

УДК 277.3

## ЗВ'ЯЗОК ФОНОВИХ ТА РЕАКТИВНИХ ЗНАЧЕНЬ СПЕКТРАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЕГ ЛЮДИНИ ПРИ ВИКОНАННІ ДІЯЛЬНОСТІ З РІЗНИМ СТУПЕНЕМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАСИЧЕНОСТІ

Чернінський А. О., Крижановський С. А., Тукаєв С. В., Піскорська Н. Г.,  
Зима І. Г., Макарчук М. Ю.

ННЦ «Інститут біології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка  
<http://psylab.kiev.ua>, [psylab@psylab.kiev.ua](mailto:psylab@psylab.kiev.ua)

Надійшла до редакції 11.02.2010

Досліджували взаємозв'язок вихідних (фонових) значень спектральної потужності ЕЕГ людини та змін цього показника при виконанні функціональних проб з різним рівнем інформаційної насиченості (усний арифметичний рахунок, запам'ятовування слів, сприйняття ольфактивного подразника, виконання простої аудіомоторної реакції, часткова сенсорна депривація). Було виявлено, що зростання складності завдання супроводжується зменшенням кількості кореляційних зв'язків між досліджуваними параметрами. Отримані дані обговорюються з точки зору електроенцефалографічного субстрату організації функціонального стану головного мозку людини.

**Ключові слова:** електроенцефалограма, головний мозок, функціональний стан, інформаційна насиченість.

### ВСТУП

Проблема дослідження функціональних станів людини є однією з ключових у сучасній психофізіології. Під функціональним станом (ФС) розуміють стан організму, на фоні якого відбувається або може відбуватися певна діяльність [1]. При цьому, саме ФС визначає характер перетікання цієї діяльності та її ефективність. Відомо, що ЕЕГ є інтегративною характеристикою функціонування ГМ, тобто відображає активність багатьох нейрональних груп, і це має прояв у фоновій електричній активності. У численних роботах показано взаємозв'язок змін функціонального стану головного мозку (ГМ) із змінами показників електроенцефалограми (ЕЕГ) людини. Як правило, перехід від стану спокою (пасивного неспання) до виконання певної діяльності супроводжується десинхронізацією ЕЕГ, яка розглядається як ознака активації неспецифічних систем ГМ. Результати багатьох досліджень призвели до формування уявлення стосовно неоднорідності реакцій ГМ на навантаження різної природи. Так, до факторів, які визначають конкретний характер перебудов електричної активності ГМ належать тип та складність завдання, індивідуальні особливості людини, тощо. Одним з таких факторів є поточний рівень активації (РА) ГМ, який має дві складові. Одна з них – індивідуально-типологічний РА, тобто той, у якому людина перебуває більшу частину часу, здебільшого генетично детермінований. Інший же – реактивний РА, пов'язаний із короточасними флуктуаціями ФС [2]. Перебудови ЕЕГ під час

виконання певних завдань відображають зміни РА певних структур ГМ, фізіологічним змістом яких є приведення їх РА до оптимального, необхідного для ефективного перебігу діяльності. У зв'язку із цим виникає проблема пошуку електроенцефалографічних маркерів ФС (або ж поточного РА). При цьому, частина дослідників приділяє основну увагу тим спектральним компонентам, які є домінуючими у стані спокою, та зникають або істотно зменшуються при переході до активації. Традиційно у якості "ритму спокою" розглядають коливання  $\alpha$ -діапазону [1,2], який під час активації заміщується на більш низько- або високочастотні коливання ( $\theta$ ,  $\beta$ ). В той же час, вважається встановленим, що  $\alpha$ -діапазон ЕЕГ є неоднорідним за функціональним значенням [2]. Окрім цього, активація при виконанні певних типів завдань може супроводжуватися не зростанням, а зменшенням вираженості коливань "ритму активації" -  $\beta$ -діапазону [3].

Безперечно, у певних параметрах ЕЕГ має відображення поточний (типологічний + реактивний) РА. Виконання завдань різного типу та рівня складності для ефективного їх вирішення вимагає від індивіда досягнення певного (конкретного для кожного типу завдань) РА. Таким чином, оцінюючи реактивні зміни ЕЕГ при переході до діяльності, ми реєструємо різницю між "бажаним", "необхідним" рівнем активації ГМ і поточним, фоновим РА. Відповідно до цього, вихідний рівень активації (який має прояв у параметрах фоновій ЕЕГ) може визначати напрямок і характер змін ЕЕГ при переході до діяльності. З іншого боку, характер реактивних змін

ЕЕГ залежить і від типу діяльності, її змістовного наповнення (якості) та складності (кількості). Виходячи з цього, нами було вирішено провести дослідження взаємозв'язку показників фонової ЕЕГ та реактивних змін ЕЕГ при виконанні завдань з різним ступенем інформаційної насиченості.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для вирішення поставленої задачі нами було проведено аналіз раніше проведених чотирьох серій експериментів. У кожній з них реєстрували фонову ЕЕГ та ЕЕГ під час виконання різних завдань, які різнилися за інформаційною насиченістю та активаційним компонентом.

Під час реєстрації ЕЕГ обстежувані знаходились в спеціально обладнаній камері (затемненій, екранованій та звукоізолюваній) в зручному, напівлежачому положенні із заплющеними очима. Перед початком запису електроенцефалограми учасники отримували інструкцію стосовно поведінки у експерименті. Після проходження 2-3 хвилин для адаптації починали експериментальну процедуру, яка буде описана нижче.

Запис та первинний аналіз ЕЕГ проводили на базі електроенцефалографічного комплексу EEG-16S (MEDICOR, Угорщина) – IBM PC AT від симетричних лобних (Fp1, Fp2), тім'яних (P3, P4), потиличних (O1, O2) та скроневих (T3, T4) відведень за міжнародною схемою 10-20%. В якості референтного використовувався об'єднаний вушний електрод. Міжелектродний опір був меншим за 5 кОм. Полоса зрізання фільтру високих частот становила 30 Гц, постійна часу – 0.3 с. Частота дискретизації аналогового сигналу дорівнювала 100 Гц. В усіх серіях експериментів ЕЕГ записувалась у вигляді 15 секундних реалізацій. Аналізу підлягали безартефактні реалізації. Для математичного аналізу ЕЕГ використовували спеціально розроблену програму на основі швидкого перетворення Фур'є. Епоха аналізу становила 5,12 сек, епоха усереднення – 0,64 сек. Обчислювали спектральну потужність (СП) семи частотних діапазонів:  $\theta 1$  – 4,0-6,0 Гц;  $\theta 2$  – 6,0-7,5 Гц;  $\alpha 1$  – 7,5-9,5 Гц;  $\alpha 2$  – 9,5-11,0 Гц;  $\alpha 3$  – 11,0-13,0 Гц;  $\beta 1$  – 13,0-20,0 Гц;  $\beta 2$  – 20,0-25,0 Гц. Параметри, обчислені по різних пробах, що належали до одного функціонального стану (спокій перед виконанням завдання, виконання завдання), усереднювали. Зміни ЕЕГ під час виконання експериментального завдання обчислювали за формулою:  $\Delta = (E_{\text{завдання}} - E_{\text{фон}}) / E_{\text{фон}}$  де  $E_{\text{завдання}}$  – показники ЕЕГ під час виконання завдання,  $E_{\text{фон}}$  – показники фонової ЕЕГ. Отримані таким чином показники ЕЕГ піддавалися кореляційному аналізу за допомогою коефіцієнта рангової кореляції Спірмена, реалізованому у програмі Statgraphics Centurion XV (StatPoint, Inc.). Корелювали значення СП перелічених вище частотних діапазонів фонової ЕЕГ кожного з 8 відведень із змінами СП будь-якого діапазона у будь-

якому відведенні. Таким чином, для показника СП одного діапазона у одному відведенні отримували 56 значень коефіцієнта кореляції (КК). Загальна кількість аналізованих у одній серії експериментів КК становила  $56^2$ , тобто 3136. Розглядалися тільки значущі ( $p < 0.05$ ) КК, які за абсолютною величиною дорівнювали або були більше 0.3. Порівняння СП ЕЕГ стану спокою та під час виконання проб проводилося із використанням критерію знакових рангових сум Вілкоксона для залежних вибірок, реалізованому нами на у пакеті MS Excel 2003 з використанням середовища програмування Visual Basic for Applications.

Аналізувалися експерименти, проведені за наступними схемами.

Проста аудіомоторна реакція (ПАР). Під час цієї серії експериментів учасники повинні були якомога швидше відреагувати на звуковий сигнал натисканням кнопки. В якості сигналу використовували звуковий тон (1000 Гц, 60 Дб), інтервали між стимулами становили  $3 \pm 1$  с. Виконання завдання тривало 5 хвилин, ЕЕГ записували 1 раз на хвилину.

Тест на короткочасну пам'ять (КП) полягав у запам'ятовуванні та наступному відтворенні вербального стимульного матеріалу. Стимульні набори склалися з 10 коротких (1-3 склади), неасоційованих та неримованих між собою слів. Для стандартизації стимульного матеріалу, він був начитаний розмірним, неемоційним чоловічим голосом та записаний для подальшого відтворення. Швидкість запису становила 1 слово на 2 секунди, таким чином, прослуховування одного набору тривало 20 секунд. Після утримання слів у пам'яті протягом 20 секунд обстежуваний повинен був відтворити їх. Аналізували тільки два стани: спокій (одна 20-секундна проба) та запам'ятовування слів (одна 20-секундна проба). З однією людиною проба повторювалася п'ять разів із різними наборами слів. Для кожного обстежуваного усереднювали по п'яти пробам показники ЕЕГ кожного із станів.

Виконання арифметичного рахунку (АР). Учасники повинні були здійснювати усне послідовне віднімання двозначного числа від чотиризначного протягом трьох хвилин. Рахунок здійснювався подумки. ЕЕГ реєстрували кожні півхвилини.

Сприйняття олфактивного подразника (ОЛФ). Обстежуваним пропонувалося сприймати протягом трьох хвилин запах рослинних ефірних олій. Більш детально з методикою можна ознайомитися у роботі [4]. ЕЕГ реєстрували кожні півхвилини.

Сенсорна депривація (СД). Перед виконанням одного із завдань обстежувані знаходилися 11 хвилин у експериментальній камері із виключеним світлом в очікуванні команди для початку роботи. ЕЕГ реєстрували шохвилини. Порівнювалися перші та останні три проби, тобто ЕЕГ 1-3 та 9-11 хвилин експерименту. Більш детально з результатами цієї проби можна ознайомитися у нашій роботі [5].

Використані нами експериментальні методики можна охарактеризувати таким чином. ПАР вимагає від обстежуваного певного рівня уваги для стеження за стимулами, проте з часом ступінь залучення механізму направленої уваги знижується і людина досить швидко переходить у режим автоматизованої діяльності. АР не вимагає від індивіда залучення систем стеження за сенсорним оточенням і пов'язана із активацією процесів абстрактно-логічного мислення. Зауважимо, що виконання цієї проби певною мірою пов'язане із залученням вербальних механізмів (представлення проміжних чисел внутрішньою мовою). Проба на КП супроводжується, з одного боку, активацією механізмів сприйняття вербальної інформації та, з іншого боку, активацією власне механізмів короткочасної пам'яті. Таким чином, описані три проби утворюють уявний ряд зростання кількості інформації, якою оперує головний

мозок під час виконання завдання. Сенсорна депривація може розглядатися як модель зниження інформаційної насиченості середовища, тобто як обернена до попередніх проб. Дещо окремо стоїть проба ОЛФ, під час якої відбувається потік сенсорної інформації обробляється не стільки неокортексом, як у пробах ПАР та КП, скільки у структурах лімбічної системи, які мають тісні морфо-функціональні зв'язки із нюховим аналізатором [6].

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати проведеного дослідження показали, що в різних експериментальних серіях спостерігалася різна кількість значущих кореляційних зв'язків між показниками фонові ЕЕГ та змінами ЕЕГ у пробі. Результати наведені у таблиці 1.

Таблиця 1.

Розподіл кореляційних зв'язків між параметрами ЕЕГ у різних серіях експериментів в залежності від частотних діапазонів

Діапазон	проба		СД		АР		ПАР		КП		ОЛФ	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
θ1	2	7	0	77	0	39	17	1	0	0	14	
θ2	0	18	0	91	0	169	8	1	0	0	25	
α1	0	25	0	87	0	314	36	0	0	0	17	
α2	0	9	0	54	0	209	48	0	0	0	1	
α3	0	39	0	5	0	26	0	6	0	0	75	
β1	0	46	0	7	0	9	0	35	0	0	7	
β2	0	44	3	0	6	0	0	25	0	0	15	
загальна кількість	190		324		772		177		154			

Примітка: "+" – кількість позитивних КК, "-" – кількість негативних КК

Такі результати дозволяють зробити висновок, що реактивні перебудови ЕЕГ виявилися в більшому ступені пов'язаними із параметрами фонові ЕЕГ у пробі ПАР. Слід звернути увагу, що за ступенем інформаційної насиченості три проби утворюють ряд  $КП > АР > ПАР$ , тоді як за загальною кількістю КК закономірність є оберненою:  $КП < АР < ПАР$ . Отже, зростання інформаційної насиченості завдання супроводжується зменшенням залежності реактивних змін параметрів ЕЕГ від їх вихідних значень, тобто від вихідного рівня активації ГМ.

Наступним питанням було те, чи однаковою є кількість взаємозв'язків змін ЕЕГ із СП різних частот. Як можна бачити з таблиці 4.2, в усіх аналізованих пробах зміни ЕЕГ нерівномірно пов'язані із вихідними потужностями різних частотних діапазонів ЕЕГ, причому закономірності цієї залежності є різними у різних пробах.

### Виконання ПАР

Найбільшу кількість значущих кореляційних зв'язків було зареєстровано із вихідною СП α1-діапазону. Так, їх було 314, що становить 70 % від

максимально можливого числа КК. Дещо менша кількість КК було зареєстровано для СП суміжних діапазонів – α2 та θ2. Сумарна кількість КК СП цих трьох діапазонів становила 90 % від усього числа зареєстрованих КК. Таким чином, потужність саме цього частотного діапазону (6-10 Гц) в стані спокою робить найбільший внесок в загальну варіабельність реактивних змін ЕЕГ під час виконання проби ПАР. Для того, щоб інтерпретувати наявні кореляційні зв'язки, необхідно врахувати напрямок змін параметрів ЕЕГ. Частково ці результати опубліковані у наших попередніх роботах [5, 7, 8], проте для кращого розуміння описаних залежностей наведемо їх у даній роботі. Порівняння СП ЕЕГ у стані спокою та під час виконання ПАР виявило значуще зростання СП α3- та β-діапазонів ЕЕГ у багатьох відведеннях (рис. 1).

Змін СП низькочастотних діапазонів ЕЕГ, за виключенням зростання СП θ1-діапазону у правому потиличному відведенні, не спостерігалася. Виходячи з цього, негативні кореляційні зв'язки свідчать про переважне зниження СП ЕЕГ у осіб із високими

вихідними їх значеннями, та переважно підвищення СП ЕЕГ у осіб з низькими вихідними значеннями. Аналіз кількості КК із змінами СП різних діапазонів ЕЕГ виявив, що вихідний рівень СП  $\alpha 1$  і  $\alpha 2$ -діапазонів корелював із змінами СП усіх частотних діапазонів. Дещо більша кількість КК спостерігалася у парах "вихідна СП  $\alpha 1$  – зміни СП  $\alpha 1$ " та "вихідна СП  $\alpha 2$  – зміни СП  $\alpha 2$ ". Інші закономірності були пов'язані із СП  $\theta$ -діапазонів. Так, напрямок

кореляційних співвідношень був негативним, проте, найбільша кількість КК була зареєстрована для пар "вихідна СП  $\theta 1$  – зміни СП  $\alpha 3$ " і "вихідна СП  $\theta 2$  – зміни СП  $\alpha 3$ ", тобто вихідна потужність  $\theta$ -діапазону обумовлювала не стільки ступінь змін цього ж діапазону, скільки "відставленого" по шкалі частот  $\alpha 3$ -діапазону. Окремо слід відмітити невелику кількість позитивних КК із вихідною СП  $\beta 2$ -діапазона (табл. 1).

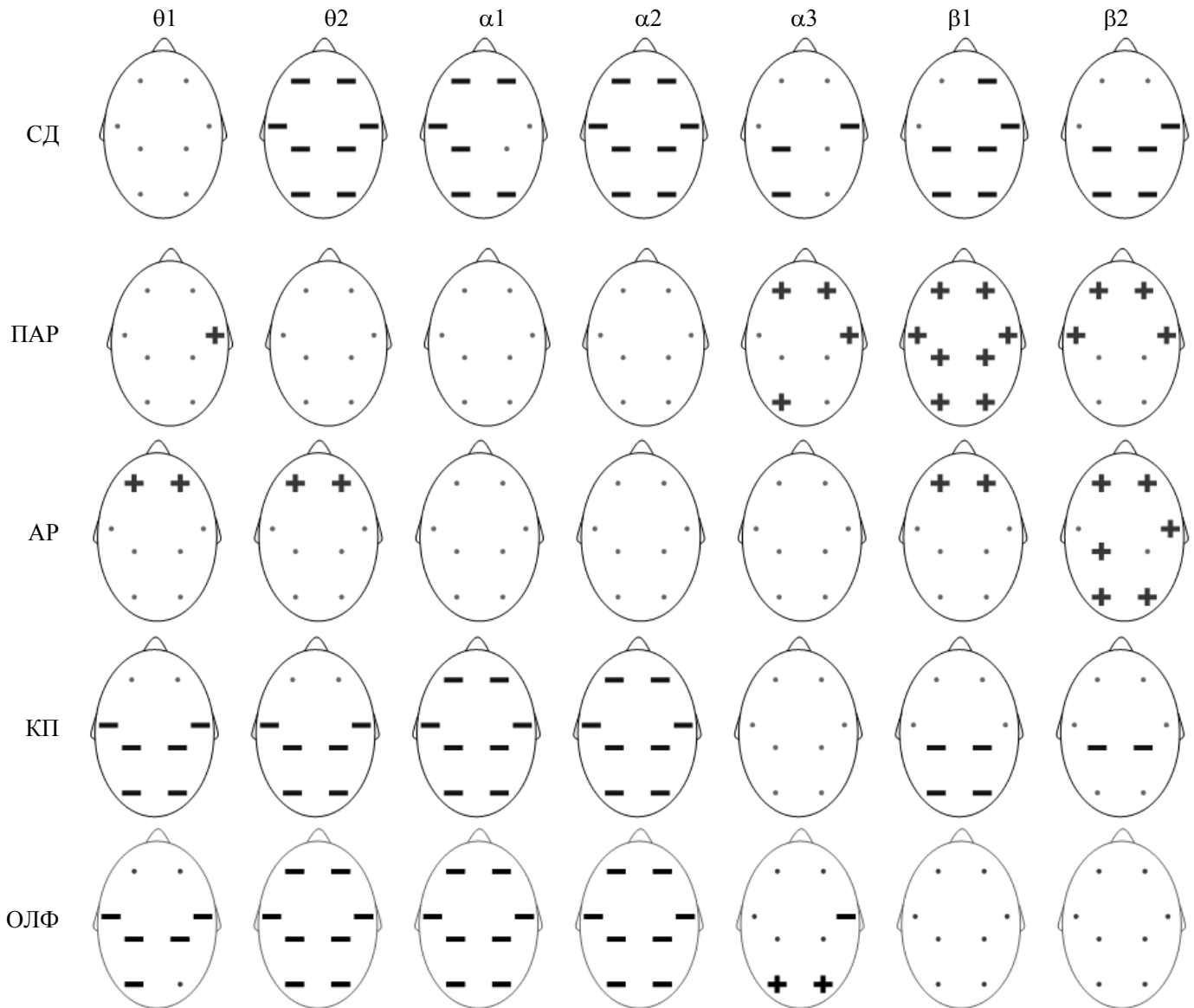


Рис. 1. Топокарти змін СП ЕЕГ у різних експериментальних пробах.

"+" – зростання показника, "-" – зниження показника

### "Арифметичний рахунок"

У дослідях з пробою АР було виявлено подібні закономірності зв'язку вихідного стану та реактивних змін ЕЕГ. Так, найбільша кількість значущих КК була зареєстрована для вихідної СП  $\theta$ -,  $\alpha 1$ -,  $\alpha 2$ -діапазонів (табл. 1). Як і у пробі ПАР, такі зв'язки були негативними. На відміну від ПАР, вихідний рівень СП  $\theta$ -діапазонів корелював переважно із змінами не  $\alpha 3$ -, а  $\theta 1$ - і  $\theta 2$ -діапазонів. Подібно до пробі ПАР, вихідні потужності  $\alpha 1$ - і  $\alpha 2$ -діапазонів були пов'язані із

змінами СП цих же діапазонів. Цікаво, що не спостерігалася жодного кореляційного зв'язку СП  $\alpha 1$  ЕЕГ спокою із змінами СП  $\alpha 3$  та  $\beta 2$ -діапазону. Було зареєстровано мало позитивних КК, і всі вони стосувалися вихідної СП  $\beta 2$ -діапазону, як і у пробі ПАР.

Зауважимо, що подібність кореляційних зв'язків показників ФС спокою із реактивними змінами ЕЕГ у пробах АР та ПАР супроводжується і певною

подібністю патернів змін ЕЕГ при переході до діяльності (рис. 1).

### "Короткочасна пам'ять"

Закономірності організації досліджуваних кореляційних зв'язків у пробі КП мали ряд відмін від попередніх проб. Так, їх загальна кількість була дещо меншою (табл. 1). КК із СП низькочастотних ( $\theta$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) діапазонів ЕЕГ, на відміну від проб ПАР і АР, були не негативними, а позитивними, що вказує на обернений характер зв'язку. Причому, більшість цих КК спостерігалися із змінами СП  $\alpha_3$ -діапазону (71 з 111, 64 %). Слід зазначити, що  $\alpha_3$ -діапазон – єдиний, СП якого на зазнавала змін при запам'ятовуванні слів у цій пробі (рис. 1). Отже, обстежуваних можна поділити на дві групи. У індивідів з вихідними високими значеннями СП 4-10 Гц ( $\theta$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) спостерігалось зростання СП  $\alpha_3$ -діапазону, натомість у індивідів із низькою СП вказаного діапазону спостерігалось його зниження. Зауважимо, що висока потужність  $\alpha$ -діапазону, особливо смуги 8-10 Гц, розглядається як ознака низького рівня активації ГМ. З іншого боку, показано, що висока продуктивність пам'яті корелює з десинхронізацією високочастотної складової  $\alpha$ -діапазону [9]. Результати проведеного нами аналізу показали, що вихідний високий рівень активації ГМ супроводжується більшою десинхронізацією  $\alpha_3$ -діапазону, яка може бути ознакою ефективного функціонування механізмів пам'яті.

Іншим моментом, який відрізняє кореляційні закономірності змін ЕЕГ у пробі КП від проб ПАР і АР, є порівняно велика кількість КК із вихідним рівнем СП  $\beta$ -діапазону (див. табл. 1). Загалом їх було зареєстровано 60 (34 %), всі вони були негативними і здебільшого стосувалися змін СП  $\beta$ -діапазону (29 з 60 КК, 48 %). Високочастотні коливання розглядаються як ознака активації ГМ, пов'язана із інформаційними процесами. Таким чином, зважаючи на характер змін СП  $\beta$ -діапазону у цій пробі, можна зробити висновок, що у людей із вихідним низьким РА ГМ відбувалося зниження СП  $\beta$ -діапазону, що може бути ознакою неефективності процесів обробки інформації (і, відповідно, меншої ефективності діяльності). Натомість, у людей із високими вихідними значеннями СП  $\beta$ -діапазону такого не відбувалося.

Слід відмітити те, що незважаючи на потужну депресію низькочастотних компонентів ЕЕГ у пробі КП, якої не спостерігалось у пробах ПАР та АР (рис. 1), кореляцій змін СП цих діапазонів ( $\theta$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) із параметрами вихідного стану спостерігалось порівняно мало (41 з 177, 23 %). Це може бути поясненим тим, що запам'ятовування неасоційованого набору слів є досить складним завданням і вимагало від обстежуваних суттєвої неспецифічної активації, рівень якої не залежав від вихідного стану. Натомість у менш складних пробах (ПАР як автоматизована сенсомоторна діяльність та АР як близька до автоматизації інтелектуальна діяльність) обстежуваним для виконання завдання потрібно було

досягнути меншого РА, і вихідний РА мав більший внесок у формування ФС ГМ.

### Часткова сенсорна депривація

Як зазначалося вище, проба СД може розглядатися як діяльність із "негативною інформаційною насиченістю", що неодмінно повинно обумовити специфіку перебудови електричної активності ГМ. Як можна бачити, напрямок змін СП різних діапазонів був подібним до проби КП (рис. 1), і полягав у загальному зниженні потужності коливань 6-25 Гц. Проте, характер досліджуваних кореляційних зв'язків істотно відрізнявся від описаних вище проб. Так, переважна більшість КК були негативними (188 з 190), а максимальна кількість (129 з 190, 68 %) їх припадала на СП коливань з частотою 11-25 Гц (табл. 1). При цьому 87 з цих 129 КК (46 % від загального числа) характеризували взаємозв'язок вихідних значень СП  $\alpha_3$ - ,  $\beta_1$ - ,  $\beta_2$ -діапазонів із змінами СП цих же діапазонів. Таким чином, зареєстроване у пробі зниження СП смуги 11-25 Гц (рис. 1) відбувалося переважно у обстежуваних із більшими вихідними значеннями СП цих діапазонів. Зазначимо, що коливання цих частот розглядаються як ознака коркової активації. Таким чином, у обстежуваних із вихідним високим РА при частковій сенсорній депривації спостерігалось більш виражене зниження РА, наголосимо, за показниками високочастотної області спектра ЕЕГ, яка розглядається як ознака активації, пов'язаної із інформаційними процесами, а отже – є проявом заспокоєння людини в умовах відсутності зовнішніх стимулів.

Певна кількість значущих кореляційних зв'язків (43 з 190, 23 %) спостерігалась також між вихідними рівнями коливань  $\theta_2$ - та  $\alpha_1$ -діапазонів та змінами СП  $\theta$ - і  $\beta$ -діапазонів (табл. 1). Жодних зв'язків із змінами СП  $\alpha$ -діапазону не спостерігалось. Зважаючи на напрямок змін ЕЕГ (рис. 1) та негативний знак КК, можна зробити висновок, що більші значення СП  $\theta_2$  і  $\alpha_1$  (менший рівень активації ГМ) були пов'язані із зниженням потужності  $\theta$ - і  $\beta$ -діапазонів. Той факт, що зниження СП  $\beta$ -діапазонів мало найбільше кореляційних зв'язків із вихідною СП  $\alpha_1$ - ,  $\alpha_3$ - і  $\beta$ -діапазонів, досить складно пояснити, адже більша потужність високочастотних компонентів ЕЕГ є свідченням активації ГМ, натомість, тоді як більша потужність СП низькочастотних діапазонів розглядається як ознака низького РА ГМ. Про неоднозначність інтерпретації рівня  $\beta$ -коливань з точки зору їх взаємозв'язку з РА ГМ свідчать і інші дослідження. Так, активація, пов'язана із здійсненням уявних, внутрішньомозкових операцій, супроводжується одночасним зниженням рівня коливань  $\theta$ - ,  $\alpha$ - і  $\beta$ -діапазонів [1, 3], які відносяться авторами [3] до фактору "загальної активації головного мозку". Натомість, активація, пов'язана із зовнішньою сенсорною чи моторною діяльністю, супроводжується зростанням індексу  $\beta$ -хвиль [3]. При цьому також відбувається зниження коливань, які входять до фактору загальної активації. Отже,

ймовірно, різнонаправленість кореляційних зв'язків у пробі СД пояснюється неоднорідністю змін різних компонентів ЕЕГ, які по-різному пов'язані із зниженням РА ГМ при обмеженні кількості сенсорної інформації.

#### Сприйняття олфактивних подразників

Остання аналізована нами проба пов'язана із залученням механізмів сприйняття та аналізу сенсорної інформації, проте, на відміну від зорової та слухової модальності, олфактивні образи менш вербалізовані. Було виявлено, що максимальна кількість зареєстрованих КК (75 з 154, 49 %, табл. 1) стосувалися вихідного рівня СП  $\alpha_3$ -діапазону, чого не спостерігалось у інших пробах. Усі ці КК були негативними і максимальна кількість (21 з 75, 33 %) стосувалася змін СП  $\alpha_2$ -діапазону. Депресію  $\alpha_2$ -діапазона найчастіше пов'язують з активацією неспецифічної ретикуло-таламічної системи [1]. Натомість, високий рівень СП  $\alpha_3$  пов'язують із функціональним виключенням системи семантичної пам'яті [9]. Топографічний аналіз зареєстрованих КК виявив, що майже половина з них (34 з 75, 45 %) стосувалися вихідної потужності  $\alpha_3$  у тим'яних областях, які є зоною міжмодальної інтеграції. Отже, наші результати дозволяють зробити припущення, що у обстежуваних із більш високим рівнем функціонування механізмів семантичної пам'яті (що проявляється у низькій потужності  $\alpha_3$ -діапазона) в більшому ступені відбувається актуалізація пам'ятних слідів, пов'язаних із олфактивними чинниками. При цьому, у ГМ переважають асоціативні процеси, тобто внутрішні з точки зору джерела інформації. Можливо, запах, який відчуває людина, служить в більшій мірі пусковим стимулом для процесу актуалізації енграм. А відомо, що така "внутрішня" активація ГМ в меншій мірі супроводжується депресією низькочастотних компонентів ЕЕГ [3, 10]. На відміну від цього, у випадку меншої активності механізмів семантичної пам'яті, на першому місці виявляються не вторинні, внутрішні асоціативні процеси, а безпосередній аналіз зовнішньої сенсорної інформації, який закономірно супроводжується депресією низькочастотних компонентів ЕЕГ [76]. Зрозуміло, таке припущення потребує детальної експериментальної перевірки. Цікаво відмітити певну "комплементарність" результатів аналізу КК у пробах ОЛФ і КП. Якщо у пробі КП вихідний рівень низькочастотних складових ЕЕГ, в першу чергу СП  $\alpha_2$ , обумовлював характер змін пов'язаного із функціонуванням механізму пам'яті СП  $\alpha_3$ , то у пробі ОЛФ навпаки – вихідний стан функції пам'яті (СП  $\alpha_3$ ) обумовлював характер змін всіх СП всіх діапазонів ЕЕГ, в першу чергу  $\alpha_2$ .

#### ВИСНОВКИ

Розглядаючи всі проаналізовані патерни кореляційних зв'язків, слід звернути увагу на ще один важливий з нашої точки зору факт. Закономірності,

характерні для СП  $\alpha_3$ , або суттєво відмінні від закономірностей, характерних для суміжних діапазонів ( $\alpha_2$  та  $\beta_1$ ), або ж більше подібні до СП  $\beta_1$ , ніж до СП  $\alpha_2$  (табл. 2). Так, у пробі КП на долю СП  $\alpha_3$  припадає всього 6 КК, на відміну від  $\alpha_2$  (48 КК) та  $\beta_1$  (35 КК). У пробі ОЛФ, навпаки, для СП  $\alpha_3$  було зареєстровано максимальну кількість – 75 КК, тоді як для СП  $\alpha_2$  – 1 КК, для СП  $\beta_1$  – 7 КК. У пробах АР та ПАР кореляційні пари з СП  $\alpha_3$  разом із СП  $\beta_1$  та  $\beta_2$  відносяться до "мінорної" групи діапазонів – з якими мінімальна кількість значущих КК, натомість, у пробі СД навпаки – до тих, з якими кількість КК максимальна. Подібність  $\alpha_3$  до  $\beta$ -діапазону в порівнянні з  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  просліджується і при аналізі реактивних змін ЕЕГ (рис. 1). Такі результати можуть бути ще одним аргументом на користь доцільності поділу  $\alpha$ -діапазону на три частотні складові [2, 9].

Отже, результати проведеного дослідження виявили, що між параметрами фонові ЕЕГ спокою та реактивними змінами ЕЕГ існує певний зв'язок, ступінь та характер якого залежить від типу діяльності людини. Зростання складності завдання супроводжується зменшенням кількості кореляційних зв'язків між досліджуваними параметрами, що розцінюється нами як зменшення впливу вихідного функціонального стану ГМ на характер перебудов електричної активності при переході до діяльності. При цьому, параметрами фонові ЕЕГ, з якими було зареєстровано найбільшу кількість значущих КК, є СП низькочастотних компонентів (4-10 Гц). Саме ці частоти розглядаються нами як корелят функціонального стану ГМ. У випадку, якщо експериментальна проба була пов'язана з переходом не на більш високий РА (проби ПАР, АР, КП), а з зниженням РА ГМ (проба СД), показниками, які визначають функціональний стан ГМ, були високочастотні компоненти (11-25 Гц). Порівнюючи патерни кореляційних зв'язків досліджуваних параметрів у трьох пробах із подібними реактивними перебудовами ЕЕГ (проби СД, КП, ОЛФ, рис. 1), але різною якісно та кількісно інформаційною насиченістю, можна бачити, що кількість та напрямок взаємозв'язків у них суттєво відрізняється (табл. 1).

Сукупність отриманих нами даних свідчить, що традиційне уявлення про функціональний стан як однокомпонентну систему, яка регулює рівень активації ГМ у лінійному континуумі "сон – неспання" [1] є не зовсім адекватним. Різні типи діяльності залежать від вихідного рівня функціонування різних підсистем ГМ.

#### Література

1. *Курой В. Н.* Механізми формування функціонального состояния мозга человека. – Ростов-на-Д.: Изд-во Ростовского ун-та. – 1991. – 192 с.
2. *Мишук Т. Е.* Залежність індивідуально-типологічних властивостей та ефективності розумової діяльності від рівня активації мозку (електроенцефалографічне

- обстеження): Афтореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук – К., 1995 – 16 с.
3. Lazarev V. V. The relationship of theory and methodology in EEG studies of mental activity // *Int. J. Psychophysiol.* – 2006. – Vol. 62. – P. 384-393.
  4. Чернінський А. О., Зима І. Г., Макарчук М. Ю., та ін. Обумовлення різних патернів активації автономної нервової системи людини характером суб'єктивної оцінки рослинних ароматів // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Проблеми регуляції фізіологічних функцій* – 2006 - № 11. – С. 4-6.
  5. Зима І. Г. Нейродинаміка електричної активності головного мозку людини в стані пролонгованого спокою // *Вісник Черкаського ун-ту. Серія Біологічні науки. Черкаси.* - 2007.- Вип. 105. - С. 15-22.
  6. Макарчук Н. Е., Калугев А. В. Обоняние и поведение – К.: КСФ. – 2000. – 134 с.
  7. Зима І. Г. Вплив ефірної олії меліси (*Melissa officinalis* L.) на функціональний стан центральної нервової системи людини // *Вісник Київського Університету імені Тараса Шевченка. Фізіологія. Проблеми регуляції фізіологічних функцій.* – 1999. – Вип. 5 – С. 68-72.
  8. Зима І., Кравченко В., Чернінський А. та ін. Електроенцефалографічні кореляції змін, викликаних дією ефірною олією лимона (*Citrus limonium* Risso) // *Науковий вісник ВДУ. Журнал Волинського державного університету ім. Лесі Українки: Біологічні науки* – 1999. – Т. 4. – С. 50-55.
  9. Klimesch W., Doppelmayr M., Hanslmayr S. Upper alpha ERD and absolute power: their meaning for memory performance // *Progress in Brain Research.* – 2006. – Vol. 159. – P. 151-165.
  10. Русалова М. Н. Экспериментальное исследование эмоций человека. М.: Наука – 1979. – 171с

### СВЯЗЬ ФОНОВЫХ И РЕАКТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ЭЭГ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ НАСЫЩЕННОСТИ

Чернинский А. А., Крижановский С. А., Тукаев С В., Пискорская Н. Г., Зима И. Г., Макарчук Н. Е.

Исследовали взаимосвязь исходных (фоновых) значений спектральной мощности ЭЭГ человека и изменений этого показателя при выполнении функциональных проб с разной информационной насыщенностью (устный арифметический счёт, запоминание слов, восприятие обонятельного раздражителя, выполнение простой аудиомоторной реакции, частичная сенсорная депривация). Показано, что увеличение сложности задания сопровождается уменьшением количества корреляционных связей между исследуемыми параметрами. Полученные данные обсуждаются с точки зрения электроэнцефалографического субстрата организации функционального состояния головного мозга человека.

**Ключевые слова:** электроэнцефалограмма, головной мозг, функциональное состояние, информационная насыщенность.

### RELATIONS BETWEEN HUMAN RESTING AND REACTIVE EEG DURING ACTIVITY WITH DIFFERENT INFORMATION RICHNESS

Cherninskyi A., Kryzhanovskiy S., Tukajev S., Piskorska N., Zyma I., Makarchuk M.

Relations between human resting EEG spectral power and its changes during activity with different information richness were studied. Arithmetic count, memory test, smelling, simple reaction time test and partial sensory deprivation trials were used. We revealed that increasing of task complexity were related to decreasing of the number of correlations between resting and reactive EEG parameters. The data obtained are discussed in terms of organization of the functional states of the human brain.

**Key words:** EEG, brain, functional state, information richness.