

Зміни електричної активності головного мозку під час реабілітації військовослужбовців з віддаленими наслідками бойової психічної травми

В.В. Кальниш^{1,2}, А.В. Швець², С.С. Павлюк²

¹ДУ «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва Національної академії медичних наук України», Київ;

²Науково-дослідний інститут проблем військової медицини Української військово-медичної академії, Київ; e-mail: shvetsandro@gmail.com

Досліджено нейрофізіологічні особливості відновлення біоелектричної активності головного мозку у 32 військовослужбовців віком $32 \pm 5,6$ років під час їх медико-психологічної реабілітації внаслідок посттравматичного стресового розладу (ПТСР), отриманого після впливу тривалої та інтенсивної стресової дії бойових умов. Для оцінки біоелектричної активності головного мозку застосовано метод комп'ютерної електроенцефалографії (ЕЕГ) за допомогою енцефалографа «DX-системи» з використанням модуля NeuroResearcher® Innovation. Для обробки результатів використовували методи варіаційної статистики та кореляційного аналізу. Розраховано коефіцієнти асиметрії та мультиколінеарності. Одержані результати свідчать про поліпшення профілів ЕЕГ після реабілітації осіб з ПТСР. Виявлено збільшення зв'язності характеристик α , $\beta 1$, θ -ритмів у лобній ділянці мозку на фоні загального зменшення кількості достовірних кореляційних зв'язків після реабілітації осіб з ПТСР, що може свідчити про більш синхронну діяльність мозку та нормалізацію (зменшення) частоти спектрального піка $\beta 1$ -активності після реабілітації. Показано, що зв'язність електричної активності в парних точках головного мозку у фронтальній зоні є вірогідною при закритих очах в α -діапазоні до та після реабілітації, а при розумовому навантаженні достовірна зв'язність в α - та $\beta 1$ -діапазонах зникає після реабілітації. Виявлено значні позитивні зміни (більше ніж у 1,5 раза) рівня співвідношення показників мультиколінеарності у фронтальній зоні при закритих очах в $\beta 2$ - та θ -діапазонах. Запропоновано етапну діагностичну процедуру та застосування показника інтегральної зв'язності компонентів ЕЕГ у військовослужбовців з ПТСР під час їх медико-психологічної реабілітації.

Ключові слова: електроенцефалографія; посттравматичний стресовий розлад; розлади адаптації; учасники бойових дій; медико-психологічна реабілітація.

ВСТУП

Відомо, що у динаміці посттравматичних стресових розладів (ПТСР) визначальну роль разом з психологічними чинниками відіграють і психофізіологічні [1, 2]. Дослідження показують, що ПТСР супроводжується стійкими психофізіологічними порушеннями центральної та автономної нервової системи. Психофізіологічні зміни, пов'язані з ПТСР, включають такі прояви, як: підвищення чутливості симпатичної нервової

© В.В. Кальниш, А.В. Швець, С.С. Павлюк

системи, зниження рівня та зростання чутливості мигдального рефлексу на слухові подразники, зниження кіркових потенціалів, а також порушення сну [3].

При наявності психічних розладів у головному мозку виникають патологічні нейронні зв'язки, які є основою для формування патологічно стійкого стану [4]. За деякими даними [1] одержано обнадійливі результати про те, що краще розуміння нейрофізіології ПТСР призведе до розробки ефективніших методів реабілітації та моніто-

рингу відновлення організму людини. Особливо слід відзначити порушення функцій гіпокампа і вентромедіальної префронтальної ділянки кори головного мозку, а також підвищення активності в мигдалині [5]. Ці частки мозку є ключовими вузлами в мережах, які підтримують обробку емоційних спогадів. У праці Лобо та співавт. [6] на основі широкого аналізу сучасної літератури, незважаючи на мінливість результатів досліджень електроенцефалографії (ЕЕГ), показано залежність тяжкості ПТСР від особливостей характеристик α -ритму, а також його фронтальної асиметрії [7].

ПТСР іноді розглядається як розлад пам'яті, в якому реакції на страх надмірно узагальнюються внаслідок порушеного механізму її консолідації та / або реконсолідації [8]. Сучасні дослідження показують, що пошук спогадів за певних умов відкриває «вікно» на 1-6 год, протягом якого відбувається їх активізація, що може їх оновити, змінити і навіть стерти [9, 10]. Цей перехідний процес, відомий як реконсолідація, має важливі наслідки для лікування та реабілітації ПТСР [11].

Таким чином, нейрофізіологічні і пов'язані з ними емоційні особливості особистості повинні розглядатися як предиктори розвитку ПТСР, так і його ускладнення, а також враховуватися при складанні адекватних схем лікування і реабілітації пацієнтів з ПТСР [12] та є актуальним напрямом досліджень у сучасній військовій психофізіології та клінічній фізіології.

Мета нашої роботи – дослідити зміни електричної активності головного мозку в процесі реабілітації у учасників бойових дій та розробити на цій основі підходи до діагностики їх функціонального стану.

МЕТОДИКА

Для виявлення особливостей змін функціонального стану головного мозку в учасників збройного конфлікту була обстежена

група з 32 військовослужбовців (чоловіків віком $32 \pm 5,6$ років) з віддаленими наслідками бойової психічної травми, отриманої внаслідок впливу довгочасної та інтенсивної стресової дії бойових обставин. Тривалість загальної участі у бойових діях становила у середньому $320,45 \pm 25,46$ діб. Усі військовослужбовці проходили медико-психологічну реабілітацію протягом 21 діб (із включенням медикаментозної терапії, методів групової психотерапії, рефлексотерапії тощо) на базі клініки професійних захворювань ДУ «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва Національної академії медичних наук України» після лікування в Національному військово-медичному клінічному центрі «Головний військовий клінічний госпіталь» у 2017 р.

У 87,5% пацієнтів було клінічно підтверджено наявність ПТСР, у інших – розлади адаптації. Вибірку формували методом простого вірогіднісного відбору, а потрібний її обсяг – поточним оцінюванням вірогідності різниць за Рафалес Ламарком, при цьому за пороговий рівень вірогідності було прийнято $P < 0,05$.

Дослідження проводили на підставі інформованої згоди щодо участі у обстеженні. Критеріями включення були: безпосередня участь у бойових діях; встановлений діагноз «посттравматичний стресовий розлад» (F43.1 за МКХ-10) та «розлади адаптації» (F43.2 за МКХ-10). Критерії виключення: наявність важкого психічного розладу (у визначенні Закону України «Про психіатричну допомогу»), що зумовлює небезпеку хворого для себе або його оточення; встановлений рівень самообслуговування, що не забезпечує підтримки життєдіяльності на рівні, достатньому для задоволення життєвонеобхідних потреб; відсутність належних умов лікування поза межами спеціалізованого стаціонару.

Для оцінки біоелектричної активності головного мозку застосовано метод комп'ютерної ЕЕГ. Запис, обробку, ведення струк-

турованої бази пацієнтів та зберігання даних щодо електричної активності мозку проводили за допомогою комплексу комп'ютерної електроенцефалографії BrainTest, енцефалографа фірми «DX-системи» з використанням шапочки з 24-електродами, вмонтованими відповідно до міжнародної системи «10-20%». Запис реєстрували монополярно в 16 стандартних відведеннях: передньо- (Fp1, Fp2), задньо- (F3, F4) та нижньо-лобних (F7, F8); середньо- (T3, T4) та задньоскроневих (T5, T6); центральних (C3, C4), тім'яних (P3, P4), потиличних (O1, O2). Як референтний електрод було використано вушні кліпси. Аналіз результатів проводили в чотирьох загальних спектральних діапазонах: α (8-13 Гц), β_1 (13-25 Гц), β_2 (25-35 Гц), θ (4-8 Гц). Реєстрацію ЕЕГ здійснювали в стані спокійного неспання та під час інтелектуального навантаження (зворотний рахунок подумки – 1000, 997, 994, 991 тощо) до та після реабілітації. Перед обробкою ЕЕГ візуально аналізували та виключали артефакти з подальшого розгляду. Для дослідження динаміки ЕЕГ використовували модуль системи NeuroResearcher® Innovation Suite (Інститут медичної інформатики і телемедицини, Харків, Version 17.5).

Результати обробляли методами варіаційної статистики та кореляційного аналізу. Були отримані значення частот спектральних піків α , β_1 , β_2 , θ -діапазонів від кожного з 16 відведень. Визначали середній рівень показників (М) та помилку середнього ($\pm m$). Для статистичної оцінки внутрішньогрупових відмінностей використовували критерій Вілкоксона. Різницю між двома середніми величинами вважали достовірною при значеннях $P \leq 0,05$.

Коефіцієнт асиметрії обчислювали за середніми значеннями (М) усіх піків вказаних частотних діапазонів симетричних лобних (Fp1-Fp2, F3-F4, F7-F8), центральних (C3-C4), тім'яних (P3-P4), потиличних (O1-O2) і скроневих (T3-T4) відведень за допомогою формули:

$$KA = \frac{x_l - x_r}{x_l + x_r},$$

де КА – коефіцієнт асиметрії; x_l - значення піка вибраної частоти у одній із точок лівої півкулі; x_r - значення піка вибраної частоти у симетричній точці правої півкулі.

Рівень кореляційних міжпівкулевих зв'язків визначався за допомогою непараметричного коефіцієнта рангової кореляції Спірмена. Оцінку ступеня взаємозв'язку показників асиметрії півкуль проводили за допомогою визначення коефіцієнта мультиколінеарності (КМ), що може надати додаткову інформацію про процеси активації-деактивації, які відбуваються в головному мозку військовослужбовців під час реабілітації за формулою [13]:

$$KM = -2,304 \times (n - 1 - \frac{(2m+5)}{6}) \times \ln(D)$$

де n – величина вибірки; m – кількість ознак; D – детермінанта.

Вірогідність наявності мультиколінеарності показників визначали за непараметричним критерієм χ^2 . Отриманий коефіцієнт КМ порівнювали зі стандартним табличним значенням χ^2 для ступенів свободи V ($V = m \cdot (m-1)/2$, де m – кількість аналізованих ознак). У разі перевищення КМ цього значення χ^2 наявність мультиколінеарності (зв'язності) показників вважається доведеною. Математичні операції проводилися у програмних пакетах Microsoft Office Excel 2010 та «Statistica 6.0» (license #AXX910A374605FA).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Першим етапом дослідження було визначення середнього значення показників (М) піків α , β_1 , β_2 , θ -діапазонів ЕЕГ до та після реабілітації. В табл. 1. наведено лише ті, що мали вірогідну різницю ($P \leq 0,05$).

Виявлено істотно більшу частоту спектрального піка α -активності після реабілітації порівняно з цим показником до реабілітації у

Таблиця 1. Електрична активність (Гц) головного мозку за піками α , $\beta 1$, θ - частоти до та після реабілітації ($M \pm m$)

Точки електроенцефалограми	Закриті очі		Розумове навантаження	
	До реабілітації	Після реабілітації	До реабілітації	Після реабілітації
C3(α)	10,03 \pm 0,17	10,36 \pm 0,16*	10,18 \pm 0,15	10,28 \pm 0,20*
P4(α)	10,08 \pm 0,17	10,40 \pm 0,20	10,11 \pm 0,18	10,41 \pm 0,155*
O2($\beta 1$)	14,66 \pm 0,49	14,25 \pm 0,47*	14,44 \pm 0,49	15,12 \pm 0,49*
F4(θ)	6,86 \pm 0,17	6,64 \pm 0,18	6,86 \pm 0,20	6,39 \pm 0,20*
F8(θ)	6,45 \pm 0,24	6,69 \pm 0,15	6,57 \pm 0,21	6,23 \pm 0,22*

* $P < 0,05$ порівняно зі значеннями до реабілітації.

таких відведеннях: C3 при записі з закритими очима та при розумовому навантаженні, P4 лише при розумовому навантаженні. Частота спектрального піка $\beta 1$ - активності після реабілітації зменшувалася в точці O2 з закритими очима і збільшувалася в O2 при розумовому навантаженні ($P < 0,05$). Значення спектрального піка $\beta 2$ -активності після реабілітації суттєво на змінилося. Вірогідно більшу частоту спектрального піка θ - активності при розумовому навантаженні після реабілітації виявлено у відведеннях F4, F8 ($P < 0,05$).

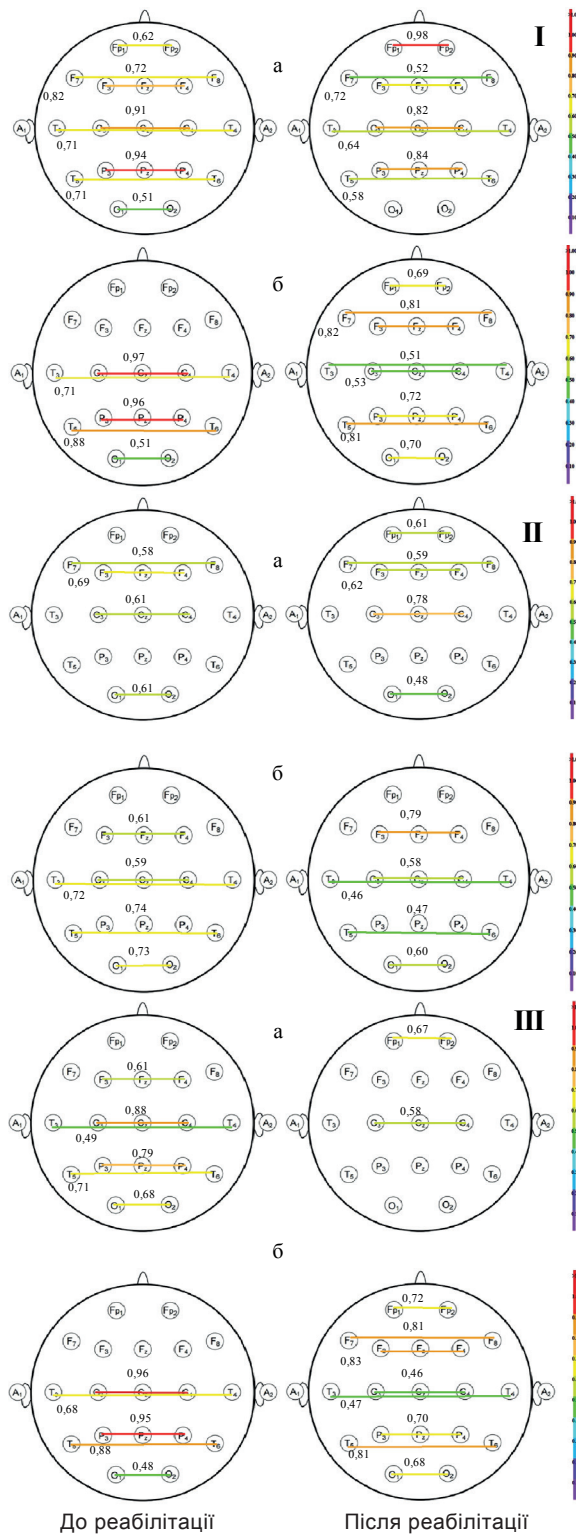
Таким чином, серед поодиноких особливостей зміни електричної активності головного мозку за піками α , $\beta 1$, θ - частот до та після реабілітації позитивним маркером покращення симптомів ПТСР може бути зменшення частоти спектрального піка $\beta 1$ -активності після реабілітації.

Для більш ретельного аналізу результатів розраховували коефіцієнт асиметрії усіх піків вказаних частотних діапазонів симетричних лобних (Fp1-Fp2, F3-F4, F7-F8), центральних (C3-C4), тім'яних (P3-P4), потиличних (O1-O2) і скроневих (T3-T4) відведень. Встановлено наявність значущих змін ($P < 0,05$) у парі O1-O2 $\beta 1$ -частоти лише при пробі з закритими очима без розумового навантаження (КА до реабілітації = -0,012 \pm 0,012 та після = 0,007 \pm 0,012). встановлено відсутність суттєвих змін після реабілітації за значеннями піків α та θ -

частот при визначенні коефіцієнта асиметрії активності півкуль, що збігається з даними інших учених [14].

Важливим наступним етапом дослідження став аналіз просторового розподілу сили кореляційних зв'язків симетричних точок кори головного мозку в α , $\beta 1$, $\beta 2$, θ - діапазонах до та після реабілітації. Встановлено високий рівень кореляційних зв'язків в α - діапазоні при пробі з закритими очима (100% прямих сильних зв'язків між симетричними точками до реабілітації та 87,5% після реабілітації), причому сила зв'язків переважно зменшилася. При зворотному рахунку подумки розумовому навантаженні кількість зв'язків збільшився з 62,5 до 100%, проте сила зв'язку зменшилася у всіх парах. Це відображено на рисунку, I. У $\beta 1$ -діапазоні в закритих очима кількість зв'язків збільшилася з 50 до 62,5%, а рівень змінився неоднозначно. При розумовому навантаженні кількість зв'язків залишилася сталою (62,5%), але їх сила зменшилася (див.рисунок (II)). У $\beta 2$ діапазоні в закритих очима кількість зв'язків (Fp1 – Fp2) не змінилася (12,5%), а сила зв'язку зменшилася з 0,6 до 0,5. При розумовому навантаженні кількість зв'язків зросла з 0 до 12,5%. В θ -діапазоні кількість та сила зв'язків зменшилася з 75 до 25%; при розумовому навантаженні кількість зв'язків зросла з 62,5 до 100%, проте сила зв'язку зменшилася (див. рисунок, III).

Оскільки достовірного зв'язку між усіма точками ЕЕГ кори головного мозку при



Взаємозв'язок симетричних точок електроенцефалограми при закритих очах (а) та з розумовим навантаженням (б) до і після реабілітації в α - (I), β_1 - (II) та θ -діапазонах (III)

закритих очах та розумовому навантаженні не виявлено, тому було проаналізовано характеристики кореляції показників асиметрії півкуль різних зон головного мозку. Так, зв'язність точок у фронтальній зоні кори головного мозку при закритих очах в α -діапазоні є вірогідною до та після реабілітації ($P < 0,01$). Рівні співвідношення показників мультиколінеарності у фронтальній зоні змінюються значно позитивно при пробі з закритими очима в β_2 , θ -діапазонах, незначно позитивно в α , незначно негативно в β_1 -діапазонах (табл. 2). Встановлено, що зв'язність точок у фронтальній зоні кори головного мозку при розумовому навантаженні в α , β_1 -діапазонах є вірогідною до реабілітації ($P < 0,01$). Рівні співвідношення показників мультиколінеарності змінюються значно негативно в α , β_1 , θ -діапазонах, незначно негативно в β_2 -діапазоні.

Виявлено, що зв'язність точок скроневої зони кори головного мозку при закритих очах в α та β_1 -діапазонах є вірогідною ($P < 0,001$ та $P < 0,01$ відповідно) після реабілітації, а в β_2 -діапазоні – до реабілітації ($P < 0,001$). Рівні співвідношення показників мультиколінеарності змінюються значно позитивно в α -, β_1 -діапазонах та значно неістотно негативно в β_2 -, θ -діапазонах (табл. 2). При цьому зв'язність точок скроневої зони кори головного мозку у разі розумового навантаження в α -діапазоні є суттєвою після реабілітації ($P < 0,001$), а в β_1 – до реабілітації ($P < 0,05$). Рівні співвідношення показників мультиколінеарності змінюються значно позитивно в α -, θ -діапазонах, значно негативно в β_1 -, β_2 -діапазонах. Таким чином, визначення ефективності реабілітаційних заходів у учасників бойових дій можна проводити за показниками інтегральної зв'язності компонентів ЕЕГ.

Для оцінки ефекту відновного лікування на функціональний стан ЦНС рекомендується здійснювати в декілька етапів. На першому етапі слід накопичувати

Таблиця 2. Рівень зв'язності показників асиметрії півкуль в різних зонах головного мозку за даними електроенцефалографії

Зона головного мозку	Діапазон електроенцефалографії	Закриті очі			Розумове навантаження		
		До реабілітації, ум.од.	Після реабілітації, ум.од.	Частка змін, рази	До реабілітації, ум.од.	Після реабілітації, ум.од.	Частка змін, рази
Фронтальна	α	11,46**	11,77**	+1,03	14,13***	0,88	-16,05
	β_1	3,97	2,20	-1,80	14,1**	7,05	-2,00
	β_2	0,88	5,73	+6,51	7,05	6,61	-1,06
	θ	0,88	3,53	+4,01	3,09	0,88	-3,51
Скронева	α	0,63	14,59***	+23,15	0,18	11,89***	+66,05
	β_1	0,31	4,35*	+14,03	4,53*	0,449	-10,08
	β_2	15,13***	0,449	-33,69	1,62	0,40	-4,05
	θ	0,27	0,089	-30,33	1,21	10,37	+8,57

*, ** та *** $P < 0,05$, $P < 0,01$ та $P < 0,001$ достовірність наявності мультиколінеарності показників за критерієм χ^2 .

результати ЕЕГ (фонові активності та активності при розумовому навантаженні) у військовослужбовців. Їх аналіз проводити в 4 загальних спектральних діапазонах: α (8-13 Гц), β_1 (13-25 Гц), β_2 (25-35 Гц), θ (4-8 Гц) та визначити пікову активність кожної з досліджуваних частот. Розрахувати інтегральну зв'язність (мультиколінеарність) компонентів ЕЕГ до та після реабілітації. Порівнюючи зміни електричної активності головного мозку в досліджених діапазонах, визначити ефективність відновного лікування. У разі виявлення незначних змін після реабілітації рекомендовано продовжити лікування та/або модифікувати способи застосування реабілітаційних заходів. Чіткі критерії визначення ефективності реабілітаційних заходів потрібно вдосконалювати надалі. Крім того, слід звертати увагу на граничні характеристики ЕЕГ, які свідчать про функціональні порушення в роботі модулюючої системи мозку [12]:

1. ЕЕГ з α - ритмом, амплітуда якого 100-150 мкВ, з нормальним розподілом;

2. ЕЕГ з α - ритмом з амплітудою до 100 мкВ з атиповим зональним розподілом;

3. ЕЕГ з β - ритмом, амплітуда якого 15-40 мкВ, з превалюванням у передніх відведеннях;

4. ЕЕГ з δ - і θ -хвилями, що не перевищують за амплітудою домінуючий α -ритм і 50 мкВ, у кількості 15-25% від загального часу;

5. ЕЕГ з чітко окресленими спалахами α - хвиль з амплітудою понад 50 мкВ або спалахами β - хвиль з амплітудою 20-30 мкВ на фоні нормальної амплітудної активності;

6. ЕЕГ з α -хвилями загостреної форми в складі нормального α -ритму.

Стабільність домінуючого α -ритму вважається показником оптимального рівня функціонування мозку. Десинхронізація ЕЕГ відображає підвищення збудливості та лабільності головного мозку, підвищення процесів активації. Навпаки, зростання синхронізації біоелектричної активності з підвищенням амплітуди та зниженням частоти домінуючого ритму свідчить про зниження рівня активації мозку [15].

Узагальнюючи результати дослідження, слід зазначити, що у сучасних електрофізіологічних дослідженнях бойової психічної травми виявлено наявність певних потенційних біомаркерів ПТСР, включаючи підвищену активність θ [16- 18], лобову α -асиметрію [14] і підвищену β -активність [17, 19]. З позицій клінічної фізіології одержані нами додаткові результати свідчать про поліпшення профілів ЕЕГ після

реабілітації осіб з ПТСР і можуть бути пояснені задіянням механізмів реконсолідації з використанням гіпокампа, мигдалини фронтальних і тім'яних ділянок головного мозку [20, 21]. У цьому дослідженні вдалося виявити збільшення зв'язності характеристик α , $\beta 1$, θ - ритмів у лобовій ділянці мозку на фоні загального зменшення кількості достовірних кореляційних зв'язків після реабілітації осіб з ПТСР, що може свідчити про більш синхронну діяльність мозку в лобній ділянці та нормалізацію (зменшення) частоти спектрального піка $\beta 1$ -активності після реабілітації. Крім того, запропоновано етапну процедуру ЕЕГ діагностики у військовослужбовців та застосування показника інтегральної зв'язності компонентів ЕЕГ під час медико-психологічної реабілітації військовослужбовців з ПТСР.

ВИСНОВКИ

1. Виявлені вірогідні закономірності змін електричної активності головного мозку за піками α -частоти після проведення реабілітації, що можуть вказувати на покращення функціонального стану ЦНС (збільшення спектрального піка α - активності у відведеннях С3 при записі з закритими очима та при розумовому навантаженні, Р4 при розумовому навантаженні; за піками $\beta 1$ -частоти в точці О2 відбувається зменшення з закритими очима та збільшення при розумовому навантаженні; крім того збільшення спектрального піка θ -активності у відведеннях F4, F8 при розумовому навантаженні. Рівень асиметрії активності півкуль мозку зазнає значущих змін $\beta 1$ -частоти лише при пробі з закритими очима в парі О1-О2.

2. Показано, що структура зв'язків електричної активності головного мозку між симетричними точками значно змінюється в процесі реабілітації, що може свідчити про ефективність застосованих методів відновлення функціонального стану у осіб з ПТСР.

3. Встановлено, що рівень кореляційних міжкульових зв'язків між симетричними точками в більшості пар є достовірним та суттєво змінюється після реабілітації: в α -діапазоні зменшився при закритих очах, збільшився при розумовому навантаженні; в $\beta 1$ -діапазоні збільшився при закритих очах; в $\beta 2$ -діапазоні збільшився при розумовому навантаженні; в θ -діапазоні зменшився при закритих очах та збільшився при розумовому навантаженні. При чому сила цих зв'язків переважно зменшується у всіх діапазонах після реабілітації.

4. Показано, що зв'язність електричної активності в парних точках головного мозку у фронтальній зоні є вірогідною при закритих очах в α -діапазоні до та після реабілітації; при розумовому навантаженні вірогідна зв'язність в α та $\beta 1$ -діапазонах зникає після реабілітації. Зв'язність точок скроневої зони кори головного мозку при закритих очах стає достовірною в α та $\beta 1$ -діапазонах після реабілітації, а вірогідна зв'язність в $\beta 2$ -діапазоні зникає; при розумовому навантаженні в α -діапазоні вона стає достовірною після реабілітації, а в $\beta 1$ -діапазоні – зникає.

5. Виявлено значні зміни (більше ніж у 1,5 раза) рівня співвідношення показників мультиколінеарності у фронтальній зоні при закритих очах: позитивні при пробі з закритими очима в $\beta 2$ -та θ -діапазонах. У фронтальній зоні при розумовому навантаженні: негативні в α , $\beta 1$ та θ -діапазонах. У скроневої зоні при закритих очах: позитивні в α -, $\beta 1$ -діапазонах. У скроневої зоні при розумовому навантаженні: позитивно в α - та θ -діапазонах, негативно в $\beta 1$ - та $\beta 2$ -діапазонах. У півкулях головного мозку встановлено загальні значні зміни при закритих очах в α - та θ -діапазонах.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of co-authors of the article.

В.В. Кальниш, А.В. Швець, С.С. Павлюк

ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА ВО ВРЕМЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ВОЕННО-СЛУЖАЩИХ С ОТДАЛЕННЫМИ ПОСЛЕДСТВИЯМИ БОЕВОЙ ПСИХИЧЕСКОЙ ТРАВМЫ

Исследована нейрофизиологические особенности восстановления биоэлектрической активности головного мозга у 32 военнослужащих в возрасте $32 \pm 5,6$ лет при их медико-психологической реабилитации вследствие посттравматического стрессового расстройства (ПТСР), полученного после длительного и интенсивного стрессового воздействия боевых условий. Для оценки биоэлектрической активности головного мозга применен метод компьютерной электроэнцефалографии (ЭЭГ) с помощью энцефалографа «DX-системы» с использованием модуля NeuroResearcher® Innovation. Для обработки результатов использовали методы вариационной статистики и корреляционного анализа. Рассчитаны коэффициенты асимметрии и мультиколлинеарности. Полученные результаты свидетельствуют об улучшении профилей ЭЭГ после реабилитации лиц с ПТСР. Выявлено увеличение связности характеристик α , β_1 , θ -ритмов в лобной области мозга на фоне общего уменьшения количества достоверных корреляционных связей после реабилитации лиц с ПТСР, что может свидетельствовать о более синхронной деятельности мозга в этой области и нормализации (уменьшение) частоты спектрального пика β_1 -активности после реабилитации. Показано, что связанность электрической активности в парных точках головного мозга во фронтальной зоне является существенной при закрытых глазах в α -диапазоне до и после реабилитации, а при умственной нагрузке достоверная связанность в α - и β_1 -диапазонах исчезает после реабилитации. Выявлены значительные положительные изменения (более чем в 1,5 раза) уровня соотношения показателей мультиколлинеарности в передней зоне при закрытых глазах в β_2 - и θ -диапазонах. Предложено этапную диагностическую процедуру и применение показателя интегральной связанности компонентов ЭЭГ у военнослужащих с ПТСР при их медико-психологической реабилитации.

Ключевые слова: электроэнцефалография; посттравматическое стрессовое расстройство; расстройства адаптации; участники боевых действий; медико-психологическая реабилитация.

V.V. Kalnysh^{1,2}, A.V. Shvets², S.S. Pavlyuk²

CHANGES IN BRAIN ELECTRICAL ACTIVITY DURING THE REHABILITATION OF SERVICEMEN WITH REMOTE CONSEQUENCES OF COMBAT MENTAL TRAUMA

The neurophysiological features of bioelectric activity restoration of the brain in 32 soldiers aged 32 ± 5.6 years during their psychomedical rehabilitation due to post-traumatic stress disorder (PTSD) as a result of the influence long-term and intense stressful combat conditions have been studied. The computer electroencephalography (EEG) method using the “DX-system” encephalograph and the NeuroResearcher® Innovation module was used to evaluate bioelectric activity of the brain. To process the results, methods of descriptive statistics and correlation analysis have been used. The coefficients of asymmetry and multicollinearity were calculated. The obtained data testify to improvement of EEG profiles after rehabilitation of persons with PTSD. There has been found an increase in the correlation of characteristics in the α , β_1 , θ rhythms at the frontal area of the brain on the background of a general decrease in the number of reliable correlations after the rehabilitation of individuals with PTSD, which may indicate more synchronous activity of the brain at the frontal area and normalization (decrease) of the spectral frequency peak in β_1 activity after rehabilitation. It was shown that the correlation of electrical activity in dual points of the brain in the frontal zone is reliable ($p < 0.01$) with closed eyes in α -range before and after rehabilitation, and it disappears under mental load in the α - and β_1 -ranges after rehabilitation. Significant positive changes (more than 1.5 times) in correlation data of multicollinearity indicators in the frontal area with closed eyes in β_2 and θ bands have been revealed. The stage diagnostics procedure and application of the indicator of integral connectivity of EEG components of military personnel with PTSD during their psychomedical rehabilitation have been proposed.

Key words: electroencephalography; post-traumatic stress disorder; adjustment disorders; combat operation participants; psychomedical rehabilitation.

¹SI “Kundiev Institute of occupational health of National Academy of Medical Sciences of Ukraine”, Kyiv;

²Ukrainian Military Medical Academy, Kyiv;
e-mail: shvetsandro@gmail.com

REFERENCES

1. Duan H, Wang L, Wu J. Psychophysiological correlates between emotional response inhibition and posttraumatic stress symptom clusters. *Sci Rep.* 2018; 8(1): 16876. doi: 10.1038/s41598-018-35123-x.

2. Sheerin CM, Franke LM, Aggen SH, Amstadter AB, Walker WC. Evaluating the Contribution of EEG Power Profiles to Characterize and Discriminate Posttraumatic Stress Symptom Factors in a Combat-Exposed Population. *Clin EEG Neurosci.* 2018; 49 (6) : 379-387. doi: 10.1177/1550059418767583.
3. Kondratieva OG. Kondratieva AA. Nabiyev RG. Strokin AA. The study of the characteristics of bioelectrical activity of the brain in the formation of post-traumatic stress disorder among the employees of the Ministry of Internal Affairs. *Basic Res.* 2014; 12 (part 2): 317-321. [Russian].
4. Bekhtereva NP. Healthy and diseased human brain. L.: Science, 1980; 261. [Russian].
5. Robinson BL, Shergill SS. Imaging in posttraumatic stress disorder. *Curr Opin Psychiatry.* 2011; 24(1): 29-33.
6. Lobo I, Portugal LC, Figueira I, Volchan E, David I, Garcia Pereira M, de Oliveira L. EEG correlates of the severity of posttraumatic stress symptoms: A systematic review of the dimensional PTSD literature. *J Affect Disord.* 2015; 1 (183): 210-220. doi: 10.1016/j.jad.2015.05.015.
7. Meyer T, Smeets T, Giesbrecht T, Quaedflieg CW, Smulders FT, Meijer EH, Merckelbach HL. The role of frontal EEG asymmetry in post-traumatic stress disorder. *Biol Psychol.* 2015; 108: 62-77. doi: 10.1016/j.biopsycho.2015.03.018.
8. Rigoli MM, Silva GR, Oliviera FR, et al. The role of memory in posttraumatic stress disorder: implications for clinical practice. *Trends Psychiatry Psychother.* 2016; 38(3):119-27.
9. Agren T. Human reconsolidation: A reactivation and update. *Brain Res Bul.* 2014; 105:70-82.
10. Fernandez R, Bavassi L, Forcato C, et al. The dynamic nature of the reconsolidation process and its boundary conditions: Evidence based of human tests. *Neubiol Learning and Memory.* 2016; 130:202-12.
11. Dunbar AB, Taylor JR. Reconsolidation and psychopathology: Moving towards reconsolidation-based treatments. *Neurobiol Learn Mem.* 2017; 142:162-71.
12. Shadrina IV., Dedova KN., Pugachev AN. Neurophysiological features of the brain (according to the results of the analysis of EEG indicators) and their influence on the psychological characteristics of patients with post-traumatic stress disorder. *Bull SUSU.* 2011; 7: 84-6. [Russian].
13. Förster E., Ryants Yu. Methods of correlation and regression analysis. M: Finance and Statistics, 1983; 302. [Russian].
14. Meyer T, Smeets T, Giesbrecht T, et al. The role of frontal EEG asymmetry in posttraumatic stress disorder. *Biol Psychol.* 2015; 108:62-77.
15. Begic D, Hotujac L, Jokic-Begic N. Electroencephalographic comparison of veterans with combat-related post-traumatic stress disorder and healthy subjects. *Int J Psychophysiol.* 2001; 40(2):167-72.
16. Badura-Brack AS, Heinrichs-Graham E, McDermott TJ, et al. Resting-state neurophysiological abnormalities in posttraumatic stress disorder: a magnetoencephalography study. *Front Hum Neurosci.* 2017; 11: 197-205.
17. Jokic-Begic N, Begic D. Quantitative electroencephalogram (qEEG) in combat veterans with post-traumatic stress disorder (PTSD). *Nord J Psychiatry.* 2003; 57(5):351-7.
18. Imperatori C, Farina B, Quintiliani MI, et al. Aberrant EEG functional connectivity and EEG power spectra in resting state post-traumatic stress disorder: as LORETA study. *Biol Psychol.* 2014; 102:10-7.
19. Huang MX, Yurgil KA, Robb A. Voxel-wise resting-state MEG source magnitude imaging study reveals neurocircuitry abnormality in active duty service members and veterans with PTSD. *Neuroimage Clin.* 2014; 5:408-19.
20. McKenzie S, Eichenbaum H. Consolidation and reconsolidation: two lives of memories? *Neuron.* 2011; 71 (2): 224-33.
21. Carega MB, Girardi CE, Suchecki D. Understanding posttraumatic stress disorder through fear conditioning, extinction and reconsolidation. *Neurosci Biobehav Rev.* 2016; 71: 48-57.

*Матеріал надійшов
до редакції 11.12.2018*