 %)	p = 1,0	2 (13,3 %)
Віддалені наслідки внутрішньочерепної травми (T90.5) Sequelae of intracranial injury (T90.5)	2 (10,0 %)	p = 0,50	0 (0,0 %)
Невропатія променевого нерва (G56.3) Radial nerve neuropathy (G56.3)	0 (0,0 %)	p = 0,43	1 (6,7 %)
Невропатія стегнового нерва (G57.2) Femoral nerve neuropathy (G57.2)	0 (0,0 %)	p = 0,43	1 (6,7 %)
Остеохондроз хребта (M42) та дорсопатії (M51, M52, M54) Spinal osteochondrosis (M42) and other dorsopathies (M51, M52, M54)	15 (75,0 %)	p = 1,0	12 (80,0 %)
ПСИХІЧНІ І ПОВЕДІНКОВІ РОЗЛАДИ MENTAL AND BEHAVIORAL DISORDERS			
Психічні і поведінкові розлади Mental and behavioral disorder	20 (100,0 %)	p = 1,0	15 (100,0 %)
Психіатрична коморбідність Psychiatric comorbidity	8 (40,0 %)	p = 0,74	7 (46,7 %)
Помірний когнітивний розлад (F06.7) Mild cognitive disorder (F06.7)	0 (0,0 %)	p = 0,18	2 (13,3 %)
Змішаний тривожно-депресивний розлад (F41.2) Mixed anxiety and depressive disorder (F41.2)	10 (50,0 %)	p = 1,0	7 (46,7 %)
Посттравматичний стресовий розлад (F43.1) Post-traumatic stress disorder (F43.1)	13 (65,0 %)	p = 1,0	9 (60,0 %)
Порушення адаптації (F43.2) Adjustment disorders (F43.2)	2 (10,0 %)	p = 0,50	0 (0,0 %)
Неврастенія (F48.0) Neurasthenia (F48.0)	3 (15,0 %)	p = 1,0	3 (20,0 %)
Синдром деперсоналізації-дереалізації (F48.1) Depersonalization-derealization syndrome (F48.1)	0 (0,0 %)	p = 0,43	1 (6,7 %)

«COVID+» продемонстроване дифузне зниження абсолютної та відносної спектральної альфа-потужності (8–13 Гц) з акцентом у лівій фронто-темпоральній та

Chornobyl clean-up workers «COVID+» group, a diffuse decrease in absolute and relative spectral alpha power (8–13 Hz) with an emphasis on

темпоро-окципітальній ділянці, а також достовірне зниження відносної спектральної бета-потужності у потиличних відведеннях та симетричне дифузне зниження абсолютної бета-потужності ($> 13\text{--}30$ Гц) практично в усіх відведеннях кЕЕГ ($p < 0,05\text{--}0,001$) (табл. 3). Відповідно до наших попередніх даних, раніше спостерігалось радіаційно-асоційоване зниження тета-діапазону кЕЕГ, що інтерпретувалося як інгібіція гіпокампу. 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, яка клінічно виявляється у порушеннях вищих психічних функцій (короткотривалої пам'яті, уваги, мислення тощо), а також патопсихологічною дефіцитарною шизофреноподібною симптоматикою. Загалом, нейрофізіологічний патерн за даними кЕЕГ в УЛНА на ЧАЕС «COVID+» можна охарактеризувати як дифузне сповільнення біоелектричної активності головного мозку (diffuse slowing), тобто заміщення нормальної ритміки головного мозку в альфа- та бета-діапазоні низькочастотними (повільнохвильовими формами активності). Такі зміни свідчать про дифузне багаторівневе органічне ураження головного мозку в УЛНА на ЧАЕС «COVID+», яке характеризується глибокою дисфункцією стовбурово-дienceфальних структур, прогресуючий характер енцефалопатії з переважним залученням кортико-лімбічної системи лівої (домінантної) півкулі головного мозку. Дифузне багаторівневе органічне ураження головного мозку може бути обумовленим синергічним впливом таких несприятливих чинників як прискорене старіння головного мозку у віддалений період після впливу ІВ та наслідки перенесеної COVID-19 в УЛНА на ЧАЕС «COVID+», беручи до уваги доведену нейротропність коронавірусу SARS-CoV-2 (табл. 3).

При порівнянні результатів кЕЕГ у групах військовослужбовців ЗСУ «COVID+» та «COVID-», в групі «COVID+» виявлено достовірний гірший інтегральний бал кЕЕГ за О.О. Жирмунською: $11,1 \pm 2,1$ в групі «COVID+» та $8,7 \pm 3,2$ у групі «COVID-» відповідно ($t = 2,4$, $p < 0,05$), що свідчить про наявність стійкої церебральної дисфункції у вигляді помірного дифузного сповільнення фонового патерну ЕЕГ у військовослужбовців ЗСУ, які перехворіли на COVID-19 у 2020–2022 роках (табл. 4).

Результати кількісного аналізу кЕЕГ, представлені у табл. 4 та 5, засвідчують наявність у групі військо-

the left frontotemporal and temporooccipital areas, as well as a significant decrease in relative spectral beta power in the occipital leads and a symmetrical diffuse decrease in absolute beta power ($> 13\text{--}30$ Hz) in nearly all EEG leads ($p < 0.05\text{--}0.001$) (Table 3). Following our previous data, we observed a radiation-associated decrease in the theta range of QEEG before, which was interpreted as hippocampal inhibition. These changes indicate a probable influence of aging processes on brain functioning following radiation exposure. A significant decrease in relative spectral theta power in frontal leads may be a neurophysiological correlate of functional hypofrontality, which is clinically manifested in impaired higher mental functions (short-term memory, attention, thinking, etc.), as well as pathopsychological deficit schizophrenia-like symptoms. In general, the neurophysiological pattern according to QEEG data in the Chernobyl clean-up workers «COVID+» can be characterized as a diffuse slowing of the bioelectrical activity of the brain (diffuse slowing), that is, the replacement of normal brain rhythm in the alpha and beta range with low-frequency (slow-wave) forms of activity. Such changes indicate diffuse widespread organic brain damage in the Chernobyl clean-up workers «COVID+» characterized by severe dysfunction of stem-diencephalic structures, progressive encephalopathy with predominant involvement of cortico-lymphatic system of the left (dominant) brain hemisphere. That organic brain damage may be due to the synergistic effect of such adverse factors as accelerated brain aging in the long-term period following exposure to IR and the sequelae of COVID-19 in the Chernobyl clean-up workers «COVID+», taking into account the proven neurotropism of the SARS-CoV-2 coronavirus (Table 3).

When comparing the QEEG results in the subgroups of the Armed Forces of Ukraine servicemen «COVID+» and «COVID-», a significantly worse integral score of EEG patterns according to O.O. Zhyrmunskaya was found in the «COVID+» group: 11.1 ± 2.1 in the «COVID+» group and 8.7 ± 3.2 in the «COVID-» group, respectively ($t = 2.4$, $p < 0.05$), indicating the presence of persistent cerebral dysfunction as a moderate diffuse slowing of the background EEG pattern in AFU servicemen who contracted COVID-19 in 2020–2022.

The results of the quantitative analysis of QEEG summed in Tables. 4 and 5, show a significant dif-

Таблиця 3

Результати комп'ютерної електроенцефалографії (відносна спектральна потужність) в УЛНА на ЧАЕС «COVID+» та осіб ГНК, (M ± SD)

Table 3

Results of computerized quantitative electroencephalography (relative spectral power) in in the Chernobyl clean-up workers «COVID+» and individuals of the NCG, (M ± SD)

Показник, відведення EEG lead, according to «10–20 system»	УЛНА на ЧАЕС «COVID+», n = 30 Chernobyl clean-up workers «COVID+», n = 30	ГНК / NCG n = 24
Відносна спектральна дельта-потужність, % / Relative spectral delta power, %		
Fp1	66,2 ± 20,1**	43,7 ± 18,2
Fp2	55,7 ± 18,8*	42,4 ± 20,4
F7	54,1 ± 15,8***	32,6 ± 15,7
F3	51,3 ± 18,1***	30,3 ± 15,3
F4	52,2 ± 21,4**	32,6 ± 18,8
F8	53,1 ± 18,6**	34,1 ± 17,1
T3	47,9 ± 21,7**	28,8 ± 16,6
C3	48,7 ± 19,5**	28,9 ± 17,2
C4	47,2 ± 20,1*	29,1 ± 19,1
T4	53,6 ± 21,2***	33,8 ± 20,7
T5	45,6 ± 19,7***	21,8 ± 14,8
P3	43,4 ± 23,0*	26,9 ± 15,7
P4	44,5 ± 25,0**	24,0 ± 17,8
T6	43,9 ± 23,0*	27,1 ± 16,2
O1	44,0 ± 21,3***	21,4 ± 13,5
O2	39,3 ± 21,2**	20,7 ± 14,3
Відносна спектральна тета-потужність, % / Relative spectral theta power, %		
Fp1	10,6 ± 19,6**	17,3 ± 6,9
Fp2	11,9 ± 18,8*	15,5 ± 5,7
F7	11,7 ± 15,7*	17,2 ± 7,4
F3	12,3 ± 18,1*	17,9 ± 7,3
F4	12,5 ± 21,0*	17,3 ± 6,3
F8	13,0 ± 18,3*	16,6 ± 5,4
Відносна спектральна альфа-потужність, % / Relative spectral alpha power, %		
Fp1	15,6 ± 13,4*	26,6 ± 12,5
F7	20,6 ± 14,5*	32,6 ± 14,3
F3	22,1 ± 15,8*	35,1 ± 14,0
F8	21,0 ± 15,1*	31,5 ± 14,2
T3	23,4 ± 17,6*	37,3 ± 15,5
C3	24,9 ± 16,4*	38,9 ± 16,0
T4	22,1 ± 14,5*	33,9 ± 14,4
T5	26,7 ± 18,8**	44,4 ± 15,6
P3	31,3 ± 20,4*	46,8 ± 17,6
P4	29,3 ± 22,1*	46,5 ± 17,8
O1	30,0 ± 20,5**	53,4 ± 17,9
O2	34,3 ± 20,2**	54,7 ± 18,6
Відносна спектральна бета-потужність, % / Relative spectral beta power, %		
T5	13,6 ± 4,1*	18,7 ± 5,4
P3	11,8 ± 3,7**	16,9 ± 6,3
P4	10,5 ± 5,1**	17,2 ± 6,5
T6	12,6 ± 6,6*	18,0 ± 7,7
O2	11,4 ± 4,1*	14,4 ± 5,2

Примітки. *, **, *** – 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
Notes. *, **, *** – the difference is significant with a statistical significance level of $p < 0.05$; $p < 0.01$, and $p < 0.001$, respectively, compared to the comparison group by Student's t-test

вослужбовців ЗСУ «COVID+» достовірне дифузне збільшення відносної спектральної тета-потужності з білатеральним ексцесом утім'яних ділянках ($t = 2,1–3,1$, $p < 0,05–0,01$), а також достовірне

fuse increase in relative spectral theta power with a bilateral excess in the parietal areas in the group of servicemen of the Armed Forces of Ukraine «COVID+» ($t = 2.1–3.1$, $p < 0.05 – 0.01$), as well as

Таблиця 4

Результати комп'ютерної електроенцефалографії (відносна спектральна потужність) у групах військовослужбовців ЗСУ «COVID+» і «COVID-», (M ± SD)

Table 4

Results of computerized quantitative electroencephalography (relative spectral power) in the groups of AFU «COVID+» and «COVID-», (M ± SD)

Показник, відведення EEG lead, according to «10–20 system»	Військовослужбовці ЗСУ «COVID+», n = 20 AFU «COVID+», n = 20	Військовослужбовці ЗСУ «COVID-», n = 15 AFU «COVID-», n = 15
Відносна спектральна тета-потужність, % / Relative spectral theta power, %		
Fp1	26,5 ± 11,7**	16,2 ± 3,7
Fp2	25,2 ± 12,2*	16,9 ± 5,6
F7	25,1 ± 12,1*	16,9 ± 6,9
F8	25,4 ± 12,3*	17,0 ± 6,9
T3	24,0 ± 11,6*	15,4 ± 6,4
C3	24,1 ± 11,1*	15,4 ± 6,6
C4	24,3 ± 10,8*	15,7 ± 7,0
T4	23,3 ± 11,5*	15,3 ± 6,7
T5	23,3 ± 10,4*	14,9 ± 5,8
P3	23,1 ± 10,2**	12,5 ± 5,8
P4	22,3 ± 10,1**	12,6 ± 6,7
T6	22,0 ± 9,8*	14,1 ± 6,5
O1	20,2 ± 9,5*	11,9 ± 5,2
Відносна спектральна альфа-потужність, % / Relative spectral alpha power, %		
P3	36,7 ± 17,4*	52,6 ± 17,6

Примітки. *, **, *** – 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

Notes. *, **, *** – the difference is significant with a statistical significance level of $p < 0,05$; $p < 0,01$, and $p < 0,001$, respectively, compared to the comparison group by Student's t-test

Таблиця 5

Результати комп'ютерної електроенцефалографії (абсолютна спектральна потужність) у групах військовослужбовців ЗСУ «COVID+» і «COVID-», (M ± SD)

Table 5

Results of computerized quantified electroencephalography (absolute spectral power) in the groups of AFU «COVID+» and «COVID-», (M ± SD)

Показник, відведення EEG lead, according to «10–20 system»	Військовослужбовці ЗСУ «COVID+», n = 20 AFU «COVID+», n = 20	Військовослужбовці ЗСУ «COVID-», n = 15 AFU «COVID-», n = 15
Абсолютна спектральна тета-потужність, мкВ² · Гц⁻¹ / Absolute spectral theta power, $\mu V^2 \cdot Hz^{-1}$		
Fp2	24,6 ± 21,0*	11,2 ± 6,1
F7	22,5 ± 19,4*	9,1 ± 4,0

Примітки. *, **, *** – 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

Notes. *, **, *** – the difference is significant with a statistical significance level of $p < 0,05$; $p < 0,01$, and $p < 0,001$, respectively, compared to the comparison group by Student's t-test

зростання абсолютної спектральної тета-потужності білатерально в лобних ділянках ($t = 2,1-2,2$, $p < 0,05$) відносно групи військовослужбовців ЗСУ «COVID-». Таким чином, ступінь порушень патерну фоновіої ЕЕГ у групі ЗСУ «COVID+» виявився меншим, ніж у групі УЛНА «COVID+», що може пояснюватися молодшим віком обстежених. Проте направленість порушень нейродинаміки в обох групах реконвалесцентів COVID-19 є однаковою,

a significant increase in absolute spectral theta power bilaterally in the frontal areas ($t = 2.1-2.2$, $p < 0.05$) relative to the AFU group «COVID-». Thus, the degree of abnormalities of the background EEG pattern in the group of «COVID+» AFU was less than in the group of the Chernobyl clean-up workers «COVID+», which can be explained by the younger age of the AFU subjects. However, the direction of neurodynamic disorders in both groups

що може бути пояснене доведеною нейротропістю вірусу SARS-Cov-2.

Хоча COVID-19 вважається головним чином респіраторним захворюванням, SARS-CoV-2 вражає безліч систем органів, включаючи центральну нервову систему (ЦНС) [41]. SARS-CoV-2 може проникати в тканини мозку через віремію, а також шляхом прямої інвазії нюхового нерва, що призводить до аносмії. Найпоширенішими довготривалими неврологічними симптомами після COVID-19 є головний біль, запаморочення та хемосенсорна дисфункція (наприклад, аносмія та агевзія) [42]. При використанні органоїдів мозку людини E. Song зі співавт. [41] спостерігали докази вірусної інвазії з супутніми метаболічними змінами в інфікованих та сусідніх нейронах. У німецькому патоморфологічному дослідженні посмертних зразків мозку 43 пацієнтів віком 51–94 роки було виявлено свіжі територіальні ішемічні пошкодження у 6 (14 %) випадках, 37 (86 %) пацієнтів мали астрогліоз у всіх оцінених мозкових структурах. Активізація мікроглії та інфільтрація цитотоксичними Т-лімфоцитами (ЦТЛ) була найбільш вираженою у стовбурі мозку та мозочку, у 34 (79 %) пацієнтів спостерігалася інфільтрація ЦТЛ мозкових оболонок. SARS-CoV-2 виявили в мозку 21 (53 %) із 40 обстежених пацієнтів. Вірусні білки SARS-CoV-2 виявлені в черепно-мозкових нервах, що походять із нижнього стовбура мозку, та в ізольованих клітинах стовбура мозку [43]. Таким чином, пряма нейротропість SARS-COV-2 встановлена у найсучасніших морфологічних дослідженнях.

Тривала коронавірусна хвороба (long COVID) або післягострі наслідки інфекції SARS-CoV-2 (post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection, PASC), також відомі як стан після перенесеної коронавірусної хвороби (COVID-19) або постковідний синдром, можуть вражати будь-кого, інфікованого SARS-CoV-2, незалежно від віку чи тяжкості початкових симптомів COVID-19 [17, 44]. Long COVID/PASC – це продовження або розвиток нових симптомів через три місяці після первинної інфекції SARS-CoV-2, яка триває щонайменше два місяці і не має іншої ідентифікованої причини [17, 44]. Наразі не існує валідованих клінічних біомаркерів тривалого COVID/PASC, і малоімовірно, що будь-які з них будуть ідентифіковані [17]. Лише у США економічний тягар тривалого COVID/PASC оцінюється в 3 трлн доларів США протягом наступних п'яти років [45]. Втома, когнітивна дисфункція («мозковий туман», проблеми з пам'яттю, розлади уваги) та порушення сну є ключовими нейропсихіатричними ознаками

of COVID-19 convalescents is the same, which can be explained by the proven neurotropism of the SARS-Cov-2 virus.

Even though COVID-19 is considered primarily a respiratory disease, SARS-CoV-2 affects multiple organ systems, including the central nervous system (CNS) [41]. SARS-CoV-2 can penetrate brain tissue through viremia, as well as by direct invasion of the olfactory nerve, leading to anosmia. The most common long-term neurologic symptoms after COVID-19 are headache, dizziness, and chemosensory dysfunction (e.g., anosmia and ageusia) [42]. Studying human brain organoids, Song E. et al. observed evidence of viral invasion with concomitant metabolic changes in infected and neighboring neurons [41]. In a German pathologic study of postmortem brain samples from 43 patients aged 51–94 years, fresh territorial ischemic lesions were found in 6 (14 %) cases, and 37 (86 %) patients had astrogliosis in all brain structures evaluated. Microglia activation and infiltration by cytotoxic T lymphocytes (CTLs) was most pronounced in the brainstem and cerebellum, and in 34 (79 %) patients CTL infiltration of the meninges was observed. SARS-CoV-2 was detected in the brains of 21 (53 %) of the 40 patients examined. SARS-CoV-2 viral proteins were detected in cranial nerves originating from the lower brainstem and in isolated brainstem cells [43]. Thus, the direct neurotropism of SARS-COV-2 has been established in the most recent morphological studies.

Prolonged coronavirus disease (long COVID) or post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection (PASC), also known as post-acute coronavirus disease (COVID-19) or post-COVID syndrome, can affect anyone infected with SARS-CoV-2, regardless of age or severity of initial COVID-19 symptoms [44]. Long COVID/PASC is the continuation or development of new symptoms during three months after the initial SARS-CoV-2 infection, lasting at least two months and with no other identifiable cause [44]. Currently, there are no validated clinical biomarkers for long-term COVID/PASC, and it is unlikely that any will be identified [44]. In the United States only, the economic burden of prolonged COVID/PASC is estimated to be \$3 trillion over the next five years [45]. Fatigue, cognitive dysfunction («brain fog», memory problems, attention disorders), and sleep disturbances are key neuropsychiatric signs of post-

постковідного синдрому [46]. «Мозковий туман» (brain fog) — це термін, який позначає низку симптомів, які характеризують когнітивні порушення, і в загальному розумінні означає порушення здатності ясно мислити, зосереджуватися, концентруватися, запам'ятовувати та перемикаати увагу. Як і показує власне назва, ці симптоми «затуманюють» розум пацієнта і ускладнюють виконання рутинних завдань, таких як підтримання розмови, прослуховування інструкцій або запам'ятовування та контроль етапів виконання складних дій на тлі вираженої загальної астенизації. Пацієнти можуть пред'являти скарги на неуважність, проблеми з концентрацією уваги, забудькуватість, втому, дезорієнтацію, втрату ходу думок, розумове виснаження, проблеми з підбором потрібних слів під час розмови, сповільнення процесу мислення та швидкості реакцій [47]. Психіатричні прояви (порушення сну, тривожність і депресія) зустрічаються часто і з часом значно зростають у поширеності [46]. Long COVID/PASC зустрічається у 10–20 % пацієнтів, інфікованих SARS-CoV-2. У реконвалесцентів COVID-19 зберігається висока поширеність синдрому хронічної втоми, тривожних, депресивних станів, порушень сну, соматичних і неврологічних розладів впродовж тривалого часу. В соціальних мережах такі пацієнти досить часто називали себе «далекобійниками» (long haulers), згодом цей термін став використовуватись і в наукових працях [48]. У проспективному дослідженні 100 «далекобійників», проведеному у Northwestern University Feinberg School of Medicine в США у 2021 році, було показано, що основними неврологічними проявами серед них були: втома (85 %), «мозковий туман» (81 %), головний біль (68 %), оніміння/поколювання (60 %), дисгевзія (59 %), аносмія (55 %) та міалгії (55 %). Пацієнти, інфіковані SARS-CoV-2, показали гірші результати в когнітивних завданнях на увагу та робочу пам'ять порівняно з демографічно відповідною популяцією США ($p < 0,01$). Таким чином, авторами було показано, що негоспіталізовані «далекобійники» COVID-19 відчують помітний і стійкий «мозковий туман» і втому, які впливають на їхні когнітивні функції та якість життя [48].

Дані, отримані в даному дослідженні, показують, що перспективними для діагностики зазначених уражень, оцінки ефективності лікувальних заходів, є дешеві, безпечні та неінвазивні нейрофізіологічні методи обстеження, які дозволяють об'єктивно оцінити функціонування лімбічних та стовбурових структур, які включають в себе кількісну електроенцефалографію (кЕЕГ).

COVID syndrome [46]. «Brain fog» is a term that refers to some symptoms that characterize cognitive impairment, and in general terms means impaired ability to think, focus, concentrate, remember, and switch attention. As the name implies, these symptoms «cloud» the patient's mind and make it difficult to perform routine tasks such as holding a conversation, listening to instructions, or remembering and controlling the steps of complex activities in the face of severe generalized asthenia. Patients often report issues such as inattention, difficulty concentrating, forgetfulness, fatigue, disorientation, and a loss of thought continuity. They may also experience mental exhaustion, trouble finding the right words during conversations, and slower thinking and reaction times [47]. Additionally, psychiatric symptoms like sleep disturbances, anxiety, and depression are common and tend to increase significantly over time [46].

Long COVID/PASC occurs in 10–20 % of patients infected with SARS-CoV-2. COVID-19 convalescents have a high prevalence of chronic fatigue syndrome, anxiety, depression, sleep disorders, and somatic and neurological disorders for a long time. In social networks, such patients often called themselves «long haulers», and later this term was used in scientific papers [48]. In a prospective study of 100 long haulers conducted at the Northwestern University Feinberg School of Medicine in the United States in 2021, it was shown that the main neurological manifestations among them were: fatigue (85 %), brain fog (81 %), headache (68 %), numbness/tingling (60 %), dysgeusia (59 %), anosmia (55 %), and myalgia (55 %). Patients infected with SARS-CoV-2 performed worse in cognitive tasks of attention and working memory compared to the demographically matched US population ($p < 0.01$). Thus, the authors have shown that non-hospitalized COVID-19 «long haulers» experience noticeable and persistent brain fog and fatigue that affect their cognitive function and quality of life [48].

The data obtained in this study show that cheap, safe, and non-invasive neurophysiological methods of examination, including quantitative electroencephalography (QEEG), are promising for diagnosing these lesions and assessing the effectiveness of treatment measures.

ВИСНОВКИ

В УЛНА на ЧАЕС реконвалесцентів COVID-19 вперше виявлене виражене дифузне сповільнення біоелектричної активності головного мозку (diffuse slowing) до дельта-частот стосовно групи порівняння з хронічною ЦВП, в анамнезі в якій був відсутній вплив ІВ та інфекції SARS-Cov-2. Такі зміни свідчать про дифузне багаторівневе органічне ураження головного мозку в УЛНА на ЧАЕС «COVID+», яке характеризується глибокою дисфункцією стовбурово-діенцефальних структур, прогресуючий характер енцефалопатії з переважним залученням кортико-лімбічної системи лівої (домінантної) півкулі головного мозку. Дані зміни можуть бути обумовлені синергічним впливом прискороного старіння головного мозку у віддалений період після впливу ІВ та перенесеного COVID-19 в УЛНА на ЧАЕС. Клінічно в групі УЛНА на ЧАЕС «COVID+» виявлена достовірно вища частота розладів психіки та поведінки, ніж у ГНК, за рахунок органічного розладу особистості (F07). Таким чином, виявлені нейрофізіологічні зміни повністю збігаються з опублікованими літературними даними про подібні зміни в інших когортах реконвалесцентів коронавірусної хвороби та можуть бути церебральним базисом прискороного прогресування органічних порушень психіки поведінки, зокрема, помірних когнітивних порушень і деменції в УЛНА на ЧАЕС, які перехворіли на COVID-19. Виявлені зміни потребують подальших досліджень із залученням додаткових груп порівняння та адекватного дозиметричного супроводу.

У військовослужбовців ЗСУ, які перехворіли на COVID-19, спостерігається помірно виражена стійка церебральна дисфункція, а також інгібіція функціонування діенцефальних структур і дисфункція ретикулярної формації стовбура головного мозку. Вперше виявлене достовірне зростання спектральної тета-потужності у військовослужбовців ЗСУ, які перехворіли на COVID-19. Виявлені тенденції можуть свідчити про наявність стійкої церебральної дисфункції після перенесеної хвороби COVID-19 як імовірного церебрального базису подальшого розвитку тривожно-депресивних станів, а також погіршення перебігу посттравматичного стресового розладу та інших розладів, асоційованих з стресом. Дані зміни потребують подальшого спостереження та вивчення.

Джерела фінансування

Робота виконана в структурі фундаментальної науково-дослідної роботи Державної установи «Націо-

CONCLUSIONS

For the first time, a pronounced diffuse slowing of bioelectrical activity of the brain (diffuse slowing) to delta frequencies was detected in the Chernobyl clean-up workers being COVID-19 recuperates compared to the comparison group with chronic CVD, who had no history of exposure to IR and SARS-Cov-2 infection. Such changes indicate diffuse widespread organic brain damage in the Chernobyl clean-up workers «COVID+», which is characterized by severe dysfunction of the stem-diencephalic structures, progressive encephalopathy with predominant involvement of the cortico-lymphatic system of the left (dominant) hemisphere of the brain. These changes may be due to the synergistic effect of accelerated brain aging in the remote period after exposure to IR and COVID-19 in the Chernobyl clean-up workers. Clinically, a significantly higher frequency of mental and behavioral disorders was detected in the COVID+ the Chernobyl clean-up workers compared to the NCG at the expense of organic personality disorder (F07). Thus, the detected neurophysiological changes fully coincide with the published literature data on similar changes in other cohorts of coronavirus disease convalescents and may be the cerebral basis for the accelerated progression of organic behavioral and mental disorders, in particular, mild cognitive impairment and dementia in victims of the Chernobyl accident who have contracted COVID-19. The identified changes require further research involving additional comparison groups and adequate dosimetric support.

AFU servicemen who suffered from COVID-19 have moderate persistent cerebral dysfunction, as well as inhibition of diencephalic structures and dysfunction of the reticular formation of the brainstem. For the first time, a significant increase in spectral theta power was detected in the Armed Forces of Ukraine servicemen who had COVID-19. The identified trends may indicate the presence of persistent cerebral dysfunction after COVID-19 as a possible cerebral basis for the further development of anxiety and depression, as well as the worsening of PTSD and other stress-related disorders. These changes require additional observation and study.

Funding

The work was performed within the scope of the fundamental research work of State Institution

нальний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», шифр 632 «Механізми модифікуючого впливу COVID-19 інфекції на радіаційно-індуковані ефекти в осіб постраждалих внаслідок Чорнобильської катастрофи» на замовлення Національної академії медичних наук України.

Інформація про конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. SARS-CoV-2, the virus that causes COVID-19: cytometry and the new challenge for global health / A. Cossarizza, S. De Biasi, G. Guaraldi et al. *J. Cytometry A*. 2020. Vol. 97, no. 4. P. 340-343.
2. The psychosocial impact of COVID-19 pandemic in Italy: A lesson for mental health prevention in the first severely hit European country / D. Marazziti, A. Pozza, M. Di Giuseppe, C. Conversano. *Psychol. Trauma*. 2020. Vol. 12, no. 5. P. 531-533.
3. Marazziti D., Stahl M. The relevance of COVID-19 pandemic to psychiatry. *World Psychiatry*. 2020. Vol. 19, no. 2. P. 261. doi: 10.1002/wps.20764.
4. Coronavirus disease (COVID-19) pandemic. URL: <https://www.who.int/europe/emergencies/situations/covid-19>.
5. Trends in COVID-19 deaths, World. URL: <https://data.who.int/dashboards/covid19/deaths?n=c>.
6. The National Institutes of Health (NIH): Researching COVID to enhance recovery (RECOVER). Available from: <https://recovercovid.org> [Internet Resource].
7. Lessons being learned from the Covid-19 pandemic for radiological emergencies and vice versa: report from expert discussions / M. Martell, T. Perko, N. Zeleznik S., Molyneux-Hodgson. *J. Radiol. Prot.* 2022. Vol. 42, no. 1. doi: 10.1088/1361-6498/abd841
8. Loganovsky K., Loganovskaja T. A possible association between exposure to ionizing radiation and Sars-CoV-2 infection with schizophrenia spectrum disorders development: A new challenge for neuropsychiatric research. *Clin. Neuropsychiatry*. 2021. Vol. 18, no. 4. P. 231-232. doi: 10.36131/cnforiteditore20210406. PMID: 34909038; PMCID: PMC8650184.
9. Australian National COVID-19 Clinical Evidence Taskforce. Australian guidelines for the clinical care of people with COVID-19. 2021. URL: <https://app.magicapp.org/#/guideline/L4Q5An/section/LrpogE> (last accessed 22 Oct. 2022). [Internet Resource].
10. Management of post-acute COVID-19 in primary care / T. Greenhalgh, M. Knight, C. A'Court et al. *BMJ*. 2020. Vol. 370. P. m3026. doi: 10.1136/bmj.m3026.
11. Centers for disease control and prevention (CDC): Long COVID, 2024. URL: <https://www.cdc.gov/covid/long-term-effects/> [Internet Resource].

«National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», code 632 «Mechanisms of modifying the effect of COVID-19 infection on radiation-induced effects in people affected by the Chernobyl disaster» commissioned by the National Academy of Medical Sciences of Ukraine.

Conflict of interest disclosure

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Cossarizza A, De Biasi S, Guaraldi G, Girardis M, Mussini C. SARS-CoV-2, the virus that causes COVID-19: Cytometry and the new challenge for global health. *J Cytometry A*. 2020;97(4):340-343.
2. Marazziti D, Pozza A, Di Giuseppe M, Conversano C. The psychosocial impact of COVID-19 pandemic in Italy: A lesson for mental health prevention in the first severely hit European country. *Psychol Trauma*. 2020;12(5):531-533.
3. Marazziti D, Stahl M. The relevance of COVID-19 pandemic to psychiatry. *World Psychiatry*. 2020;19(2):261. doi: 10.1002/wps.20764.
4. Coronavirus disease (COVID-19) pandemic. URL: <https://www.who.int/europe/emergencies/situations/covid-19>.
5. Trends in COVID-19 deaths, World. URL: <https://data.who.int/dashboards/covid19/deaths?n=c>.
6. The National Institutes of Health (NIH): Researching COVID to enhance recovery (RECOVER). URL: <https://recovercovid.org>.
7. Martell M, Perko T, Zeleznik N, Molyneux-Hodgson S. Lessons being learned from the Covid-19 pandemic for radiological emergencies and vice versa: report from expert discussions. *J Radiol Prot*. 2022;42(1). doi: 10.1088/1361-6498/abd841.
8. Loganovsky K, Loganovskaja T. A possible association between exposure to ionizing radiation and Sars-CoV-2 infection with schizophrenia spectrum disorders development: A new challenge for neuropsychiatric research. *Clin Neuropsychiatry*. 2021;18(4):231-232. doi: 10.36131/cnforiteditore20210406.
9. Australian National COVID-19 Clinical Evidence Taskforce. Australian guidelines for the clinical care of people with COVID-19. 2021. URL: <https://app.magicapp.org/#/guideline/L4Q5An/section/LrpogE> (Last accessed October 22, 2022).
10. Greenhalgh T, Knight M, A'Court C, Buxton M, Husain L. Management of post-acute COVID-19 in primary care. *BMJ*. 2020;370:m3026. doi: 10.1136/bmj.m3026.
11. Centers for Disease Control and Prevention (CDC): Long COVID, 2024. URL: <https://www.cdc.gov/covid/long-term-effects/>.
12. Thaweethai T, Jolley SE, Karlson EW, Levitan EB, ... Foulkes AS; RECOVER consortium. Development of a definition of postacute sequelae of SARS-CoV-2 infection. *JAMA*. 2023;329(22):1934-1946. doi: 10.1001/jama.2023.8823.

12. Development of a definition of postacute sequelae of SARS-CoV-2 infection / T.Thaweethai, S. E. Jolley, E. W. Karlson et al. ; RECOVER consortium. *JAMA*. 2023. Vol. 329, no. 22. P. 1934-1946. doi: 10.1001/jama.2023.8823.
13. World Health Organization (WHO). Coronavirus disease (COVID-19): Post COVID-19 condition. URL: [https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-\(covid-19\)-post-covid-19-condition](https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-(covid-19)-post-covid-19-condition) (last accessed march 28, 2023).
14. National Institute for Health and Care Excellence (NICE) UK: [NG188]. COVID-19 rapid guideline: Managing the long-term effects of COVID-19. Updated 25 January 2024. URL: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng188>.
15. Gemelli Against COVID-19 Post-Acute Care Study Group. Post-COVID-19 global health strategies: the need for an interdisciplinary approach. *Aging Clin Exp Res*. 2020. Vol. 32, no. 8. P. 1613-1620. doi: 10.1007/s40520-020-01616-x.
16. Vasculitis changes in COVID-19 survivors with persistent symptoms: an [18F]FDG-PET/CT study / M. Sollini, M. Ciccarelli, M. Cecconi et al. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2020. Vol. 48, no. 5. P. 1460-1466. doi: 10.1007/s00259-020-05084-3.
17. Parums D. V. Long COVID or post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection (PASC) and the urgent need to identify diagnostic biomarkers and risk factors. *Med. Sci. Monit*. 2024. Vol. 30. P. e946512. doi: 10.12659/MSM.946512.
18. McWhirter L. Brain fog. *Pract. Neurol*. 2024. P. pn-2024-004112. doi: 10.1136/pn-2024-004112.
19. Parums D. V. Editorial: Post-acute sequelae of SARS-CoV-2 onfection (PASC). Updated terminology for the long-term effects of COVID-19. *Med. Sci. Monit*. 2023. Vol. 29. P. e941595. doi: 10.12659/MSM.941595.
20. Parums D. V. Editorial: Long COVID, or post-COVID syndrome, and the global impact on health care. *Med. Sci. Monit*. 2021. Vol. 27. P. e933446. doi: 10.12659/MSM.933446.
21. Novak P. Post COVID-19 syndrome associated with orthostatic cerebral hypoperfusion syndrome, small fiber neuropathy and benefit of immunotherapy: a case report. *eNeurological Sci*. 2020. Vol. 21. P. 100276. doi: 10.1016/j.ensci.2020.100276.
22. Parallel electrophysiological abnormalities due to COVID-19 infection and to Alzheimer's disease and related dementia / Y. Jiang, J. Neal, P. Sompol et al. *Alzheimers Dement*. 2024. Vol. 20, no. 10. P. 7296-7319. doi: 10.1002/alz.14089.
23. Treatment effects on event-related EEG potentials and oscillations in Alzheimer's disease / G. Yener, D. Hunerli-Gunduz, E. Yildirim et al. *Int. J. Psychophysiol*. 2022. Vol. 177. P. 179-201. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2022.05.008.
24. Gauging working memory capacity from differential resting brain oscillations in older individuals with a wearable device / S. Borhani, X. Zhao, M. R. Kelly et al. *Front. Aging Neurosci*. 2021. Vol. 13. P. 625006. doi:10.3389/fnagi.2021.625006.
25. Resting state electroencephalographic alpha rhythms are sensitive to Alzheimer's disease mild cognitive impairment progression at a 6-month
13. World Health Organization (WHO): Coronavirus disease (COVID-19): Post COVID-19 condition. March 28, 2023. URL: [https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-\(covid-19\)-post-covid-19-condition](https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-(covid-19)-post-covid-19-condition).
14. National Institute for Health and Care Excellence (NICE) UK: [NG188]. COVID-19 rapid guideline: Managing the long-term effects of COVID-19. Updated January 25, 2024. URL: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng188>.
15. Gemelli Against COVID-19 Post-Acute Care Study Group. Post-COVID-19 global health strategies: the need for an interdisciplinary approach. *Aging Clin Exp Res*. 2020;32(8):1613-1620. doi: 10.1007/s40520-020-01616-x.
16. Sollini M, Ciccarelli M, Cecconi M, Aghemo A, Morelli P, Gelardi F, Chiti A. Vasculitis changes in COVID-19 survivors with persistent symptoms: an [18F]FDG-PET/CT study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2020;48(5):1460-1466. doi: 10.1007/s00259-020-05084-3.
17. Parums DV. Long COVID or post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection (PASC) and the urgent need to identify diagnostic biomarkers and risk factors. *Med Sci Monit*. 2024;30:e946512. doi: 10.12659/MSM.946512.
18. McWhirter L. Brain fog. *Pract Neurol*. 2024;pn-2024-004112. doi: 10.1136/pn-2024-004112.
19. Parums DV. Editorial: Post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection (PASC). Updated terminology for the long-term effects of COVID-19. *Med Sci Monit*. 2023;29:e941595. doi: 10.12659/MSM.941595.
20. Parums DV. Editorial: Long COVID, or post-COVID syndrome, and the global impact on health care. *Med Sci Monit*. 2021;27:e933446. doi: 10.12659/MSM.933446.
21. Novak P. Post COVID-19 syndrome associated with orthostatic cerebral hypoperfusion syndrome, small fiber neuropathy and benefit of immunotherapy: a case report. *eNeurological Sci*. 2020;21:100276. doi: 10.1016/j.ensci.2020.100276.
22. Jiang Y, Neal J, Sompol P, Yener G, Arakaki X, Norris CM, et al. Parallel electrophysiological abnormalities due to COVID-19 infection and to Alzheimer's disease and related dementia. *Alzheimers Dement*. 2024;20(10):7296-7319. doi: 10.1002/alz.14089.
23. Yener G, Hunerli-Gunduz D, Yildirim E, Akturk T, Basar-Eroglu C, Bonanni L, et al. Treatment effects on event-related EEG potentials and oscillations in Alzheimer's disease. *Int J Psychophysiol*. 2022;177:179-201. doi:10.1016/j.ijpsycho.2022.05.008.
24. Borhani S, Zhao X, Kelly MR, Gottschalk KE, Yuan F, Jicha GA, et al. Gauging working memory capacity from differential resting brain oscillations in older individuals with a wearable device. *Front Aging Neurosci*. 2021;13:625006. doi:10.3389/fnagi.2021.625006.
25. Babiloni C, Jakhar D, Tucci F, Lizio R, Lopez S, Lorenzo I, et al. Resting state electroencephalographic alpha rhythms are sensitive to Alzheimer's disease mild cognitive impairment progres-

- follow-up / C. Babiloni, D. Jakhar, F. Tucci et al. *Neurobiol Aging*. 2024. Vol. 137. P. 19-37. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2024.01.013.
26. Relationship between default mode network and resting-state electroencephalographic alpha rhythms in cognitively unimpaired seniors and patients with dementia due to Alzheimer's disease / C. Babiloni, S. Lopez, G. Noce et al. *Cereb. Cortex*. 2023. Vol. 33, no. 20. P. 10514-10527. doi:10.1093/cercor/bhad300.
 27. Frontal encephalopathy related to hyperinflammation in COVID-19 / I. Cani, V. Barone, R. D'Angelo et al. *J. Neurol*. 2021. Vol. 268, no. 1. P. 16-19. doi:10.1007/s00415-020-10057-5.
 28. Antony A. R., Haneef Z. Systematic review of EEG findings in 617 patients diagnosed with COVID-19. *Seizure*. 2020. Vol. 83. P. 234-241. doi:10.1016/j.seizure.2020.10.014.
 29. 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. 441-458. doi: 10.1176/jnp.13.4.441.
 30. 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 Winter;16(1):70-82. doi: 10.1176/jnp.16.1.70. PMID: 14990762.
 31. Loganovsky K., Perchuk I., Marazziti D. Workers on transformation of the shelter object of the Chernobyl nuclear power plant into an ecologically-safe system show qEEG abnormalities and cognitive dysfunctions: A follow-up study. *World J. Biol. Psychiatry*. 2016. Vol. 17, no. 8. P. 600-607. doi: 10.3109/15622975.2015.1042044.
 32. Neuropsychobiological mechanisms of affective and cognitive disorders in the Chernobyl clean-up workers taking into account the specific gene polymorphisms / K. N. Loganovsky, M. O. Bomko, I. V. Abramenko et al. *Probl. Radiac. Med. Radiobiol*. 2018. Vol. 23. P. 373-409. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-373-409.
 33. Neurophysiological basis of the combined effects of acute stress and low doses of ionizing radiation on human brain / K. V. Kuts, T. K. Loganovska, G. Y. Kreinis et al. *Probl. Radiac. Med. Radiobiol*. 2023. Vol. 28. P. 348-373. doi: 10.33145/2304-8336-2023-28-348-373.
 34. Ionizing radiation: brain effects and related neuropsychiatric manifestations / D. Marazziti, A. Piccinni, F. Mucci et al. *Probl. Radiac. Med. Radiobiol*. 2016. Vol. 21. P. 64-90.
 35. 18F-FDG brain PET hypometabolism in patients with long COVID / E. Guedj, J. Champion, P. Dudouet et al. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2021. Vol. 48, no. 9. P. 2823-2833. doi: 10.1007/s00259-021-05215-4.
 36. Luck J., Kappenman S. The Oxford handbook of event-related potential components. Oxford University Press : Academic, 2012. 664 p.
 37. Aminoff M. Aminoff's Electrodiagnosis in clinical neurology. Saunders, 2012. 890 p.
 38. Niedermeyer E, da Silva F. Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields. Philadelphia, USA: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. 1309 p.
 39. sion at a 6-month follow-up. *Neurobiol Aging*. 2024;137:19-37. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2024.01.013.
 26. Babiloni C, Lopez S, Noce G, Ferri R, Panerai S, Catania V, et al. Relationship between default mode network and resting-state electroencephalographic alpha rhythms in cognitively unimpaired seniors and patients with dementia due to Alzheimer's disease. *Cereb Cortex*. 2023;33(20):10514-10527. doi:10.1093/cercor/bhad300.
 27. Cani I, Barone V, D'Angelo R, Pisani L, Allegri V, Spinardi L, et al. Frontal encephalopathy related to hyperinflammation in COVID-19. *J Neurol*. 2021;268(1):16-19. doi:10.1007/s00415-020-10057-5.
 28. Antony AR., Haneef Z. Systematic review of EEG findings in 617 patients diagnosed with COVID-19. *Seizure*. 2020;83:234-241. doi:10.1016/j.seizure.2020.10.014.
 29. 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. PMID: 11748314.
 30. 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.
 31. Loganovsky K, Perchuk I, Marazziti D. Workers on transformation of the shelter object of the Chernobyl nuclear power plant into an ecologically-safe system show qEEG abnormalities and cognitive dysfunctions: A follow-up study. *World J Biol Psychiatry*. 2016;17(8):600-607. doi: 10.3109/15622975.2015.1042044.
 32. Loganovsky KN, Bomko MO, Abramenko IV, Kuts KV, Belous NI, Masiuk SV, et al. Neuropsychobiological mechanisms of affective and cognitive disorders in the Chernobyl clean-up workers taking into account the specific gene polymorphisms. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2018;23:373-409. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-373-409.
 33. Kuts KV, Loganovska TK, Kreinis GY, Perchuk IV, Antypchuk KY, Sushko VO, Dykan IM. Neurophysiological basis of the combined effects of acute stress and low doses of ionizing radiation on human brain. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2023;28:348-373. doi: 10.33145/2304-8336-2023-28-348-373.
 34. Marazziti D, Piccinni A, Mucci F, Baroni S, Loganovsky K, Loganovskaja T. Ionizing radiation: brain effects and related neuropsychiatric manifestations. *Probl Radiac Med Radiobiol*. 2016;21:64-90.
 35. Guedj E, Champion J, Dudouet P, Kaphan E, Bregeon F, Tissot-Dupont H, et al. 18F-FDG brain PET hypometabolism in patients with long COVID. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2021;48(9):2823-2833. doi: 10.1007/s00259-021-05215-4.
 36. Luck J, Kappenman S. The Oxford handbook of event-related potential components. Oxford University Press: Academic; 2012. 664 p.
 37. Aminoff M. Aminoff's electrodiagnosis in clinical neurology. Saunders; 2012. 890 p.
 38. Niedermeyer E, da Silva F. Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields. Philadelphia, USA: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. 1309 p.

38. Niedermeyer E., da Silva F. *Electroencephalography : basic principles, clinical applications, and related fields*. Philadelphia, USA : Lippincott Williams & Wilkins, 2005. 1309 p.
39. Ayaz H., Dehais F. *Neuroergonomics: the brain at work and in everyday life*. Academic Press, 2018. 366 p.
40. 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.
41. Neuroinvasion of SARS-CoV-2 in human and mouse brain / E. Song, C. Zhang, B. Israelow et. al. *J. Exp. Med.* 2021. Vol. 218, no. 3. P. e20202135. doi: 10.1084/jem.20202135.
42. Del Rio C., Collins F., Malani P. Long-term health consequences of COVID-19. *JAMA.* 2020. Vol. 324, no. 17. P. 1723-1724. doi: 10.1001/jama.2020.19719.
43. Neuropathology of patients with COVID-19 in Germany: a post-mortem case series / J. Matschke, M. Lutgehetmann, C. Hagel et al. *Lancet Neurol.* 2020. Vol. 19, no. 11. P. 919-929. doi: 10.1016/S1474-4422(20)30308-2.
44. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) Long COVID. 2024. URL: <https://www.cdc.gov/covid/long-term-effects/>
45. Cutler D. M. The costs of long COVID. *JAMA Health Forum.* 2022. Vol. 3, no. 5. P. e221809. doi: 10.1001/jamahealthforum.2022.1809.
46. Mid and long-term neurological and neuropsychiatric manifestations of post-COVID-19 syndrome: A meta-analysis / L. Premraj, N. V. Kannapadi, J. Briggs et al. *J. Neurol. Sci.* 2022. Vol. 434. P. 120162. doi: 10.1016/j.jns.2022.120162.
47. Brain Fog. URL: <https://my.clevelandclinic.org/health/symptoms/brain-fog> [Internet Resource].
48. Persistent neurologic symptoms and cognitive dysfunction in non-hospitalized COVID-19 «long haulers» / E. L. Graham, J. R. Clark, Z. S. Orban et al. *Ann. Clin. Transl. Neurol.* 2021. Vol. 8, no. 5. P. 1073-1085. doi: 10.1002/acn3.51350.
39. Ayaz H, Dehais F. *Neuroergonomics: the brain at work and in everyday life*. Academic Press; 2018. 366 p.
40. Babiloni C, Barry RJ, Bashir 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.
41. Song E, Zhang C, Israelow B, Lu-Culligan A, Prado A, Skriabine S, et. al. Neuroinvasion of SARS-CoV-2 in human and mouse brain. *J Exp Med.* 2021;218(3):e20202135. doi: 10.1084/jem.20202135.
42. Del Rio C, Collins F, Malani P. Long-term health consequences of COVID-19. *JAMA.* 2020;324(17):1723-1724. doi: 10.1001/jama.2020.19719.
43. Matschke J, Lutgehetmann M, Hagel C, Sperhake J, Schroder A, Edler C, et. al. Neuropathology of patients with COVID-19 in Germany: a post-mortem case series. *Lancet Neurol.* 2020; 19(11):919-929. doi: 10.1016/S1474-4422(20)30308-2.
44. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) Long COVID. 2024. URL: <https://www.cdc.gov/covid/long-term-effects/>
45. Cutler DM. The costs of long COVID. *JAMA Health Forum.* 2022;3(5):e221809. doi: 10.1001/jamahealthforum.2022.1809.
46. Premraj L, Kannapadi NV, Briggs J, Seal SM, Battagliani D, Fanning J, et al. Mid and long-term neurological and neuropsychiatric manifestations of post-COVID-19 syndrome: A meta-analysis. *J Neurol Sci.* 2022;434:120162. doi: 10.1016/j.jns.2022.120162.
47. Brain Fog. URL: <https://my.clevelandclinic.org/health/symptoms/brain-fog>.
48. Graham EL, Clark JR, Orban ZS, Lim PH, Szymanski AL, Taylor C, et al. Persistent neurologic symptoms and cognitive dysfunction in non-hospitalized Covid-19 «long haulers». *Ann Clin Transl Neurol.* 2021;8(5):1073-1085. doi: 10.1002/acn3.51350.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Базика Дмитрій Анатолійович, доктор медичних наук, професор, академік НАМН України, Лауреат Державної премії України та Кабінету Міністрів України, заслужений діяч науки і техніки України, генеральний директор ННЦРМГО, м. Київ, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9982-5990>

Куц Костянтин Володимирович, кандидат медичних наук, старший науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології, ННЦРМГО, м. Київ, Україна
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1954-3075>

Перчук Ірина Вадимівна, кандидат медичних наук, провідний науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології, ННЦРМГО, м. Київ, Україна
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2537-2113>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Dimitry A. Bazyka, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAMS of Ukraine, Director-General of NRCRMHO, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9982-5990>

Kostiantyn V. Kuts, Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine

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

Iryna V. Perchuk, Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher, Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2537-2113>

Крейнис Георгій Юрійович, науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології, ННЦРМГО, м. Київ, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4470-1517>

Антипчук Катерина Юріївна, кандидат медичних наук, старший науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології, ННЦРМГО, м. Київ, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8463-7874>

Василенко Злата Леонідівна, завідувач відділення радіаційної психоневрології Клініки ННЦРМГО, Київ, Україна

Григоренко Марія Сергіївна, молодший науковий співробітник відділу радіаційної психоневрології, Інститут клінічної радіології, ННЦРМГО, м. Київ, Україна

George Yu. Kreinis, Research Associate of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRMO, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4470-1517>

Kateryna Yu. Antypchuk, Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRMO, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8463-7874>

Zlata L. Vasylenko, Head of the Radiation Psychoneurology Unit, Clinic, NRCRMO, Kyiv, Ukraine

Mariia S. Hryhorenko, Research Assistant of the Department of Radiation Psychoneurology, Institute of Clinical Radiology, NRCRMO, Kyiv, Ukraine

Стаття надійшла до редакції 14.11.2024

Received: 14.11.2024