

РОЗДІЛ IV

Фізіологія людини

УДК: 612.821:616-073.7

О. М. Абрамчук – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри фізіології людини і тварин Волинського національного університету імені Лесі Українки;
О. Я. Матерна – студент кафедри фізіології людини і тварин Волинського національного університету імені Лесі Українки

Особливості локальної десинхронізації / синхронізації електричної активності мозку людини в діапазоні альфа-ритму під час пред'явлення облич із емоційною експресією

Роботу виконано на кафедрі фізіології людини і тварин ВНУ ім. Лесі Українки

Вивчено нейрофізіологічні механізми локальної десинхронізації/синхронізації електричної активності мозку в людей під час пред'явлення емоційно значущих стимулів у діапазоні альфа-ритму та основних підритмів (α_1 , α_2 , α_3). Біоелектричну активність кори головного мозку досліджено за допомогою апаратно-програмного комплексу "НейроКом". Значення ERD/ERS визначено для альфа-діапазону за W. Klimesh. Показано, що в межах альфа-ритму під час демонстрації зображень позитивного характеру переважали процеси синхронізації альфа-ритму; під час пред'явлення облич із негативними емоціями в більшості відведень фіксували процеси десинхронізації. Установлено, що достовірні зміни локальної синхронізації/десинхронізації електричної активності головного мозку спостерігалися під час пред'явлення облич із позитивною емоційною експресією в α_2 -піддіапазоні, порівняно з подачею стимулів негативної валентності.

Ключові слова: альфа-ритм, синхронізація, десинхронізація, емоції.

Абрамчук О. Н., Матерна О. Я. Особенности локальной десинхронизации/синхронизации электрической активности мозга человека в диапазоне альфа-ритма путем демонстрации лиц с эмоциональной экспрессией. Изучались нейрофизиологические механизмы локальной десинхронизации/синхронизации электрической активности мозга у людей путём стимуляции исследуемых стимулами эмоциональной окраски в диапазоне альфа-ритма и основных подритмов (α_1 , α_2 , α_3). Биоэлектрическая активность коры головного мозга исследовалась с помощью аппаратно-программного комплекса "НейроКом". Значение ERD / ERS были определены для альфа-диапазона за W. Klimesh. Показано, что в пределах альфа-ритма в случае демонстрации изображений позитивного характера преобладали процессы синхронизации альфа-ритма, при предъявлении лиц с отрицательными эмоциями в большинстве отведений фиксировались процессы десинхронизации. Установлено, что яркие изменения локальной синхронизации/десинхронизации электрической активности головного мозга наблюдались при демонстрации лиц с положительной эмоциональной экспрессией в α_2 -поддиапазоне по сравнению с подачей стимулов негативной валентности.

Ключевые слова: альфа-ритм, синхронизация, десинхронизация, эмоции.

Abramchuk O. M., Materna O. Y. Special Feature of Event-related Desynchronization/Synchronization of Human Brain Electric Activity in the Range of Alfa-rythm by Presenting Emotionally Meaningful Stimuli. The neurophysiological mechanisms of event-related desynchronization/synchronization (ERD/ERS) of human brain electric activity in the range of alfa-rythm and basic subrythms were studied by presentation of emotionally meaningful stimuli. Cortex bioelectric activity was investigated by means of "Neurocom" hardware-software complex. The ERD/ERS significance was defined for alfa range according to W. Klimesh. It was shown that the processes of alfa-rhythm synchronization prevailed within the alfa-range during the presentation of positively coloured images; during demonstration of faces with negative emotions, the processes of desynchronization are mainly registered. It was

© Абрамчук О. М., Матерна О. Я., 2011

ascertained that the reliable changes of local synchronization/desynchronization of cortex electric activity were observed during presentation of faces with positive emotional expressions in alfa2-subrange, in comparison with the presentation of negative valency stimuli.

Key words: alfa-rhythm, desynchronization, synchronization, emotions.

Постановка наукової проблеми та її значення. Емоції, за визначенням П. В. Симонова, є особливим класом психічних процесів і станів, пов'язаних із потребами та мотивами, що відображаються у формі безпосередніх суб'єктивних переживань значимо діючих на індивіда [1]. У такому розумінні емоції супроводжують будь-які прояви життєвої активності людини, слугують одним із головних механізмів внутрішньої регуляції психічної діяльності та поведінки, спрямованих на задоволення потреб [1, 2]. Очевидно, що більшість емоційних переживань загалом можна розділити на позитивні й негативні, однак виділяють до 10 базових класифікацій емоцій [2].

Сучасне вивчення електричної активності головного мозку неодмінно пов'язане з розробкою та впровадженням нових наукових методик. Зокрема, останнім часом широко використовується методика розрахунку ERD/ERS [1, 4, 8]. Оскільки зміна потужності ритмів у таких експериментах пов'язана з подачею зовнішніх стимулів чи генерацією внутрішніх команд, то зменшення ритму називається десинхронізацією, пов'язаною з подією (ERD – event related desynchronization), а збільшення амплітуди ритму – синхронізацією (ERS – event related synchronization). Основним позитивним моментом під час використання методики ERD/ERS є те, що вона дає можливість пов'язати певну ритмічну активність мозку з тим чи іншим типом психічної діяльності [5, 6].

У літературі наявна велика кількість даних, які стосуються дослідження взаємозв'язку основних ритмів енцефалограми з позитивними й негативними емоціями, проте вони носять неоднозначний характер [1, 3, 5]. Сьогодні проблему нейрофізіологічних механізмів локальної десинхронізації електричної активності мозку в людей під час пред'явлення емоційно значущих стимулів до кінця не вивчено, дані щодо цього відзначаються фрагментарним характером.

Мета дослідження – вивчення особливостей локальної десинхронізації/синхронізації електричної активності в діапазоні альфа-ритму під час пред'явлення обличч з емоційною експресією.

Матеріали та методи. У дослідженні взяли участь 11 осіб жіночої статі віком 18–21 рік. Відповідно до психоневрологічного та соматичного обстеження всі були здоровими. Перед початком експерименту всі обстежувані одержували детальну інформацію, пов'язану з їхньою участю в експерименті.

Біоелектричну активність кори головного мозку досліджували за допомогою апаратно-програмного комплексу “НейроКом”.

Під час проведення дослідження як стимули використовували зображення обличч з позитивною, негативною та нейтральною емоційною експресією. Протягом експерименту досліджувані перебували у світлозвукоізолюваній камері в положенні сидячи на відстані 1,5 м від монітора комп'ютера, на який виводили зміст завдання. У стані функціонального спокою очі в досліджуваних були заплющені. Решту завдань виконували із розплющеними очима.

Дослідження проводили в таких експериментальних ситуаціях:

- 1) стан функціонального спокою із заплющеними очима (фонова активність);
- 2) фотостимуляція (подача позитивних та нейтральних стимулів) і ведення підрахунку позитивних стимулів подумки (25 – позитивних, 25 – нейтральних);
- 3) фотостимуляція (подача негативних та нейтральних стимулів) і підрахунок негативних стимулів подумки (25 – негативних, 25 – нейтральних).

Стимули різного емоційного характеру подано у випадковій послідовності, інтервал між стимулами тривав 8–10 с. За референтний інтервал для розрахунку ERD/ERS у більшості випадків приймали інтервал від 2000 до 500 мс перед стимулом [12].

Досліджуваний подумки підраховував кількість значимих стимулів, підтримуючи цим високий рівень уваги. Вибір усного підрахунку як моделі когнітивної діяльності визначається тим, що нейрофізіологічні механізми, які забезпечують цю операцію в здорових дорослих досліджуваних локалізуються головно у лівій півкулі.

Під час обробки отриманих даних розрахунку значень ERD/ERS проводили за такою формулою [10]:

$$ERD = 100 \% \times \frac{(SP (ref) - SP (test))}{(SP (ref) + SP (test)) / 2}$$

де SP_{ref} – спектральна потужність на референтному інтервалі;

SP_{test} – спектральна потужність на тестовому інтервалі.

Ця формула – модифікований варіант класичної формули Пфуртшеллера та Аранібара (1977). При цьому десинхронізації (ERD) відповідають позитивні значення, а синхронізації (ERS) – негативні.

Спектральні потужності на інтервалах розраховували як середній квадрат амплітуди відфільтрованого по відповідній частотній смузі ЕЕГ – сигналу.

Межі спектральних діапазонів альфа-ритму визначали за методом Клімеша [8], який дає змогу враховувати його індивідуальні відмінності в межах частотних діапазонів ЕЕГ та полягає в такому:

- визначається індивідуальна частота альфа-ритму;
- межі частотних діапазонів відкладаються відповідно до індивідуальної частоти альфа-ритму;
- обчислюються абсолютні показники спектральної потужності як інтеграл спектральної щільності у відповідному діапазоні.

Межі всіх частотних діапазонів, які використані в роботі, подано в табл. 1.

Статистичну обробку результатів проводили з використанням програми "Ms Excel 2000". Отримані результати обробляли методом варіаційної статистики з використанням t-критерію Стьюдента.

Таблиця 1

Межі спектральних діапазонів (W. Klimesch, 1999)

Діапазон за Клімешом	Нижня межа (Гц)	Верхня межа (Гц)	Найбільш близький стандартний діапазон (Гц)
	2	4	Дельта
Тета	ГЧ α -6	ГЧ α -4	Тета-1 (4-6)
Альфа-1	ГЧ α -4	ГЧ α -2	Тета-2 (6-8)
Альфа-2	ГЧ α -2	ГЧ α	Альфа-1 (8-10)
Альфа-3	ГЧ α	ГЧ α +2	Альфа-2 (10-12)

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Проаналізовано особливості локальної десинхронізації/синхронізації електричної активності мозку людини в межах альфа-ритму під час пред'явлення облич із позитивною та негативною емоційною експресією.

Індивідуальну частоту (ГЧ) альфа-ритму визначали, як середню частоту в діапазоні 7–13 Гц у потиличних відведеннях (O1, O2) правої та лівої півкуль головного мозку. Показано, що в більшості досліджуваних середнє значення індивідуальної частоти становило 13 Гц.

Значення ERD/ERS електричної активності мозку визначено в альфа-діапазоні та для його основних піддіапазонів α_1 , α_2 , α_3 .

Наведені дані засвідчують, що під час пред'явлення різних за знаком емоцій спостерігалася характерна картина в розподілі ERD/ERS. Під час демонстрації зображень позитивного характеру в альфа-діапазоні переважали процеси синхронізації. У процесі пред'явлення облич із негативними емоціями в більшості відведень відзначено процеси десинхронізації (табл. 2). За таких умов максимальні значення ERS зафіксовано в префронтальній ділянці правої півкулі ($-14,3 \pm 4,2\%$), максимальні значення ERD ($11,2 \pm 2,9\%$) в лівій потиличній зоні головного мозку ($p \geq 0,05$).

Установлено, що демонстрація облич із позитивним емоційним навантаженням супроводжувалася процесами синхронізації альфа-ритму майже в усіх відведеннях, за винятком правої скроневої ділянки, та тім'яних і потиличних відведень обох півкуль. Максимальні значення ERS зафіксовано в задньолобовій зоні лівої півкулі ($11,23 \pm 4,5\%$), однак достовірних відмінностей не виявлено (табл. 2.).

Як показали наші дослідження, під час пред'явлення емоційних стимулів позитивного характеру відбувалися процеси синхронізації в усіх фронтальних та сагітальних ділянках обох півкуль. За таких умов, у межах лівої скроневої ділянки й потиличних і тім'яних ділянок обох півкуль відзначено процес десинхронізації альфа-ритму, порівняно зі стимулами з негативним навантаженням.

Таблиця 2

Закономірності EEG-динаміки (ERD/ERS) в діапазоні альфа-ритму

	Fp1	Fp2	F3	F4	F7	F8	T3	T4	C3	C4	T5	T6	P3	P4	O1	O2	Fz	Cz	Pz
Н	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
П	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-

Під час подачі стимулів із негативною валентністю, порівняно з позитивною, переважали процеси десинхронізації альфа-ритму по всьому скальпу, за винятком передніх фронтальних, латеральної зони лівої півкулі та задньоскрової ділянки правої півкулі. Максимальні значення ERD відзначалися в межах лівого потиличного відведення, проте помітне збільшення амплітуди ритму спостерігали в префронтальній зоні правої півкулі.

У процесі експерименту показано, що зображення різної емоційної експресії викликали помітну десинхронізацію альфа-ритму в потиличних і тім'яних ділянках обох півкуль, однак статистично достовірних відмінностей не виявлено (табл. 2).

Результати наших досліджень узгоджуються з літературними даними про те, що пред'явлення стимулів негативного емоційного характеру призводить до зменшення вираженості альфа-ритму в обох півкулях головного мозку [5]. Можна припустити, що депресія альфа-ритму тут пов'язана з більшим емоційним напруженням, а отже з більш вираженою активністю мозку. Аналіз літературних даних засвідчує, що стимули з негативною емоційною валентністю тяжіють до оперування конкретними образами, водночас як позитивні емоції сприяють переходу до абстрактних, узагальнених моделей, що й підтверджують отримані дані. Дані, наведені в табл. 3, указують на те, що під час подачі стимулів негативного характеру, порівняно з позитивними, в $\alpha 1$ -підритмі переважають явища десинхронізації, при цьому статистично достовірних відмінностей не виявлено. Максимально виражена ERD спостерігалась у передньо- та задньоскрової (18,7 \pm 5,3 %), і тім'яній ділянках лівої півкулі (17,4 \pm 2,7 %) й потиличних відведеннях (O₁ : 16,3 \pm 3,8 %; O₂ : 15,8 \pm 1,9 %).

Таблиця 3

Закономірності EEG-динаміки (ERD/ERS) у діапазоні альфа-1-підритму

	Fp1	Fp2	F3	F4	F7	F8	T3	T4	C3	C4	T5	T6	P3	P4	O1	O2	Fz	Cz	Pz
Н	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
П	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+

Слід відзначити, що під час пред'явлення стимулів негативного характеру чітко виражені процеси синхронізації $\alpha 1$ -підритму спостерігались у передній фронтальній ділянці правої півкулі (- 15,2 \pm 2,8 %), проте ERS у передній лобовій частці лівої півкулі та латеральної долі правої півкулі було дуже незначним (- 0,3 \pm 0,04 %).

Таблиця 4

Закономірності EEG-динаміки (ERD/ERS) в діапазоні альфа-2-підритму

	Fp1	Fp2	F3*	F4	F7	F8	T3	T4	C3*	C4	T5	T6	P3	P4	O1	O2	Fz*	Cz	Pz
Н	-	-	9,9*	+	+	+	-	+	7,5*	+	-	+	+	+	+	+	11,4*	+	+
П	-	-	-26,4	-	-	-	-	+	-17,7	-	-	-	-	-	-	+	-23,5	-	-

* - $p \leq 0,05$, $M \pm m$

Характерним є те, що під час сприйняття стимулів із позитивною емоційною валентністю відзначалося явище синхронізації піддіапазону у фронтальній корі з максимальними значеннями в межах задньолобових відведень F₄ (-11,9 \pm 5,4%) та F₃ (-9,3 \pm 0,6 %), F_z (-9,3 \pm 1,1 %), відповідно ($p \geq 0,05$). Збільшення потужності $\alpha 1$ -піддіапазону в центральній частці C₃, та в сагітальній C_z було

незначним ($p > 0,05$). Проте в межах скроневих, потиличних, тім'яних, центральної C_4 й сагітальної P_z часток відзначено процеси десинхронізації піддіапазону. Слід зауважити, що найбільші значення ERD характерні для задньоскрової частки правої півкулі ($25,9 \pm 6,2 \%$) та лівої потиличної ($18,9 \pm 3,9 \%$).

За результатами наших досліджень установлено, що в $\alpha 2$ -піддіпазоні під час пред'явлення негативних стимулів майже по всьому скальпу переважали процеси десинхронізації, тоді як стимули позитивного характеру викликали синхронізацію цього ж під ритму (табл. 4).

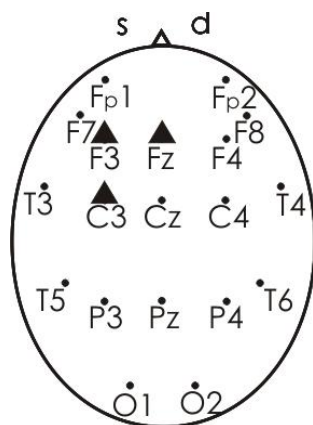


Рис. 1. ERS альфа2-під ритму під час пред'явлення облич із позитивною емоційною експресією ($p \geq 0,05$)

Ми показали, що демонстрація зображень негативного емоційного забарвлення викликала статистично достовірне зменшення потужності (ERD) піддіапазону в межах відведень F_7 лівої півкулі ($9,9 \pm 1,6 \%$), центральної C_3 ($7,5 \pm 0,8 \%$) та сагітальної Fz часток, порівняно з пред'явленням стимулів позитивного характеру, які викликали появу яскраво вираженої синхронізації в зазначених відведеннях F_3 ($-26,4 \pm 4,7 \%$), C_3 ($-17,7 \pm 5,4 \%$), Fz ($-23,5 \pm 8,2 \%$) відповідно ($p \geq 0,05$) (рис 1).

Привертає увагу той факт, що під час пред'явлення зображень різного емоційного змісту ми спостерігали яскраво виражену синхронізацію $\alpha 3$ -піддіапазону по всьому скальпу (табл. 5). Під час демонстрації облич із негативними емоціями максимальні значення ERS зафіксовано в межах задньолобової, задньоскрової й тім'яної ділянок правої півкулі, тоді як мінімальні значення синхронізації відзначено у відведеннях F_7 ($-1,9 \pm 0,03\%$), C_3 ($-2,3 \pm 0,5\%$) та O_1 ($1,9 \pm 0,1\%$) ($p \geq 0,05$).

Таблиця 5

Закономірності EEG-динаміки (ERD/ERS) у діапазоні альфа-3-під ритму

	Fp1	Fp2	F3	F4	F7	F8	T3	T4	C3	C4	T5	T6	P3	P4	O1	O2	Fz	Cz	Pz	
Н	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
П	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Як засвідчили наші дослідження, пред'явлення облич із позитивною емоційною модальністю супроводжувалися процесами синхронізації в усіх відведеннях. Максимальні значення отримано в передньолобовій ділянці лівої півкулі ($-20,5 \pm 6,2 \%$) та потиличних відведеннях O_1 ($-17,7 \pm 4,7 \%$), O_2 ($-16,6 \pm 5,1 \%$) відповідно ($p \geq 0,05$). Водночас мінімальні показники синхронізації альфа3-піддіапазону спостерігались у межах тім'яної ($-4,1 \pm 0,6 \%$) й центральної ділянок ($-1,2 \pm 0,03 \%$) лівої півкулі кори головного мозку.

Висновки й перспективи подальших досліджень. Отже, результати наших досліджень показали, що в межах альфа-діапазону під час демонстрації зображень позитивного характеру переважали процеси синхронізації; під час пред'явлення облич із негативними емоціями у більшості відведень фіксували процеси десинхронізації. Схожу картину спостерігали в процесі аналізу даних для $\alpha 1$ - та $\alpha 2$ -піддіапазонів EEG. Привертає до себе увагу той факт, що процеси EEG-динаміки під час дослідження $\alpha 3$ -піддіапазону мали протилежний характер. Так, після демонстрації облич різної емоційної валентності в межах усього скальпа відзначено процеси синхронізації альфа3-під ритму.

Під час подачі позитивних стимулів у передньоасоціативних відведеннях обох півкуль кори головного мозку спостерігалися явища синхронізації, а для стимулів негативної модальності відзначено процеси десинхронізації ритму у задньоасоціативних відведеннях кори головного мозку.

Підсумовуючи викладене, слід зауважити, що в $\alpha 2$ -піддіапазоні статистично достовірні зміни спостерігались у бік зростання реакції синхронізації під час пред'явлення облич із позитивною емоційною експресією, порівняно з негативною.

Література

1. Кокун О. М. Психофізіологія / О. М. Кокун. – К. : ЦНЛ, 2006. – 184 с.
2. Левин Е. А. Взаимосвязь системы торможения поведения с частотно-мощностными характеристиками ЭЭГ человека : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Е. А. Левин. – Новосибирск, 2008. – 22 с.
3. Симонов П. В. Эмоциональный мозг / П. В. Симонов. – М. : Наука, 1981. – С. 19–27.
4. Русалова М. Н. Отражение эмоционального напряжения в пространственной синхронизации биопотенциалов головного мозга человека / М. Н. Русалова // Журн. ВНД. – 1990. – Т. 40, № 2. – С. 254.
5. Хомская Е. Д. Нейропсихология / Е. Д. Хомская– СПб. : Питер, 2007. – 496 с.
6. Durka P. J. Time-frequency microstructure of event-related desynchronization and synchronization / P. J. Durka, et al. // Medical and biological engineering and computing. – 2001. – Vol. 39, N. 3. – P. 315–321.
7. Durka P. J. On the statistical significance of event-related EEG desynchronization and synchronization in the time-frequency plane / P. J. Durka, et al. // IEEE transaction on biomedical engineering. – 2004. – Vol. 51. – P. 1167–1175.
8. Klimech W. EEG alpha- and theta-oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis / W. Klimech // Brain Res. Revs. – 2001. – V. 29. – P. 169.
9. Krause Ch. M. Event-related desynchronization (ERD) and synchronization (ERS) during auditory information processing / Ch. M. Krause // J. New Musik Research. – 1999. – Vol. 28, N 3. – P. 257.
10. Pfurtscheller G. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles / G. Pfurtscheller, F. H. Lopes da Silva // Clinical Neurophysiology. – 1999. – Vol. 110. – P. 1842–1857.

Статтю подано до редколегії
14.04.2011 р.