

*I. I. Черненко*

## ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН БІОЕЛЕКТРИЧНОЇ АКТИВНОСТІ МОЗКУ У ПАЦІЄНТІВ ІЗ НАСЛІДКАМИ БОЙОВОЇ ЧЕРЕПНО-МОЗКОВОЇ ТРАВМИ ЗАЛЕЖНО ВІД СТУПЕНЯ ТЯЖКОСТІ

*I. I. Chernenko*

### FEATURES OF IMPAIRED BIOELECTRICAL ACTIVITY OF THE BRAIN IN PATIENTS WITH CONSEQUENCES OF COMBAT TRAUMATIC BRAIN INJURY DEPENDING ON THE SEVERITY

**Ключові слова:** бойова черепно-мозкова травма, біоелектрична активність мозку, електроенцефалографія, когнітивні порушення, синдроми

У контексті сучасних військових конфліктів ця проблема набуває особливого значення через збільшення кількості пацієнтів із подібними ушкодженнями. За даними статистики, кожен третій пацієнт, що зазнав бойової черепно-мозкової травми (бЧМТ), має широкий спектр неврологічних, когнітивних і психічних розладів, які суттєво впливають на якість життя пацієнтів. Відомо, що патогенез посттравматичних розладів може бути пов'язаний з дисфункцією неспецифічних структур головного мозку, до яких належить лімбіко-ретикулярний комплекс. Одним із ключових методів оцінки функціонального стану головного мозку є електроенцефалографія (ЕЕГ), яка дає змогу виявити порушення біоелектричної активності головного мозку (БЕАГМ).

Метою цього дослідження є визначення особливостей змін БЕАГМ у пацієнтів із наслідками бЧМТ та їх кореляція із клінічними проявами.

У дослідженні взяли участь 350 пацієнтів із наслідками бЧМТ. Хворі були поділені на групи залежно від тяжкості отриманої травми: 145 осіб з легкою бЧМТ (ЛбЧМТ), 125 осіб з середнього ступеня тяжкості бЧМТ(СТ) і 80 осіб з тяжкою бЧМТ (ТбЧМТ). Також враховували катамнез травми: від 6 місяців до 1 року, від 1 до 3 років та від 4 до 7 років. Середній вік —  $38,5 \pm 1,5$  років. Контрольну групу становили 30 здорових осіб без бЧМТ. Усім пацієнтам проведено клініко-неврологічне обстеження для оцінки неврологічного статусу та визначення основних синдромів, а також електроенцефалографія з аналізом вогнищевих змін на ЕЕГ та основних ритмів мозкової активності. Запис ЕЕГ проведено за допомогою електроенцефалографічного комплексу НейроКом «ХАІ-Медика», НТЦ радіоелектронних медичних приборів та технологій Національного аерокосмічного університету «ХАІ», хворим, у яких не було відкритих ран та післяопераційних швів в місці накладання електродів, металевих уламків та металевих пластин в ділянці голови та шиї, що можуть призводити до появи артефактів під час реєстрації ЕЕГ. Обстежені 97 пацієнтів з ЛбЧМТ (66,9 %), 80 пацієнтів з бЧМТ(СТ) (64,0 %) та 47 пацієнтів з ТбЧМТ (58,75 %).

Отримані результати свідчать, що в абсолютній більшості пацієнтів з ЛбЧМТ спостерігалися легкі або помірні зміни на ЕЕГ. Водночас домінував модульований «веретено-подібний» альфа-ритм, з акцентом в середніх та задніх відділах головного мозку. У передніх відділах мозку реєструвався бета-ритм в середньому з амплітудою 15—20 мкВ і частотою 14—24 коливань за секунду. Зональні відмінності збережені. Зокрема, лише у 34 пацієнтів (35,05 %) цієї групи виявлено дисфункцію діенцефально-стовбурових структур мозку. У хворих з бЧМТ(СТ) нормальні показники ЕЕГ не зафіксовані. Дисфункція діенцефально-стовбурових структур мозку зареєстрована у 32 (40,0 %). Незначна вогнищева симптоматика була у 28 (35,0 %), пароксизмальна активність виявлена у 11 обстежених (13,75 %). У решти хворих спостерігалась спонтанна епіактивність. У групі пацієнтів з ТбЧМТ також не виявлені нормальні показники ЕЕГ. Дисфункція діенцефально-стовбурових структур мозку зафіксована у 18 (38,2 %) пацієнтів, вогнищева активність спостерігалась у 17 (36,2 %), пароксизмальна активність — у 8 (17,02 %) хворих. Спонтанна епіактивність спостерігалась у 4 (8,51 %) обстежених. У хворих з бЧМТ(СТ) та ТбЧМТ не виявлено реакцію на гіпервентиляцію. Спостерігалось посилення синхронізації з підвищенням амплітуди біопотенціалів у вигляді загострених хвиль альфа-діапазону, посилення дезорганізації альфа-ритму, також поява гострих та повільних хвиль. Поява альфа-ритму високої амплітуди свідчить про пригнічення біопотенціалів мозку, очевидно, внаслідок недостатності гемодинаміки та гіпоксії мозку.

Отже, розлади електрогенезу відображають дисрегуляторну перебудову мозку та його реакцію на недостатність кровопостачання, які виявлені в групах хворих з бЧМТ(СТ) і ТбЧМТ. Дослідження БЕАГМ показало, що наслідки бЧМТ характеризуються змінами частоти, амплітуди альфа-ритму, які свідчать про дисфункцію неспецифічних структур мозку, причому показники у хворих з ЛбЧМТ наближаються до показників у хворих з бЧМТ (СТ) та ТбЧМТ. Чим важчою була отримана бЧМТ, тим більш виражені зміни БЕАГМ спостерігались у пацієнтів з бЧМТ(СТ) та ТбЧМТ.

**Key words:** *combat traumatic brain injury, bioelectrical brain activity, electroencephalography, cognitive impairment, syndromes*

In the context of modern military conflicts, this problem is of particular importance due to the growing number of patients with such injuries. According to statistics, every third patient with TBI has a wide range of neurological, cognitive and mental disorders that significantly affect the quality of life. It is known that the pathogenesis of post-traumatic disorders may be associated with the dysfunction of nonspecific brain structures, including the limbic reticular complex (LRC). One of the key methods of assessing the functional state of the brain is electroencephalography (EEG), which allows to detect abnormalities in the bioelectrical activity of the brain (BEAB).

The aim of this study is to determine the peculiarities of BEAB changes in patients with consequences of TBI and their correlation with clinical manifestations.

The study involved 350 patients with consequences of TBI. The patients were divided into groups depending on the severity of the injury: 145 people with mild TBI (mTBI), 125 people with moderate TBI (MtTBI) and 80 people with severe TBI (sTBI). Injury history was also taken into account: from 6 months to 1 year, from 1 year to 3 years, and from 4 years to 7 years. The average age was  $38.5 \pm 1.5$  years. The control group consisted of 30 healthy individuals without TBI. All patients underwent a clinical and neurological examination to assess the neurological status and identify the main syndromes, as well as electroencephalography (EEG) with analysis of focal EEG changes and basic brain activity rhythms. EEG recording was performed using the NeuroCom "KHAI-Medica" electroencephalographic complex, STC of Radioelectronic Medical Devices and Technologies of the National Aerospace University "KHAI", in patients who did not have open wounds and postoperative sutures at the site of electrode application, metal fragments and metal plates in the head and neck area, which can lead to the appearance of artefacts during EEG recording. We examined 97 patients with (mTBI) (66.9 %), 80 patients with MtTBI (64.0 %) and 47 patients with sTBI (58.75 %).

Based on the results obtained, it can be said that the vast majority of patients with mTBI had mild or moderate changes in the EEG. This was dominated by a modulated "spindle-shaped" alpha-rhythm, with an emphasis on the middle and posterior brain regions. In fore-brain, a beta-rhythm was recorded with an average amplitude of 15-20  $\mu$ V and a frequency of 14-24 oscillations per second. Zonal differences were preserved. Thus, only 34 patients (35.05 %) of this group had dysfunction of the diencephalic brainstem structures. In patients with MtTBI normal EEG parameters are almost absent. Thus, dysfunction of the diencephalic structures of the brain was recorded in 32 (40.0 %). Minor focal symptoms were present in 28 (35.0 %), and paroxysmal activity was detected in 11 patients (13.75 %). The remaining patients had spontaneous epileptic activity. The group with TBI also had no normal EEG findings. Dysfunction of the diencephalic brainstem structures was recorded in 18 (38.2 %) patients, focal activity was observed in 17 (36.2 %), and paroxysmal activity in 8 (17.02 %) patients. Spontaneous epi-activity occurred in 4 (8.51 %) of the patients. Patients with MtTBI and sTBI had no reaction to hyperventilation. There was an increase in synchronization with an increase in the amplitude of biopotentials in the form of acute waves of the alpha range, increased disorganization of the alpha rhythm, and the appearance of acute and slow waves. The appearance of a high amplitude alpha rhythm indicates depression of brain biopotentials, apparently due to insufficient hemodynamics and brain hypoxia.

Thus, disorders of electrogenesis reflect dysregulation of the brain and its response to insufficient blood supply, which were found in groups of patients with MtTBI and sTBI. The BEAB study showed that the consequences of TBI are characterized by changes in the frequency and amplitude of alpha-rhythm, which indicate dysfunction of nonspecific brain structures as a result of mTBI and are close to those in patients with MtTBI and sTBI. The more severe the TBI, the more pronounced changes in BEAB were observed in patients with MtTBI and sTBI.

На території Східної України, протягом останніх 10 років, в результаті проведення антитерористичної операції та повномасштабного військового вторгнення, в десятки разів почастишали травми, пов'язані з застосуванням зброї (мінно-вибухові, вибухові травми, множинні осколкові та кульові поранення голови, тулуба, внутрішніх органів та кінцівок).

Черепно-мозкова травма (ЧМТ), отримана в результаті ведення бойових дій, так звана бойова черепно-мозкова травма (бЧМТ) є одним з поширених уражень нервової системи. Тобто можна вважати, що бЧМТ є одним із найсерйозніших видів травм, що супроводжуються істотними порушеннями функцій центральної нервової системи. У кон-

тексті сучасних військових конфліктів ця проблема набуває особливого значення через збільшення кількості пацієнтів із подібними ушкодженнями. За даними статистики, кожен третій пацієнт, що зазнав бЧМТ, має широкий спектр неврологічних, когнітивних і психічних розладів, які суттєво впливають на якість життя пацієнтів. Відомо, що патогенез посттравматичних розладів може бути пов'язаний з дисфункцією неспецифічних структур головного мозку, до яких належить лімбіко-ретикулярний комплекс.

Одним із ключових методів оцінки функціонального стану головного мозку є електроенцефалографія (ЕЕГ), яка дає змогу виявити порушення біоелектричної активності головного мозку (БЕАГМ). Ці порушення можуть бути пов'язані з дифузними

або локальними змінами в нейронній активності, що є наслідком механічного ушкодження мозкової тканини, гіпоксії чи запальних процесів. Дисфункція різних рівнів лімбіко-ретикулярного комплексу характеризується відповідними змінами на ЕЕГ. Домінування на ЕЕГ  $\beta$ -активності високої частоти та зниження загального амплітудного рівня свідчать про високу активність ретикулярної формації середнього та довгастого мозку. Оцінка ЕЕГ з урахуванням ролі лімбіко-ретикулярного комплексу в організації інтегративної діяльності мозку сприяє розумінню патогенетичних механізмів тих патологічних станів, що супроводжуються нестабільністю вегетативних реакцій та порушенням психоемоційного статусу хворого.

Епілептичні напади можуть виникати незабаром або навіть через роки після отриманої травми. Посттравматична епілепсія спостерігається майже у 30 % випадків. Це стосується найчастіше хворих, що зазнали бЧМТ(СТ) або ТбЧМТ. У літературі описано три основні варіанти посттравматичної епілепсії. У першому варіанті основу клінічної картини, тяжкість та прогноз визначають інші наслідки травми мозку. Напади, зазвичай, не часті, піддаються терапевтичній корекції, генералізована пароксизмальна активність на ЕЕГ — не характерна. Другий варіант: провідна роль належить епілептичним нападам. За результатами ЕЕГ виявляється генералізована пароксизмальна активність, вогнища зазвичай симетричні, характерна їх міграція. Третій варіант являє собою наслідки легкої ЧМТ з розвитком епілепсії при дуже можливій спадковій схильності. В цих випадках характерна білатерально-синхронна генералізована активність на ЕЕГ без морфологічного компонента (за даними методів нейровізуалізації).

Епілептичний синдром є провідним в клінічній картині у майже 38,5 % пацієнтів, додатково — до 13 % хворих з наслідками бЧМТ мали характерні епілептичні зміни за даними ЕЕГ без клінічних проявів.

Метою цього дослідження є визначення особливостей змін БЕАГМ у пацієнтів із наслідками бЧМТ та їх кореляція із клінічними проявами.

У дослідженні взяли участь 350 пацієнтів із наслідками бЧМТ. Хворі були поділені на групи залежно від тяжкості отриманої травми: 145 осіб з легкою бЧМТ (ЛбЧМТ), 125 осіб з середнього ступеня тяжкості бЧМТ(СТ) і 80 осіб з тяжкою бЧМТ (ТбЧМТ). Також враховували катанез травми: від 6 місяців до 1 року, від 1 до 3 років та від 4 до 7 років. Середній вік —  $38,5 \pm 1,5$  років. Контрольну групу становили 30 здорових осіб без бЧМТ в анамнезі.

Усім пацієнтам проведено клініко-неврологічне обстеження для оцінки неврологічного статусу та визначення основних синдромів, а також електроенцефалографія (ЕЕГ) з аналізом вогнищевих змін ЕЕГ та основних ритмів мозкової активності: альфа-, бета-, тета- та дельта-ритмів.

Запис ЕЕГ проводили за допомогою електроенцефалографічного комплексу НейроКом «ХАІ-Медика»,

НТЦ радіоелектронних медичних приборів та технологій Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут». Пацієнт перебуває в екранованій і звукоізольованій кімнаті у положенні сидячи з розслабленою мускулатурою для виключення м'язових артефактів під час запису електроенцефалограми. Накладали електроди таким способом, щоб рівномірно охоплювати лобні, центральні, тім'яні, потиличні та передні і задні скроневі ділянки обох півкуль відповідно до схеми накладання електродів «десять — двадцять», що запроваджена в світовій практиці. Використовували біполярний метод відведення біопотенціалів. Непарні цифрові індекси відповідають електродам над лівою, а парні — над правою гемісферою мозку. У місцях накладання електродів шкіру голови ретельно знежирювали 96 % спиртом. Оскільки на ЕЕГ спокою не завжди виявляються ознаки патології, то, як і за інших методів функціональної діагностики, в клінічній електроенцефалографії використовують низку функціональних проб.

Фонова проба — проба для реєстрації запису спокою. Для подальшого аналізу цієї проби треба обчислювати багато параметрів, що характеризують електричну активність мозку в умовах спокою.

Орієнтовне навантаження дає змогу оцінити ЕЕГ-компонент орієнтовної реакції. Використовують зазвичай поодинокий спалах світла з енергією спалаху 0,24—0,35 Дж.

Ритмічна фотостимуляція при заплучених очах піддослідного. В клінічних дослідженнях як подразник використовують спалахи світла з енергією світла 0,24—0,35 Дж тривалістю 5—7 с, з такими ж інтервалами між серіями спалахів.

Гіпервентиляція — інтенсивне глибоке дихання з частотою близько 20 дихальних рухів за хвилину протягом 2—3 хвилин, або до появи епілептичної активності. Глибина вдиху та повнота видиху повинні бути максимальними.

За класифікацією О. О. Жирмунської, розрізняють п'ять типів ЕЕГ: тип I — організований; тип II — гіперсинхронний; тип III — десинхронний («плоска ЕЕГ»); тип IV — дезорганізований (з переважанням альфа-активності); тип V — дезорганізований (з переважанням тета- та дельта-активності).

За класифікацією Л. Р. Зенкова (2002) [3], існують три класи порушень кіркової ритміки залежно від ступеня інформативності, які виявляються змінами ЕЕГ локального, пароксизмального характеру або дифузними.

Відповідно до класифікацій, проведений аналіз результатів ЕЕГ з урахуванням основних показників, характерних для нормальних і патологічних змін під час проведення запису, з використанням візуально-графічного аналізу. Враховували симетричність запису та наявність патологічної активності та вираженості регіональних розбіжностей.

Статистичне оброблення отриманих даних проводили із використанням методів кореляційного та регресійного аналізу. За допомогою критерію

достовірності різниці ( $t$ ) за таблицею Стьюдента проведено оцінку вірогідності відмінностей і змін між порівнюваними величинами.

У всіх хворих ретельно зібрані скарги, анамнез хвороби, анамнез життя та проведено оцінювання неврологічного статусу. Також проведений запис ЕЕГ хворим, у яких не було відкритих ран та післяопераційних швів у місці накладання електродів, металевих уламків та металевих пластин в ділянці голови та шиї, що можуть призводити до появи артефактів під час реєстрації ЕЕГ. Обстежені 97 пацієнтів з ЛБЧМТ (66,9 %), 80 пацієнтів з бЧМТ(СТ) (64,0 %) та 47 пацієнтів з ТбЧМТ (58,75 %).

Тип I — організований (нормальна ЕЕГ). Основним компонентом цього типу є альфа-ритм, регулярний за частотою, чітко модульований в веретена, з середнім та високим індексом, з добре вираженими зональними відмінностями. Форма хвиль зазвичай гладка. Бета-активність — високої та середньої частоти, малої амплітуди. Повільні хвилі майже не виразні. В межах цього типу можливі менш упорядкована структурна та просторова організація альфа-активності, наявність нерегулярної, повільної активності, переважно в передніх відділах мозку, зазвичай з меншою, ніж у альфа-активності, амплітудою.

Тип II — гіперсинхронний. Для нього характерний високий індекс регулярних коливань біопотенціалів при втраті їх зональних відмінностей. Можливі різні варіанти такого посилення синхронізації активності: зі збереженням або навіть посиленням коливань альфа-діапазону; зі зникненням альфа-активності та заміною її бета-активністю низької частоти або тета-активністю.

Тип III — десинхронний, або «плоска» ЕЕГ, відрізняється відсутністю або різким зменшенням кількості альфа-хвиль при відносному збільшенні кількості бета- та тета-коливань невисокої, низької, дуже низької амплітуди без зональних відмінностей.

Тип IV — дезорганізований (з переважанням альфа-активності). На ЕЕГ головною є альфа-активність, але вона недостатньо регулярна або зовсім нерегулярна за частотою. Такий більш-менш дезорганізований альфа-ритм має недостатньо високу амплітуду і може навіть домінувати в усіх ділянках мозку. Бета-активність також нерідко посилена, дуже часто представлена коливаннями низької частоти, збільшеної амплітуди. Водночас з цим на ЕЕГ можуть бути тета- та дельта-хвилі з достатньо високою амплітудою

Тип V — дезорганізований (з переважанням тета- та дельта-активності). Його структуру характеризує слабка представленість альфа-активності. Коливання біопотенціалів альфа-, бета-, тета- та дельта-діапазонів реєструються без будь-якої чіткої послідовності. Такий бездомінантний тип кривої може мати як середній, так і високий амплітудний рівень.

ЕЕГ I типу можна розцінити як ідеальну норму або як легкі зміни в межах допустимих варіантів норми. ЕЕГ II та III типів відображають регулярні

зміни в діяльності головного мозку. На ЕЕГ II типу є послаблення активуючих впливів на кору з боку ретикулярної формації стовбуру мозку і посилення дезактивуючих впливів з інших відділів лімбіко-ретикулярного комплексу. На ЕЕГ III типу, навпаки, є посилення активуючих впливів з боку ретикулярної формації стовбуру мозку, яке виражається в десинхронізації альфа-активності на ЕЕГ.

Тип IV свідчить про те, що у пацієнтів є дисфункція в діяльності регулювальних систем мозку. Поряд з цим спостерігаються і мікроструктурні ураження в різних відділах мозку, зокрема в корі. Такі ураження виникають внаслідок перенесених травм голови і нейроінфекцій. Тип V означає, що у пацієнтів на перший план виходять вже не регуляторні, а мікроструктурні ураження в корі головного мозку [2].

Результати, що ми отримали, підтверджують, що в групі контролю (у практично здорових та у хворих без бЧМТ в анамнезі) частіше спостерігається організований тип ЕЕГ. Помірні або легкі зміни ЕЕГ дифузного характеру з переважанням змішаної активності середньої амплітуди виявлені у 32 пацієнтів з ЛБЧМТ (32,9 %).

У 34 пацієнтів з ЛБЧМТ (35,05 %), у 32 пацієнтів з бЧМТ(СТ) (40 %) та у 18 з ТбЧМТ (38,3 %) під час запису фонові ЕЕГ реєструвались немодульована, загострена та несиметрична у вигляді спалахів альфа-активність. Також спостерігалися спайки, швидка асинхронізація коливань, а інколи — дифузні повільні гострі хвилі. Під час проведення ритмічної фотостимуляції не виникало чіткого завоювання нав'язливого ритму світлових миготінь, але визначалась активація, а потім — нормалізація альфа-активності. Гіпервентиляція не призводила до синхронізації альфа-активності. Не відбувалось також суттєвих змін фонового патерну. Значущої амплітудної частотної міжпівкульної асиметрії в усьому спектральному діапазоні на всіх етапах обстеження, локальної патології, пароксизмальної епілептичної активності — не виявлено. Відповідно до аналізу результатів ЕЕГ, ми можемо зробити висновок, що у цих хворих виявлено дисфункцію діенцефально-стовбурових структур мозку.

У 23 пацієнтів з ЛБЧМТ (23,7 %), у 28 пацієнтів із бЧМТ(СТ) (35,0 %) та у 17 хворих з ТбЧМТ (36,2 %) зареєстровано на ЕЕГ грубу дезорганізацію, дизритмію патерну. Також реєструвався фокус патологічної поліморфної повільної дельта-, тета-активності в одній або кількох ділянках мозку. Ці зміни здебільшого реєструвались спонтанно або в умовах гіпервентиляції. Отримані дані свідчать про вогнищеві зміни БЕАГМ.

У 7 пацієнтів з ЛБЧМТ (7,2 %), у 11 пацієнтів з бЧМТ(СТ) (13,75 %) та у 8 пацієнтів з ТбЧМТ (17,02 %) на ЕЕГ виявлено дезорганізацію, дизритмію патерну. В умовах проведення проби гіпервентиляції виникали спалахи білатерально-синхронних комплексів «пік — повільна хвиля», також реєструвалась пароксизмальна активність. Також у малої кількості хворих виявлено спонтанну епіактивність у формі

розрядів білатерально-синхронних комплексів «пік — повільна хвиля».

З отриманих результатів випливає, що в абсолютній більшості пацієнтів з ЛБЧМТ спостерігалися легкі або помірні зміни на ЕЕГ. Переважав модульований «веретеноподібний» альфа-ритм, з акцентом в середніх та задніх відділах головного мозку. В передніх відділах мозку реєструвався бета-ритм в середньому з амплітудою 15—20 мкВ і частотою 14—24 коливань за секунду. Зональні відмінності — збережені. Лише у 34 пацієнтів (35,05 %) цієї групи виявлено дисфункцію діенцефально-стовбурових структур мозку.

У групі хворих з бЧМТ(СТ) нормальні показники ЕЕГ не зафіксовані. Дисфункція діенцефально-стовбурових структур мозку зареєстрована у 32 хворих (40,0 %), незначна вогнищева симптоматика — у 28 (35,0 %), пароксизмальна активність виявлена у 11 обстежених (13,75 %), у решти хворих спостерігалась спонтанна епіактивність.

В групі пацієнтів з ТбЧМТ також не виявлено нормальних показників ЕЕГ. Дисфункція діенцефально-стовбурових структур мозку зафіксована у 18 (38,2 %) пацієнтів, вогнищева активність спостерігалась у 17 (36,2 %), пароксизмальна активність — у 8 (17,02 %) хворих. Спонтанна епіактивність виявлена у 4 (8,51 %) обстежених.

У групах хворих з бЧМТ(СТ) та ТбЧМТ не було реакції на гіпервентиляцію. Спостерігалось посилення синхронізації з підвищенням амплітуди біопотенціалів у вигляді загострених хвиль альфа-діапазону, посилення дезорганізації альфа-ритму, також поява гострих та повільних хвиль. Поява альфа-ритму високої амплітуди свідчить про пригнічення біопотенціалів мозку, очевидно, внаслідок недостатності гемодинаміки та гіпоксії мозку.

Результати проведеного дослідження дали змогу дійти таких висновків.

Розлади електрогенезу відображають дисрегуляторну перебудову мозку та його реакцію на недостатність кровопостачання, які були виявлені в групах хворих з бЧМТ(СТ) і ТбЧМТ. Дослідження БЕАГМ показало, що наслідки бЧМТ характеризуються змінами частоти, амплітуди альфа-ритму, які свідчать про дисфункцію неспецифічних структур мозку, причому показники у хворих з ЛБЧМТ наближаються до показників у хворих з бЧМТ(СТ) та ТбЧМТ. Чим важчою була отримана бЧМТ, тим більш виражені зміни БЕАГМ спостерігались у пацієнтів з бЧМТ(СТ) та ТбЧМТ.

Можна стверджувати, що пацієнти з наслідками бЧМТ демонструють характерні зміни БЕАГМ, що залежать від тривалості катамнезу і клінічних проявів. Гіперсинхронізація альфа-ритму та локальне підвищення бета-активності характерні для ранніх стадій відновлення, тоді як домінування дельта-ритму свідчить про хронічні процеси. Аналіз БЕАГМ дає змогу виявляти маркери, які можуть бути використані для розробки і покращення діагностики та реабілітації пацієнтів із наслідками бЧМТ.

## Список літератури

1. The neuropathology of chronic traumatic encephalopathy / [McKee A. C., Stein T. D., Kiernan P. T., & Alvarez V. E.] // *Brain Pathology*. 2015. Vol. 25(3). P. 350—364. DOI: 10.1111/bpa.12248.

2. Черненко І. І. Вплив структурно-морфологічних змін головного мозку в осіб з тяжкою бойовою черепно-мозковою травмою на особливості клініки, перебіг захворювання, стан когнітивних функцій // *Психіатрія, неврологія та медична психологія*. 2024. № 3 (25). С. 253—261. DOI: <https://doi.org/10.26565/2312-5675-2024-25-03>.

3. Traumatic brain injuries / Blennow K., Brody D. L., Kochanek P. M. [et al.] // *Nature Reviews Disease Primers*. 2016. Vol. 2,16084. DOI: 10.1038/nrdp.2016.84.

4. Шидловська Т. А. Екстрауральні порушення у осіб з акутравмою, які знаходилися в зоні проведення антитерористичної операції / Т. А. Шидловська, Л. Г. Петрук // *Медичні перспективи*. № 4. 2015. С. 39—50.

5. A quantitative EEG method for detecting post clamp changes during carotid endarterectomy / Mishra M., Banday M., Derakhshani R. [et al.] // *J Clin Monit Comput*. 2011. Vol. 25. P. 295—308. DOI: 10.1007/s10877-011-9308-y.

6. Foreman B. Quantitative EEG for the detection of brain ischemia / B. Foreman, J. Classen // *Critical Care*. 2012. Vol. 16, No. 2. P. 216—225. DOI: 10.1186/cc11230.

7. Laroche, Suzette. Handbook of ICU EEG monitoring / Suzette M. LaRoche & Hiba Haider. NY: Demos Medical, 2018. 338 p.

8. Inter-hemispheric coupling changes associate with motor improvements after robotic stroke rehabilitation / G. Pellegrino, L. Tomasevic, M. Tombini [et al.] // *Restor Neurol Neurosci*. 2012. Vol. 30 (6). P. 497—510. DOI: 10.3233/RNN-2012-120227.

9. Reproducibility and clinical relevance of quantitative EEG parameters in cerebral ischemia: a basic approach / R.V. Sheorajpanday, G. Nagels, A.J. Weeren [et al.] // *Clin Neurophysiol*. 2009. Vol. 120 (5). P. 845—855. DOI: 10.1016/j.clinph.2009.02.171.

10. The role of mitochondrial transition pore, and its modulation, in traumatic brain injury and delayed neurodegeneration after TBI / [Mazzeo T., Beat A., Singh A., Bullock M. R.] // *Experimental Neurology*. 2009. Vol. 218 (2). P. 363—370. DOI: 10.1016/j.expneurol.2009.05.026.

11. Niogi S. N. Diffusion tensor imaging of mild traumatic brain injury / S. N. Niogi, P. Mukherjee // *Journal of Head Trauma Rehabilitation*. 2010. Vol. 25 (4). P. 241—255. DOI: 10.1097/HTR.0b013e3181e52c2a.

12. Черненко І. І. Особливості впливу наслідків бойової черепно-мозкової травми в залежності від ступеня тяжкості та катамнезу травми на когнітивну сферу пацієнтів // *Психіатрія, неврологія та медична психологія*. 2024. № 1 (23). С. 35—42. DOI: <https://doi.org/10.26565/2312-5675-2024-23-04>.

## References

1. McKee AC, Stein TD, Kiernan PT, Alvarez VE. The neuropathology of chronic traumatic encephalopathy. *Brain Pathol*. 2015 May;25(3):350-64. doi: 10.1111/bpa.12248. PMID: 25904048; PMCID: PMC4526170.

2. Chernenko I. I. Influence of structural and morphological changes in the brain in patients with severe combat traumatic brain injury on the features of the clinic, the course of the disease, and the state of cognitive functions [The influence of structural and morphological changes in the brain in individuals with severe combat traumatic brain

injury on clinical features, course of the disease, and state of cognitive functions]. *Psykhiatriia, nevrolohiia ta medychna psykholohiia [Psychiatry, Neurology and Medical Psychology]*. 2024. No. 3(25). S. 253-261. <https://doi.org/10.26565/2312-5675-2024-25-03>. (In Ukrainian).

3. Blennow K, Brody DL, Kochanek PM, Levin H, McKee A, Ribbers GM, Yaffe K, Zetterberg H. Traumatic brain injuries. *Nat Rev Dis Primers*. 2016 Nov 17;2:16084. doi: 10.1038/nrdp.2016.84. PMID: 27853132.

4. Shydlovska T. A., Petruk L. H. Ekstraauralni porushennia u osib z akutravmoiu, yaki znakhodylysia v zoni provedennia antyterorystychnoi operatsii [Extraaural disorders in people with acute trauma who were in the area of the anti-terrorist operation]. *Medychni perspektyvy [Medical Perspectives]*. No. 4. 2015. S. 39–50. (In Ukrainian).

5. Mishra M, Banday M, Derakhshani R, Croom J, Camarata PJ. A quantitative EEG method for detecting post clamp changes during carotid endarterectomy. *J Clin Monit Comput*. 2011 Oct;25(5):295-308. doi: 10.1007/s10877-011-9308-y. Epub 2011 Sep 30. PMID: 21959502.

6. Foreman B, Claassen J. Quantitative EEG for the detection of brain ischemia. *Crit Care*. 2012 Dec 12;16(2):216. doi: 10.1186/cc11230. PMID: 22429809; PMCID: PMC3681361.

7. Laroche, Suzette & Haider, Hiba. (2018). *Handbook of ICU EEG monitoring*. NY: Demos Medical.

8. Pellegrino G, Tomasevic L, Tombini M, Assenza G, Bravi M, Sterzi S, Giacobbe V, Zollo L, Guglielmelli E, Cavallo G, Vernieri F, Tecchio F. Inter-hemispheric coupling changes associate with motor improvements after robotic stroke rehabilitation. *Restor Neurol Neurosci*. 2012;30(6):497-510. doi: 10.3233/RNN-2012-120227. PMID: 22868224.

9. Sheorajpanday RV, Nagels G, Weeren AJ, van Putten MJ, De Deyn PP. Reproducibility and clinical relevance of quantitative EEG parameters in cerebral ischemia: a basic approach.

*Clin Neurophysiol*. 2009 May;120(5):845-55. doi: 10.1016/j.clinph.2009.02.171. Epub 2009 Apr 16. PMID: 19375386.

10. Mazzeo AT, Beat A, Singh A, Bullock MR. The role of mitochondrial transition pore, and its modulation, in traumatic brain injury and delayed neurodegeneration after TBI. *Exp Neurol*. 2009 Aug;218(2):363-70. doi: 10.1016/j.expneurol.2009.05.026. Epub 2009 May 27. PMID: 19481077.

11. Niogi SN, Mukherjee P. Diffusion tensor imaging of mild traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil*. 2010 Jul-Aug;25(4):241-55. doi: 10.1097/HTR.0b013e3181e52c2a. PMID: 20611043.

12. Chernenko II. Osoblyvosti vplyvu naslidkiv boiovoi cherepno-mozkovoї travmy v zalezhnosti vid stupenia tiazhkosti ta katamnezu travmy na kohnityvnu sferu patsiiientiv. [Features of the impact of combat-related traumatic brain injury in the long-term period, depending on the severity and course of the injury on the cognitive sphere of patients]. *Psykhiatriia, nevrolohiia ta medychna psykholohiia [Psychiatry, Neurology and Medical Psychology]*. 2024. No. 1(23). S. 35-42. <https://doi.org/10.26565/2312-5675-2024-23-04>. (In Ukrainian).

Надійшла до редакції 10.12.2024

**ЧЕРНЕНКО Інна Іванівна**, кандидат медичних наук, доцент кафедри неврології, психіатрії, наркології та медичної психології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, м. Харків, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-4239-862X>; e-mail: cher.innushta@gmail.com

**CHERNENKO Inna**, MD, PhD, Associate Professor of Department of Neurology, Psychiatry, Narcology and Medical Psychology of the V. N. Karazin's Kharkiv National University of Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0003-4239-862X>; e-mail: cher.innushta@gmail.com