

ОСОБЛИВОСТІ ЕЕГ СТУДЕНТОК-БИОЛОГИНЬ З РІЗНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ НАОЧНО-ОБРАЗНОГО МИСЛЕННЯ

Третяк Тетяна Олегівна

аспірантка

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

ORCID: 0000-0001-7154-8610

tessamina78@gmail.com

Дрегваль Ігор Володимирович

кандидат біологічних наук, доцент

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара м. Дніпро, Україна

ORCID: 0000-0001-6272-2082

dregigor24@gmail.com

Севериновська Олена Вікторівна

доктор біологічних наук, професор

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна,

ORCID: 0000-0002-0002-1237

eseverinovskaya@gmail.com

Досягнення високого результату при розумовій діяльності забезпечує наочно-образний тип мислення як складова частина індивідуальних особливостей інтелектуальної діяльності людини. У дослідженні розумової діяльності на наочно-образний тип мислення приймали участь студентки-біологині з різними показниками. За допомогою апаратно-програмного комплексу DX-NT32.V19 здійснювали реєстрацію та первинний аналіз ЕЕГ-активності мозку. У результаті досліджень було встановлено, що при успішному виконанні завдань на наочно-образне мислення загальна кількість функціональних зв'язків зменшується за рахунок зменшення міжпівкульних взаємин, але збільшується внутрішньо-півкуля когерентність. Функціональні зв'язки у всіх діапазонах ЕЕГ вказують на передачу інформації через мозолисте тіло, що створює умови для виконання когнітивних завдань за допомогою швидкого аналізу. Відбувається «територіальне звуження» та посилення взаємодій у лобних, скроневих та тім'яних ділянках. Це дає підстави припустити, що ефективність наочно-образного мислення залежить від високого рівня знань та вмій, які зберігаються у специфічних ділянках кори (скроневій та тім'яній) й узгодженості роботи лобних областей, які можуть встановлювати зв'язки з «полімодальними» та «супермодальними» елементами скроневої та тім'яної зон. Таким чином за результатами наших досліджень ефективно наочно-образному мисленню відповідають більші значення спектральної потужності у β 2-піддіпазоні та менша потужність у α -діпазоні ЕЕГ, патерни когерентності правої півкулі у β 1-піддіпазоні ЕЕГ та збільшення просторової складності, та сили когерентних зв'язків в θ -смузі з багаточисельними довгими міжпівкульними взаємодіями, що характерно при виконанні креативних завдань. У випадках підвищення ефективності образного мислення встановлюється значний функціональний зв'язок у δ -смузі в задніх відділах кори та короткі міжпівкульні міжсиметричні синхронізації, що пояснюється гальмівними процесами активної уваги на сторонні стимули, завдяки чому можлива інтеграція окремих елементів при уявному створенні образів. Також ймовірність досягнення високого результату пов'язана з зорово-просторовою стратегією виконання завдання, симультанним способом когнітивного процесу, гальмування рухових програм та зменшенням концентрації на самому завданні.

Ключові слова: наочно-образне мислення; біоелектрична активність головного мозку; розумова активність; когнітивна діяльність; функціональні зв'язки.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.8>

Вступ. Загальноприйнятим є уявлення про те, що динаміка таких процесів, як увага, пам'ять, мислення, що визначають якість професійної діяльності людини, знаходить відображення у просторово-часовій організації електричної активності мозку, а виявлення електроенцефалографічних показників, що відображають певні сторони інтелектуальної діяльності людини (Aziz-Zadeh et al., 2013) має практичне значення для підвищення ефективності когнітивної діяльності.

У літературі можна знайти значну кількість фундаментальних досліджень, в яких розглядається зв'язок різних ритмічних та просторово-часових параметрів

електроенцефалограми (ЕЕГ) зі складовими інтелектуальної діяльності, такими як наочно-образне мислення (Finke, 1985; Bechtereva & Nagornova, 2007). Оперування наочними образами допомагають мати уяву про різні предмети та їх просторове положення, а також у думках змінювати їх взаємне розміщення, що лежить в основі розуміння істотних зв'язків та залежності речей.

Багато інформації, закодованої у біоелектричній активності мозку визначає неоднозначність та суперечливість трактувань щодо нейрофізіологічних механізмів патернів ЕЕГ. Складність нейрофізіологічної інтерпретації ЕЕГ-феноменів полягає у тому, що на ЕЕГ відбива-

ється робота всієї сукупності нейронів, об'єднаних у нейронних системах.

Також є ряд робіт, в яких дослідники пов'язують певні параметри ЕЕГ з успішністю виконання когнітивної діяльності (Kogorova & Dika, 2014; Dika & Denisova, 2011; Karatyugin, 2015). Також є велика кількість експериментального матеріалу, результати досліджень ЕЕГ людини під час виконання інтелектуальних завдань, які мають суперечливий характер та не дозволяють однозначно зіставити параметри біопотенціалів з конкретними психофізіологічними процесами. При виконанні інтелектуального завдання особами з різними фоновими показниками глобальної просторової організації потенціалів кори відбувається на фоні різного нейрофізіологічного та гормонального забезпечення, що важко враховувати при дослідженні (Maksymovych, 2015). Також залишається невирішеною і проблема знаходження універсальних електрофізіологічних показників, які були б надійно пов'язані з успішністю виконання широкого кола інтелектуальних завдань. Далеким від вирішення є питання щодо топографічних патернів активаційних та гальмівних процесів, які становлять фізіологічну основу інтелектуальних дій людей (Rominger et al., 2018), особливо тих, які опановують однакові компетенції.

Метою дослідження був наочно-образний тип мислення як складова частина індивідуальних особливостей інтелектуальної діяльності людини. Це обумовлює актуальність дослідження фізіологічного забезпечення наочно-образної розумової діяльності з метою виявлення фізіологічних чинників, які сприяють досягненню високого результату.

Матеріали і методи досліджень. В дослідженні взяли участь добровольці студентки-біологині (n = 118) віком 18–22 роки, правши з регулярним впродовж року менструальним циклом тривалістю 26–33 дні, які не вживали гормональні протизаплідні препарати. Всі були здорові, на момент дослідження не вживали ліків, не хворіли на неврологічні чи психіатричні захворювання,

не пред'являли скарг на фізичну стомленість або сонливість. Експерименти проводились у період фолікулярної фази (4–7 день) менструального циклу. Дослідження проводились у ранкові години у тихому, добре провітрюваному затемненому екранованому приміщенні з постійною температурою +20–22 °C (Rominger et al., 2018). Студенткам пропонували задачі із збірника тестів на розвиток образного мислення (Fillips, 2012). Час експозиції інструкції 5 секунд, час експозиції «бланку» завдання – 4 секунди; загальний час виконання завдання – 5 хвилин. У кінці дослідження визначали коефіцієнт успішності (ефективність) виконання завдання у відсотках, відмічаючи і оцінюючи обрані відповіді. Значення до 50% правильних відповідей вважали низькими, від 51 до 75% – середніми, а вищі за 76% – високими. Відповідно до цього були визначені групи студенток з середньою та високою ефективністю наочно-образного мислення.

У процесі розумової діяльності здійснювали реєстрацію та первинний аналіз ЕЕГ-активності за допомогою апаратно-програмного комплексу DX-NT32.V19, (виробник «DX-Complex», LTD, м. Харків, Україна). Розміщення електродів проводилось за міжнародною системою 10/20 монополярно. Нейтральний електрод розташовувався у ділянці лоба. Після перегляду та видалення артефактів, шляхом математичної обробки, розраховували кількісні параметри ЕЕГ за хвилину: нормовану спектральну потужність в частотних полосах, що відповідають δ – (1–4 Гц), θ – (4–8 Гц), α – (8–13 Гц), β_1 – (13–20 Гц) та β_2 – (20–30 Гц) ритмам та силу когерентних зв'язків між різними відведеннями. Когерентні (Ког) зв'язки кожного частотного діапазону ЕЕГ згрупували у 12 видів (табл. 1). Ког = 0,6–0,69 розцінювали як значимі зв'язки середнього ступеня, а Ког < 0,7 – як значимі зв'язки високого ступеня.

Статистичний аналіз проводили з використанням пакетів програми «Statistica 6.0» (Copyright © StatSoft, Inc. 1984–2001, Serial number 31415926535897) та Excel (MSOffice 7). Оскільки розподіл майже всіх показників

Таблиця 1

Види когерентних зв'язків, які підлягали аналізу та відповідні їм пари відведення

Види когерентних відведень		Відповідні пари відведень
1		2
Внутрішньо-півкульні короткі	– у передніх відділах правої півкулі	Fp2-F4, Fp2-F8, Fp2-T4, F4-F8, F4-T4, F8-T4
	– у передніх відділах лівої півкулі	Fp1-F3, Fp1-F7, Fp1-T3, F3-F7, F3-T3, F7-T3
	– у задніх відділах правої півкулі	O2-P4, O2-T6, O2-C4, P4-C4, P4-T6, T6-C4
	– у задніх відділах лівої півкулі	O1-P3, O1-T5, O1-C3, P3-C3, P3-T5, T5-C3
Внутрішньо-півкульні довгі	– між передніми й задніми відділами правої півкулі	Fp2-O2, Fp2-P4, Fp2-T6, F8-O2, F8-T6, F8-P4, F4-T6, F4-P4, F4-O2
	– між передніми й задніми відділами лівої півкулі	Fp1-O1, Fp1-P3, Fp1-T5, F7-O1, F7-T5, F7-P3, F3-T5, F3-P3, F3-O1
Міжпівкульні в передніх та задніх відділах кори	– у передніх відділах кори	Fp1-F8, Fp1-T4, Fp1-F4, Fp2-F7, Fp2-T3, F4-T3
	– у задніх відділах кори	O1-T6, O1-P4, O2-T5, O2-P3, P4-T5, P3-T6
Міжпівкульні діагональні	– між передніми відділами правої півкулі та задніми відділами лівої	Fp2-O1, Fp2-T5, Fp2-P3, F8-O1, F8-T5, F8-P3, F4-O1, F4-T5, F4-P3
	– між передніми відділами лівої півкулі та задніми відділами правої	Fp1-O2, Fp1-T6, Fp1-P4, F7-O2, F7-T6, F7-P4, F3-O2, F3-T6, F3-P4
Міжпівкульні між симетричними відведеннями	– короткі	Fp1-Fp2, F3-F4, C3-C4, P3-P4, O1-O2
	– довгі	F7-F8, T3-T4, T5-T6

був відмінним від нормального (за критерієм Лілієфора), то для порівняння залежних вибірок застосовували Т-критерій Вілкоксона, а незалежних – критерій Манна-Уїтні. Для опису вибіркового розподілу вказували медіани та нижній і верхній квартилі (Me [25; 75]). Значення $P < 0,05$ вважали статистично достовірними.

Результати. У студенток з високою ефективністю наочно-образного мислення усереднена спектральна потужність (СП) провідного α -ритму у стані спокою була статистично достовірно вищою ($p < 0,05$), у порівнянні з менш ефективними (табл. 2).

Під час виконання завдання на наочно-образне мислення у студенток з середньою ефективністю виконання тестів майже на всіх ділянках кори головного мозку було встановлене зниження СП ЕЕГ у α -діапазоні в 1,2–2,3 рази порівняно до фонових значень (рис. 1), зазначимо також, що найбільше зниження зафіксували в тім'яних, потиличних та скроневих відведеннях.

Статистично достовірне ($p < 0,05$) зниження СП α -коливальності у всіх відведеннях ЕЕГ при наочно-образному тестуванні характерно й для високо ефективних осіб (рис. 2). Відмітимо також, що чим більше розвинута дана здібність, тим нижчі значення нормованої спектральної потужності α -діапазону.

Позначення: фонові спектральні потужності складових ЕЕГ (закрыті очі) лівої (А) та правої (В) півкулі, спектральна потужність складових ЕЕГ лівої (Б) та правої (Г) півкулі під час виконання завдання на наочно-образне мислення.

Позначення: фонові спектральні потужності складових ЕЕГ (закрыті очі) лівої (А) та правої (В) півкулі, спектральна потужність складових ЕЕГ лівої (Б) та правої (Г) півкулі при виконанні завдання на наочно-образне мислення.

* – статистично достовірно відносно фонових значень для відповідної групи досліджених при рівні значимості $p < 0,05$ за критерієм Вілкоксона;

– статистично достовірно відносно значень студенток з середньою ефективністю, при рівні значимості $p < 0,05$ за U-критерієм Манна-Уїтні.

Результати порівняння (за U-критерієм Манна-Уїтні) значень СП у студенток з різною ефективністю вико-

нання завдання на наочно-образне мислення показали (рис. 2), що у студенток, які більш успішно виконали завдання СП у відповідному діапазоні мали нижчі значення показників у центральних, тім'яних та потиличних зонах кори головного мозку.

Взагалі при виконанні завдань на наочно-образне мислення усереднена за локалізаціями спектральна потужність ЕЕГ в β -полосі правої півкулі у жінок з високим проявом наочно-образного мислення статистично достовірно збільшувалась ($p < 0,05$) (табл. 2), порівняно до стану спокою.

У осіб обох досліджених груп під час наочно-образного мислення потужність β_1 -хвиль була вищою у ЕЕГ потиличних областей, а СП β_2 -складових ЕЕГ рівномірно розподілялась у корі (рис. 1, рис. 2). У студенток з середньою ефективністю виконання завдання відбувалося збільшення потужності β_1 -хвиль у потиличній та тім'яній зонах, а у осіб з високою ефективністю – у потиличних та фронтальних.

Спектральна потужність β_2 -складових у осіб з меншою ефективністю наочно-образного мислення статистично достовірно ($p < 0,05$) збільшувалась у передніх локаціях Fp1, Fp2, F3, F7, F8, а у осіб з високою ефективністю – у фронтальних Fp1, Fp2, F7, F8 зонах та центральних й скроневих ділянках правої гемісфери (рис. 1, рис. 2).

За даними усередненої за локалізаціями спектральної потужності ЕЕГ у δ -діапазоні у студенток з середньою ефективністю наочно-образного мислення статистично достовірно ($p < 0,05$) збільшувались в обох гемісферах (табл. 2). При цьому статистично достовірно збільшення ($p < 0,05$) спектральної потужності δ -складових зафіксували в різних ділянках кори головного мозку (рис. 1, рис. 2). Статистично достовірних відмінностей потужності в δ -полосі ЕЕГ між групами з середньою та високою ефективністю виконання когнітивного наочно-образного завдання не встановили (рис. 2).

Усереднені дані за локалізаціями спектральної потужності ЕЕГ в θ -діапазоні у жінок з середньою ефективністю виконання тесту на наочно-образне мислення статистично достовірно ($p < 0,05$) збільшувались в передній

Таблиця 2

Значення усередненої за локалізаціями спектральної потужності складових ЕЕГ у жінок з різною ефективністю наочно-образного мислення

Діапазони ЕЕГ	Усереднена за локалізаціями спектральна потужність ЕЕГ у жінок, (n=55)			
	з середньою ефективністю наочно-образного мислення		з високою ефективністю наочно-образного мислення	
	фон	під час виконання завдань	фон	під час виконання завдань
α	<u>190 (159; 211)</u> 195 (168; 214)	153 (144; 166)# 146 (139; 157)#	<u>213 (194; 226)*</u> 219 (204; 239)*	<u>134 (128; 143) #*</u> 132 (128; 135) #*
β_1	<u>72 (44; 85)</u> 65 (57; 93)	<u>5170 (57; 92)</u> 73 (53; 86)	<u>65 (52; 75)</u> 73 (52; 96)	<u>74 (51; 89)</u> 76 (53; 96)
β_2	<u>42 (24; 57)</u> 37 (33; 66)	<u>43 (26; 81)</u> 40 (32; 57)	<u>37 (26; 67)</u> 40 (31; 55)	<u>36 (24; 49)</u> 43 (32; 65)
δ	<u>211 (204; 223)</u> 216 (198; 237)	<u>243 (233; 291) #</u> 246 (234; 286) #	<u>216 (207; 232)</u> 246 (225; 238)	<u>226 (212; 236)#</u> 251 (244; 263)
θ	<u>178 (152; 191)</u> 184 (156; 199)	<u>188 (151; 208)</u> 189 (156; 207)	<u>184 (162; 225)</u> 189 (177; 228)	<u>186 (164; 193)</u> 208 (163; 223)

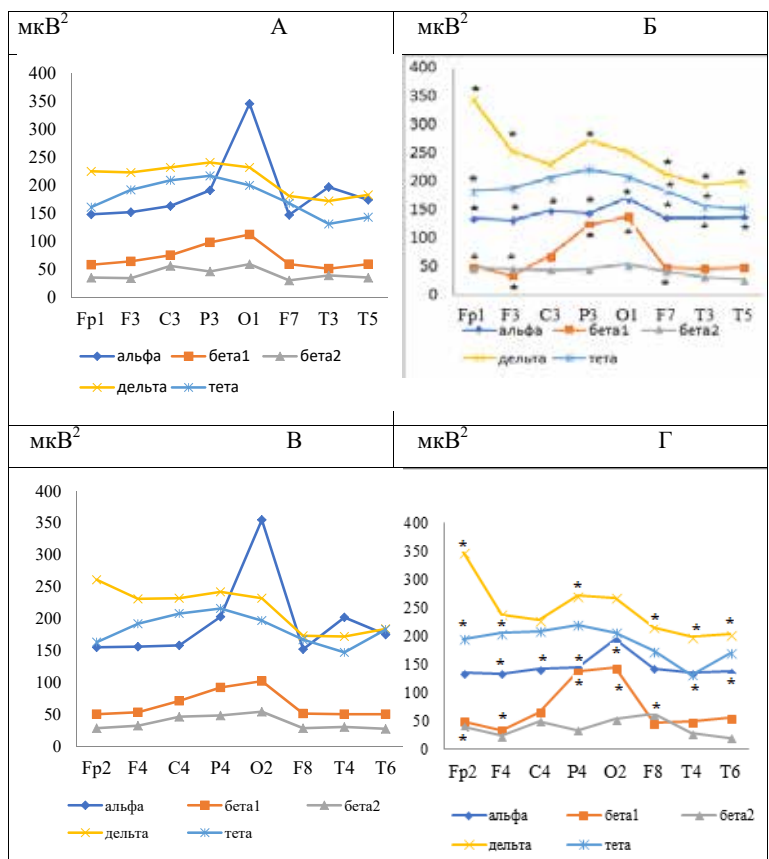


Рис. 1. Спектральна потужність ЕЕГ різних частотних діапазонів у жінок з середньою ефективністю наочно-образного мислення, (n = 55)

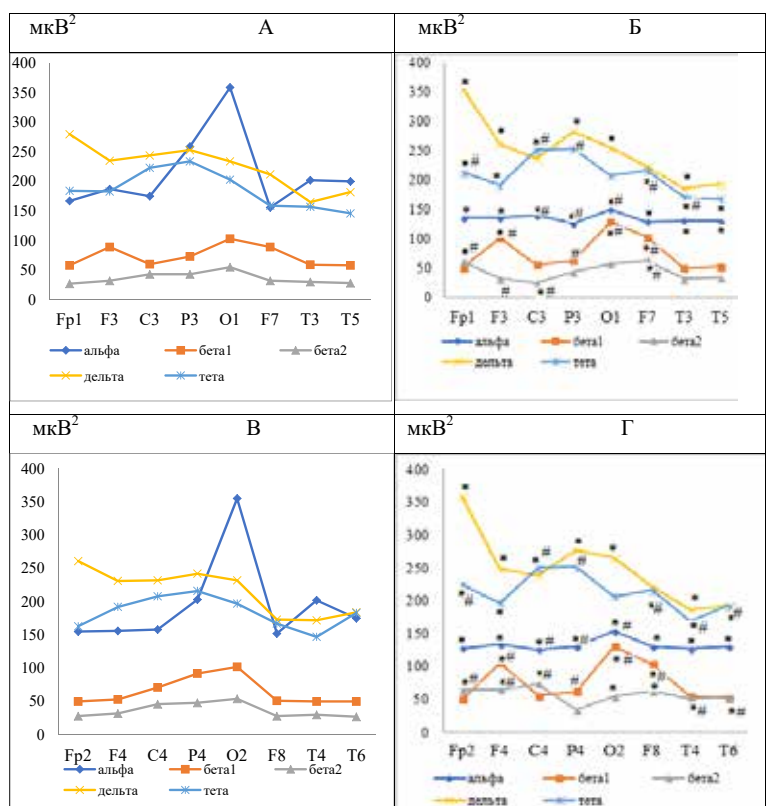


Рис. 2. Спектральна потужність ЕЕГ різних частотних діапазонів у жінок з високою ефективністю наочно-образного мислення, (n = 55)

зоні кори головного мозку Fp1, Fp2, F4, F7, F8 та в точці Т3 (рис. 1, 2). У жінок з високою ефективністю виконання тесту на наочно-образне мислення збільшення спектральної потужності θ -складової ЕЕГ у більшості ділянок є суттєвим (рис. 2).

На основі когерентного аналізу у досліджуваних з середньою ефективністю наочно-образного мислення у α -діапазоні ЕЕГ визначили значимі когерентні зв'язки середнього (Ког = 0,61-0,68, $p < 0,05$) ступеня у передніх та задніх відділах обох півкуль (рис. 3 А_{1,2}), у міжпівкульних передніх локусах (рис. 3 А₃) та діагональні міжпівкульні (рис. 3 А₄). Найбільш вагомим значенням когерентності (Ког = 0,7-0,95, $p < 0,05$) характерні як для міжпівкульних коротких симетричних відведень, так і для міжпівкульних відведень задніх відділів кори (рис. 3 А_{5,6}).

У досліджуваних з високою ефективністю наочно-образного мислення у α -діапазоні встановлені статистично достовірні когерентні зв'язки в передніх та задніх відділах обох півкуль (рис. 3 Б_{1,2}), але в лобній зоні правої півкулі вони мали більш високі когерентні зв'язки (Ког = 0,77 – 0,99, $p < 0,05$). У передніх відділах кори (рис. 3 Б₃) зберігається міжпівкульна синхронність та набуває більшого значення. Високими залишаються короткі міжпівкульні когерентні зв'язки між симетричними відведеннями (рис. 3 Б₅). З'являються внутрішньо-півкульові довгі зв'язки між передніми і задніми відділами лівої півкулі (рис. 3 Б₃) та міжпівкульні довгі синхронізації між симетричними відведеннями (рис. 3 Б₄). Виконання завдання вимагало й здійснення маніпуляцій з сенсорними образами, тому ми відмічали значні функціональні

зв'язки між зонами С3-С4, які є проєкційними зонами області пальців рук.

Позначення: тонка лінія – когерентні зв'язки середнього ступеня (Ког = 0,6-0,69, $p < 0,05$), товста лінія – когерентні зв'язки високого ступеня (Ког = 0,71–0,95, $p < 0,05$)

А – студентки з середньою ефективністю наочно-образного мислення.

Види когерентних зв'язків: 1 – у передніх відділах правої та лівої півкулі, 2 – у задніх відділах правої та лівої півкулі, 3 – міжпівкульні у передніх відділах кори, 4 – міжпівкульні діагональні, 5 – короткі міжпівкульні між симетричними відведеннями, 6 – міжпівкульні у задніх відділах кори.

Б – студентки з високою ефективністю наочно-образного мислення.

Види когерентних зв'язків: 1, 2, 6 – позначення, як і у попередній групі;

3 – внутрішньо-півкульні довгі між передніми й задніми відділами лівої півкулі, 4 – міжпівкульні довгі між симетричними відведеннями, 5 – міжпівкульні у передніх відділах кори.

Виражені короткі міжпівкульні зв'язки свідчать про можливість розв'язання завдання за допомогою образного сприйняття та швидкого аналізу, що може сприяти швидкості, легкості та більш ефективному виконанню наочно-образного завдання (рис. 3 А₅, Б₅).

У β 1-піддіапазоні ЕЕГ при виконанні завдань на наочно-образне мислення у студенток з середньою ефективністю виконання тестів відмічали міжпівкульну діагональну синхронізацію біопотенціалів середнього

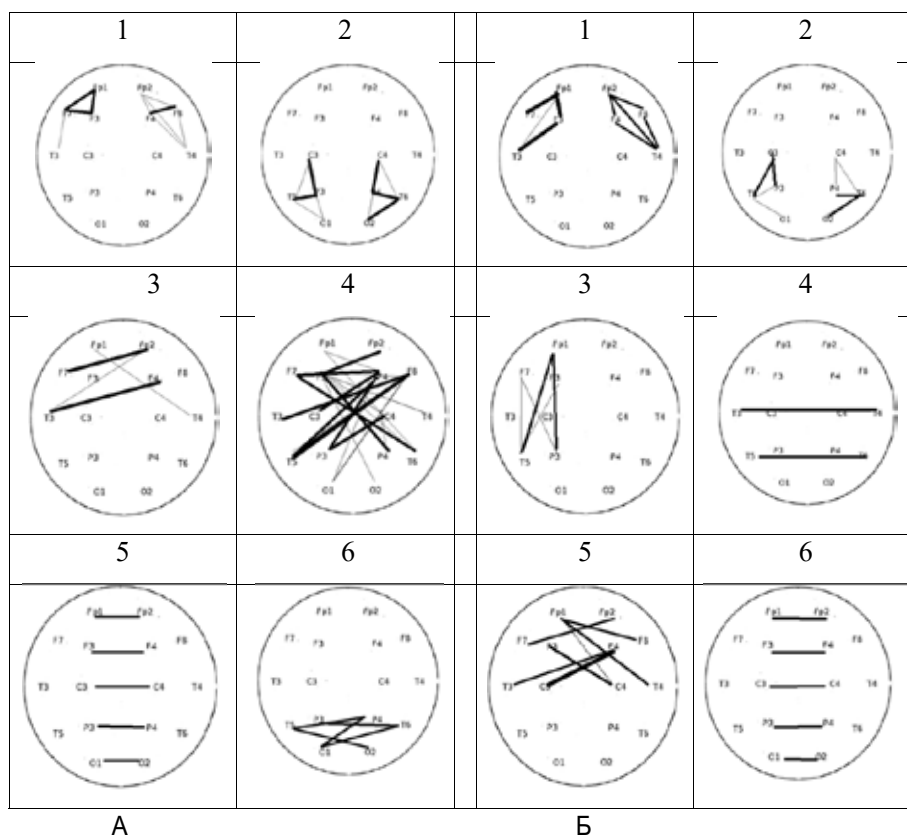


Рис. 3. Функціональні зв'язки кори мозку у α -діапазоні при виконанні тестового завдання, (n = 55)

та високого ступеня ($\text{Kog} = 0,63-0,8, p < 0,05$) між передніми відділами правої та задніми відділами лівої (рис. 4 А₁) півкулі, а також збільшення когерентності у міжпівкульних відведеннях між симетричними локусами (рис. 4 А₂).

Позначення: (А, В) – студентки з середньою ефективністю наочно-образного мислення. Тонка лінія – когерентні зв'язки середнього ступеня ($\text{Kog}=0,6-0,69, p<0,05$), товста лінія – когерентні зв'язки високого ступеня ($\text{Kog}=0,7-0,89, p<0,05$). (Б, Г) – студентки з високою ефективністю наочно-образного мислення при виконанні тестового завдання. Види когерентних зв'язків в β_1 -смузі: 1 – міжпівкульні діагональні між передніми відділами правої півкулі та задніми відділами лівої, 2 – короткі та довгі міжпівкульні між симетричними відведеннями, 3 – у передніх відділах правої півкулі, 4 – короткі міжпівкульні між симетричними відведеннями; в β_2 -смузі: 1 – у передніх відділах лівої півкулі, 2 – міжпівкульні короткі міжсиметричні, 3 – внутрішньо-півкульні короткі у задніх відділах лівої півкулі, 4 – міжпівкульні короткі міжсиметричні.

У студенток з високою ефективністю у вищезазначених зонах значно зменшувалась кількість когерентних зв'язків та знижувалась їх сила, що може свідчити про зниження концентрації уваги та вказувати на специфіку мозкової активності досліджуваних (рис. 4 Б₃). Наявність коротких міжпівкульних зв'язків між симетричними відведеннями у осіб обох груп (рис. 4 А₂, Б₄) може вказувати на нескладність завдань для опитуваних і використання швидкого та звичайного аналізу при виконанні завдання.

У β_2 -піддіапазоні при виконанні тестів на наочно-образне мислення реєстрували значимі ($p<0,05$) когерентні зв'язки середнього ступеня у лівій лобній зоні (рис. 4 В₁) та встановили статистично достовірні коефіцієнти когерентності ($\text{Kog}=0,63-0,82, p<0,05$) у коротких міжпівкульних міжсиметричних відведеннях у студенток

з середньою ефективністю наочно-образного мислення (рис. 4 В₂).

Виражена інтеграція між лобно-потиличними областями кожної з півкуль (рис. 4 В₃) свідчить про виникнення декількох паралельних процесів та відбивається у функціональній відокремленості діяльності нейронних ансамблів: одночасно відбувається обробка образної інформації, створення асоціацій та контроль за процесом. У осіб з більшою ефективністю виконання тестів на наочно-образне мислення відмічали синхронізацію ЕЕГ хвиль в β_2 -смузі у лівій потиличній ділянці (рис. 4 Г₄) та, як і у попередньому випадку – функціональний зв'язок ($\text{Kog}=0,6-0,82, p<0,05$) у коротких міжпівкульних відведеннях.

Кількісне вираження рівня інтегративної діяльності у досліджуваних з середньою ефективністю виконання завдання на образне мислення у δ -діапазоні ЕЕГ різних відділів кори головного мозку обмежене із середнім ступенем вираженості ($\text{Kog}=0,6-0,73, p<0,05$), а синхронізація стосується задніх відділів правої півкулі ($\text{Kog}=0,5-0,77, p<0,05$) та міжпівкульні довгі симетричні відведення ($\text{Kog}=0,3-0,71, p<0,05$).

З підвищенням ефективності образного мислення збільшується функціональний зв'язок в δ -смузі у задніх відділах правої півкулі ($C_4-T_6; P_4-O_1; P_4-O_2$) та значимі міжпівкульні когерентності у задніх відділах кори ($\text{Kog}=0,34-0,71, p<0,05$). Зникають міжпівкульні довгі міжсиметричні зв'язки, натомість з'являються короткі міжпівкульні міжсиметричні синхронізації ($P_3-P_4; O_1-O_2$).

При виконанні наочно-образних завдань у студенток з середньою ефективністю статистично достовірно ($p<0,05$) збільшуються довгі внутрішньо-півкульні когерентності у θ -діапазоні між передніми та задніми відділами лівої півкулі ($Fp_1-P_3; Fp_1-O_1$), збільшується ($p<0,05$) міжпівкульна діагональна синхронізація між передніми

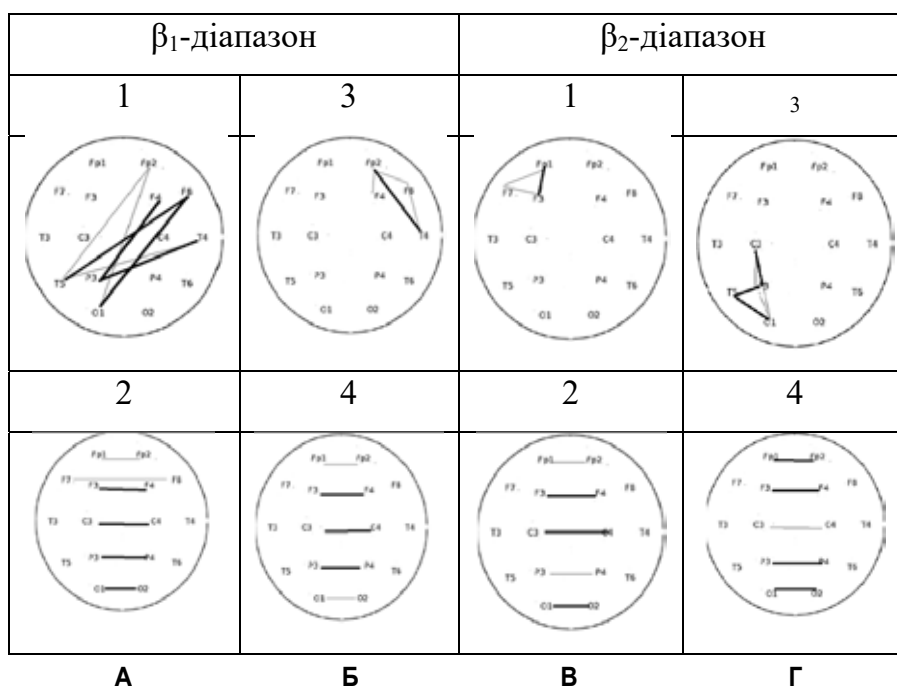


Рис. 4. Функціональні зв'язки кори мозку у β -діапазоні при виконанні тестового завдання, ($n = 55$)

відділами правої півкулі та задніми відділами лівої ($F_{p_2}-O_1$; $F_{p_2}-T_5$; F_8-T_3 ; T_4-T_5) та, як і в інших частотних діапазонах ЕЕГ, є значними ($p < 0,05$) міжпівкульні короткі та довгі когеренції між симетричними відведеннями. З підвищенням ефективності виконання завдань на наочно-образне мислення збільшується синхронізація мозкової активності у θ -смузі: стають потужнішим (Ког = 0,67-0,82, $p < 0,05$) міжпівкульні діагональні зв'язки між передніми відділами правої півкулі та задніми відділами лівої ($F_{p_2}-T_5$; $F_{p_2}-P_3$; $F_{p_2}-O_1$; F_8-O_1), з'являються високо когерентні взаємини між потиличними та тім'яними зонами (C_3-T_5 ; C_3-P_3 ; P_3-O_1 ; T_5-O_1) з перевагою у лівій півкулі, а також з'являються функціональні короткі міжпівкульні зв'язки між симетричними відведеннями ($F_{p_1}-F_{p_2}$; F_3-F_4 ; C_3-C_4 ; T_3-T_4 ; P_3-P_4 ; O_1-O_2).

Обговорення. Вважається, що високий α -індекс на електроенцефалограмі може бути показником відсутності емоційної напруги і є тестом для визначення емоційної стабільності (Егорова, 1973). За значеннями домінуючого α -ритму, ми можемо припустити різний функціональний стан кори головного мозку досліджуваних до початку тестування: відсутність напруги у студенток з високою ефективністю образного мислення і деяке посилення мозкової активності у студенток із середньою ефективністю цього виду когнітивної діяльності. Виявлено, що існує тісний зв'язок між α -активністю в стані спокою та β шумом та змінами обох процесів, які визначаються змінами демпфування базових α -коливальних процесів. Затухання α -коливань є результатом того, що найбільш слабо демпфована мода розподілу стає більш сильно демпфованою це може спостерігатись в характеристиці просторово-часових особливостей ЕЕГ у стані спокою (David & Suresh, 2020; Evertz et al., 2022). Також виявлено зниження α -ритму при збільшенні зовнішніх стимулів на гальмівну популяцію кори головного мозку (Hartoyo et al., 2020).

Klimesch W. (Klimesch, 1999) вважає, що збільшення потужності в нижньому β -діапазоні у потиличних та тім'яних ділянках кори пов'язано зі збільшенням зусиль які необхідно докласти випробуванним для підтримання концентрації уваги під час виконання завдання, а збільшення спектральної потужності у потиличних та лобових областях є свідченням середнього, але не надмірного навантаження при меншій концентрації уваги.

Збільшення потужності β 2-частот на ЕЕГ у лобових ділянках кори пов'язують з участю останніх у регуляції активного функціонального рівня та уваги (Dan'ko, 2005), аналізом зорової інформації і з участю у процесах «невербальної категоризації» та з реакцією на нові стимули (Gusel'nikov, 1976; Donoghue et al., 2020).

Є думка (Fernandez et al., 1993), що збільшення δ -активності може бути пов'язано, як зі збільшенням внутрішньої концентрації суб'єктів під час виконання завдань, так і з складними задачами та емоційним реакціями (Mitchell et al., 2008; Polunina & Lefterova, 2012).

На думку декількох авторів, потужність θ -складової ЕЕГ збільшується з ускладненням завдання (Petsche et al., 1992; Klimesch et al., 1994). У деяких дослідженнях (Klimesch et al., 1994) було відзначено збільшення

θ -потужності під час епізодичного завдання розпізнавання. Також є відомості, що θ -потужність у стані спокою пов'язана з когнітивною активністю (Finnigan & Robertson, 2011).

Таким чином за останні роки є докази, що синхронізація повільно хвильової активності в передньо-центрально-задній відведеннях у процесі запам'ятовування нової інформації та виконання когнітивних завдань (Mitchell et al., 2008) є нормальним нейрофізіологічним проявом розумової активності здорових людей. Така активність є закономірною та відбиває осциляторні взаємодії між структурами гіпокампу та лобної кори (Polunina & Lefterova, 2012).

Активізація зв'язків у лівій скроневій області (рис. 3 Б₃) може вказувати на активацію ментальних процесів пошуку правильної відповіді при виконанні завдання (Harmony et al., 1999). Формування коротких міжпівкульних зв'язків свідчить про функціональні зв'язки при розв'язанні завдання за допомогою образного сприйняття та швидкого аналізу, що може сприяти швидкості, легкості та більш ефективному виконанню наочно-образного завдання (рис. 3 А₅, Б₆), подібні процеси спостерігались у результаті професійної підготовки (Tarasova, 2007).

Спостерігаємо зникнення міжпівкульних лобно-потилічних-скроневих довгої синхронізації та утворення функціональних взаємодій у правій півкулі ймовірно є ознакою нелінійності та функціональної незалежності передньо-задніх коркових зон у процесі образного мислення (Tarasova, 2007) та роботи з образною інформацією, що можна розглядати як електрофізіологічний корелят симультанного способу мисленого процесу. Прояв певного домінування при якому спостерігається домінування однієї зони півкулі над іншою, що може мати більший вплив на певні функції (Al-Hadithi et al., 2016).

Невелика кількість значимих функціональних зв'язків між різними відділами кори головного мозку у β 2-діапазоні може бути пов'язана з розосередженою увагою і зменшенням рівня свідомого контролю та абстрактним творчим підходом при виконанні завдання (Dika & Denisova, 2011). Активність у β -частотному діапазоні лобної зони лівої півкулі характерна синхронізація, яка залежить від рівень інтелекту та корелює зі складністю організації мозку (Thürer et al., 2016).

Біопотенціали в θ -діапазоні в лівій тім'яно-скроневій частині кори (C_3-T_3 ; F_7-T_3) можна пов'язати із залученням «внутрішньої» мови під час виконання завдань (Harmony et al., 1999).

Отже, ефективному виконанню завдання відповідають більші значення потужності β 2-активності та менша спектральна потужність α -складових ЕЕГ у центральних, тім'яних та потиличних зонах кори головного мозку, що пов'язано як з розосередженою увагою та зменшенням рівня свідомого контролю, так і з інтегральними ефектами різних способів обробки інформації. Тоді як у групі осіб з середньою ефективністю виконання завдання ці зміни протилежні і механізми виконання завдання основані на таламо-корти-

кальних зв'язках з залученням систем задньої частини мозку та опорою на зорово-просторову епізодичну пам'ять. Також є дані про збільшення потужності β 2-активності, що пов'язано з перебігом розвитку розсіяного склерозу та больових синдромів (Churyna et al., 2016).

Сформовані при наочно-образному мисленні патерни когерентності в правій півкулі мозку β 1-піддіапазоні можна розглядати як показник симультанного способу когнітивного процесу. Прояв активності β -діапазоні деякі автори пов'язують із зовнішньою сенсорною чи моторною діяльністю при цьому наголошують про зниження коливань загальної активації та обмеженість кількості сенсорної інформації (Lazarev, 2006).

У θ -діапазоні висока ефективність виконання когнітивного завдання пов'язана з активацією спектральної потужності θ -складової ЕЕГ скронево-центрально-потилочної ділянки лівої півкулі, що вказує на зорово-просторову, а не вербальну (як у осіб з середньою ефективністю) стратегію виконання завдання. Також відмітимо складну мозаїку міжкульової взаємодії коркових ділянок правої півкулі з задніми ділянками лівої у θ -смузі з багаточисельними довгими міжпівкульними взаємодіями, що характерно при виконанні креативних завдань (Cherninsky et al., 2010).

З підвищенням ефективності образного мислення встановлюється значний функціональний зв'язок в δ -смузі у задніх відділах кори та короткі міжпівкульні міжсиметричні синхронізації, що можна пояснити гальмівними процесами активної уваги на сторонні стимули, завдяки чому можлива інтеграція окремих елементів при уявному створенні образів. Для виконання наочно-образних завдань необхідний план дій, який включає тимчасову організацію активації залучених кіркових мереж та гальмування рухових програм.

Висновки. Виражені короткі міжпівкульні функціональні зв'язки між симетричними відведеннями у всіх діапазонах ЕЕГ вказують на передачу інформації через мозолисте тіло, що створює умови для виконання когнітивних завдань за допомогою швидкого аналізу. Ефективному наочно-образному мисленню відповідають патерни когерентності правої півкулі у β 1-піддіапазоні ЕЕГ, що є можливим для включення «диференційної уваги» під час селекції інформації. Таким чином ймовірність досягнення високого результату в досліджуваних учасниках найбільш пов'язана з зорово-просторовою стратегією виконання завдання, симультанним способом когнітивного процесу, гальмування рухових програм та зменшенням концентрації на самому завданні.

Бібліографічні посилання:

1. Al-Hadithi, N., Al-Imam, A., Irfan, M., Khalaf, M., & Al-Khafaji, S. (2016) The relation between cerebral dominance and visual analytic skills in Iraqi medical students, a cross sectional analysis. *Asian Journal of Medical Sciences*, 7(6), 47–52. doi: 10.3126/ajms.v7i6.15205
2. Aziz-Zadeh, L., Liew, S., & Dandekar, F. (2013) Exploring the neural correlates of visual creativity. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 8(4), 475–480. doi: 10.1093/scan/nss021.
3. Bechtereva, N. P., & Nagornova, Zh.V. (2007) Changes in EEG coherence during tests for nonverbal (Figurative) creativity, *Human Physiology*. 33(5): 515-23. DOI: 10.1134/S0362119707050015
4. Cherninsky, A., Kryzhanovskiy, S., Tukajev, S., Piskorska, N., Zyma, I., & Makarchuk, M. (2010) Relations between human resting and reactive EEG during activity with different information richness. *Physies of the Alive*, 18(2), 85–91.
5. Chupryna G., Svyrydova N., & Kozlov V. (2016) Features of electrical brain activity in patients with multiple sclerosis, taking into account the comorbidity. *East European journal of Neurology*, 06(12), 20–26.
6. Danko, S. G. (2005) Elektroentsefalograficheskie korrelyatsii sostoyaniy mozga pri verbalnom obuchenii [Electroencephalographic correlations of brain states in verbal learning]. *Rossiya Moskva: Fiziologiya cheloveka*, 31(5), 15–20 (in Russian).
7. David, T.J. Liley, & Suresh D. Muthukumaraswamy (2020) Evidence that alpha blocking is due to increases in system-level oscillatory damping not neuronal population desynchronisation, *NeuroImage*, 208, 116408, doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.116408.
8. Dikaya, L. A., & Denisova, I. A. (2011) Sravnitelnyiy analiz funktsionalnoy organizatsii koryi mozga u muzykantov i hudozhnikov pri vyipolnenii professionalno-spetsifichnoy tvorcheskoy deyatel'nosti [Comparative analysis of the functional organization of the cerebral cortex in musicians and artists in the performance of professionally specific creative activities] *Rostov-na-Donu: Severo-Kavkazskiy psihologicheskii vestnik*, 9(1), 14–17 (in Russian).
9. Donoghue, T., Haller, M., Peterson, E., Varma, P., Sebastian, P., Gao, R., Noto, T., Lara, A., Wallis, J., Knight, R., Shestyuk, A., & Voytek, B. (2020) Parameterizing neural power spectra into periodic and aperiodic components. *Nature neuroscience*, 23(12), 1655–1665. doi: 10.1038/s41593-020-00744-x
10. Egorova, I. S. (1973) Elektroentsefalografiya [Electroencephalography] *Rossiya Moskva: Meditsina*, 296 (in Russian).
11. Evertz, R., Hicks, D.G., & Liley, D.T.J. (2022) Alpha blocking and $1/f\beta$ spectral scaling in resting EEG can be accounted for by a sum of damped alpha band oscillatory processes. *PLoS Comput. Biol.*, 18(4), e1010012. doi: 10.1371/journal.pcbi.1010012
12. Fernandez, T., Harmony, T., Rodriguez, M., Reyes, A., Marosi, E., & Bernal, J. (1993) Test-retest reliability of EEG spectra parameters during cognitive tasks. I. Absolute and relative power, *Int. J. Neurosci*, 68, 255–261.
13. Fillips, Ch. (2012) Kreativ i obraznoe myshlenie: 50 50 zadach dlya trenirovok [Creative and imaginative thinking: 50+50 tasks for training] *Rossiya Moskva: Jeksmo*. 192 (in Russian).
14. Finke, R. A. (1985) Theories relating mental imagery to perception, *Psychological Bulletin*. 98(2):236–259. doi: 10.1037//0033-2909.98.2.236.

15. Finnigan S., & Robertson I. H. (2011) Resting EEG theta power correlates with cognitive performance in healthy older adults. *Psychophysiology*, 48(8), 1083–1087. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.01173.x
16. Guselnikov V. I. (1976) *Elektrofiziologiya golovnogo mozga: kurs lektsiy*. [Electrophysiology of the brain: course of lectures] Rossiya Moskva: Vysshaya shkola, 423 (in Russian).
17. Harmony, T, Fernández, T, Silva, J, Bosch, J, Valdés, P, Fernández-Bouzas, A, Galán, L., Aubert, E., & Rodríguez, D. (1999) Do specific EEG frequencies indicate different processes during mental calculation? *Neurosci Lett*. 266(1), 25–8. doi: 10.1016/s0304-3940(99)00244-x
18. Hartoyo, A, Cadusch, P. J., Liley, D. T., & Hicks, D. G.. (2020) Inferring a simple mechanism for alpha-blocking by fitting a neural population model to EEG spectra. *PLoS computational biology*. 16(4):e1007662. pmid:32352973
19. Karatyigin, N. A. (2015) *Elektrofiziologicheskie korrelyaty razlichnoy rezul'tativnosti intellektualnoy deyatel'nosti: dissertatsiya*. [Electrophysiological correlates of different efficiency of intellectual activity] Rossiya Moskva: NII normalnoy fiziologii RAMN, Rossiya, (in Russian).
20. Karpova, V. V., & Dikaya, L. A. (2014) Osobennosti funktsionalnykh svyazey koryi mozga u ispytuemykh s raznyim urovnem produktivnosti obraznoy tvorcheskoy deyatel'nosti [Features of the functional connections of the cerebral cortex in subjects with different levels of productivity of figurative creative activity] *Rostov-na-Donu: Severo-Kavkazskiy psikhologicheskii vestnik*, 12(2), 42–46 (in Russian).
21. Klimesch, W, Schimke, H, & Schwaiger, J. (1994) Episodic and semantic memory: an analysis in the EEG theta and alpha band. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol*. 91, 428–441.
22. Klimesch, W. (1999) EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res. Brain Res. Rev.*, 29, 169–195.
23. Lazarev, V. V. (2006) The relationship of theory and methodology in EEG studies of mental activity. *Int. J. Psychophysiol*, 62, 384–393.
24. Maksymovych, K. Yu. (2011) *Neirofiziologichni mekhanizmy spryiniattia informatsii v rizni fazy menstrual'nogo tsykladu u zhinok: dysertatsiia*. [Neurophysiological mechanisms of information perception in different phases of the menstrual cycle in women] Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv (in Ukrainian).
25. Mitchell, D. J, McNaughton, N, Flanagan, D, & Kirk, I. J. (2008) Frontal - midline theta from the perspective of hippocampal «theta». *Progress in Neurobiology*, 86, 156–185.
26. Petsche, H, Lacroix, D, Lindner, K, Rappelsberger, P, & Schmidt-Henrich, E. (1992) Thinking with images or thinking with language: a pilot EEG probability mapping study. *Int. J. Psychophysiol*, 12, 31–39.
27. Polunina, A. G., & Lefterova, N. P. (2012) *Topografiya spektralnykh kharakteristik bioelektricheskoy aktivnosti golovnogo mozga v sostoyanii pokoya* [Topography of the spectral characteristics of the bioelectrical activity of the brain at rest] Rossiya Moskva: *Vestnik nevrologii, psikiatrii i neyrokhirurgii*, 4, 48–54 (in Russian).
28. Rominger, C, Papousek, I, Perchtold, C. M, Weber, B, Weiss, E. M, & Fink, A. (2018) The creative brain in the figural domain: Distinct patterns of EEG alpha power during idea generation and idea elaboration. *Neuropsychologia*. pii:S0028-3932(18)30070-8. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.02.013.
29. Tarasova, I. V. (2007) *Elektrofiziologicheskiy analiz polovnykh osobennostey polusharnoy organizatsii obraznogo i verbal'nogo tvorcheskogo myshleniya: dissertatsiya*. [Electrophysiological analysis of gender characteristics of the hemispheric organization of figurative and verbal creative thinking] Rossiya Novosibirsk: Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie «Nauchno-issledovatel'skiy institut fiziologii i fundamentalnoy meditsiny» RAMN (in Russian).
30. Thüerer, B., Stockinger, C., Focke, A., Putze, F., Schultz, T., & Stein, T. (2016) Increased gamma band power during movement planning coincides with motor memory retrieval. *NeuroImage*, 125, 172–181.

Tretyak T.O., PhD student, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Drehval I.V., PhD (Biological Sciences), Associate professor, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Severinovskaya E.V., Doctor (Biological Sciences), Professor, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Characteristics of the eeg of female biology students with different efficiency of visual and imaginary thinking

Achieving a high result in mental activity provides a visual-figurative type of thinking as a component of the individual characteristics of a person's intellectual activity. Female biology students with different indicators took part in the study of mental activity on the visual-figurative type of thinking. Using the DX-NT32.V19 hardware and software complex, registration and primary analysis of brain EEG activity was carried out. As a result of the research, it was established that during the successful completion of visual thinking tasks, the total number of functional connections decreases due to a decrease in interhemispheric relationships, but intrahemispheric coherence increases.

Functional connections in all EEG bands indicate the transmission of information through the corpus callosum, which creates conditions for performing cognitive tasks with the help of rapid analysis. There is a «territorial narrowing» and strengthening of interactions in the frontal, temporal and parietal regions. This gives reason to assume that the effectiveness of visual thinking depends on a high level of knowledge and skills stored in specific areas of the cortex (temporal and parietal) and the coherence of the work of the frontal areas, which can establish connections with «polymodal» and «supermodal» elements of the temporal and parietal zones.

Thus, according to the results of our research, effective visual thinking corresponds to higher values of spectral power in the β_2 -subband and lower power in the α -band of the EEG, coherence patterns of the right hemisphere in the β_1 -subband of the EEG and an increase in spatial complexity, and the strength of coherent connections in θ -stripes with numerous long

interhemispheric interactions, which is characteristic when performing creative tasks. In cases of increasing the efficiency of figurative thinking, a significant functional connection is established in the δ -band in the posterior parts of the cortex and short interhemispheric intersymmetric synchronizations, which is explained by the inhibitory processes of active attention to extraneous stimuli, thanks to which the integration of individual elements during the imaginary creation of images is possible. Also, the probability of achieving a high result is related to the visual-spatial strategy of performing the task, the simultaneous way of the cognitive process, the inhibition of motor programs and the reduction of concentration on the task itself.

Key words: *visual thinking; bioelectric activity of the brain; mental activity; cognitive activity; functional connections.*