

УДК 612.82/83

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2025-1-64-75

Ольга Ігорівна Подковка

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Військовий інститут

ol.podkovka@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-3606-5098>

Микола Юхимович Макарчук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Навчально науковий центр «Інститут біології та медицини»

makarchuk_mykola@knu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0982-3463>

Наталія Борисівна Філімонова

Київський національний університету імені Тараса Шевченка

Військовий інститут

filimonova@knu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5133-3003>

Ігор Володимирович Пампуха

Київський національний університету імені Тараса Шевченка

Військовий інститут

pamp@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4807-3984>

Микола Миколайович Нікіфоров

Київський національний університету імені Тараса Шевченка

Військовий інститут

nik.nikif@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2849-5688>

Віталій Миколайович Лоза

Київський національний університету імені Тараса Шевченка

Військовий інститут

lozich@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8050-3614>

Катерина Олексіївна Кравченко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

kravchenkoea250388@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8140-1759>

ОСОБЛИВОСТІ ВІКОВИХ ЗМІН ОРГАНІЗАЦІЇ АКТИВНОСТІ ГОЛОВНОГО МОЗКУ ЛЮДИНИ ПІД ЧАС ТЕСТУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ГОЛОВНОГО МОЗКУ

Мета. У статті представлено результати когерентного аналізу електроенцефалограми представників різних військових професій, яких було розділено на три вікові групи (I група – 18-23 роки, $n=16$; II група – 24-34 роки, $n=19$; III група – 35-54 роки, $n=12$), під час проходження тестів на визначення працездатності головного мозку.

Результати. Найменшу кількість помилок було виявлено у учасників II групи. Цей результат було досягнуто за рахунок оптимальної нейромережі та вищої зв'язаності мозку у θ - та α -діапазонах, і нейромережі у $\beta 2$ -діапазоні, яка окрім центральних та тім'яних ділянок (як в I і III групах) в більшій мірі залучала зорові ділянки (когерентні зв'язки O1 – Pz та O2 – P4).

Найбільш сформована та розгалужена мережа в δ -, θ - та α -діапазонах була у представників III групи, що може бути пов'язано з необхідністю залучення ділянок пов'язаних з контролем моторики та увагою задля функціональної компенсації зниженням когнітивних функцій і швидкості моторного планування та підтримання належної продуктивності виконання завдання з віком. **Висновки.** Результати даної роботи можуть бути використані для розроблення процедур контролю профпридатності з віком та ефективного профвідбору.

Ключові слова: працездатність головного мозку, електроенцефалограма, когерентність, профвідбір.

Постановка проблеми. Аналіз останніх публікацій. Будь-який вид діяльності вимагає високих швидкісних показників, що відображаються в реакції, швидкості мислення тощо. Працездатність головного мозку (ПГМ) характеризує здатність безпомилково виконувати роботу впродовж тривалого часу, здатність до кропіткої, можливо, одноманітної роботи, посидючисть. ПГМ за А.Є. Хільченко визначається за показниками кількості помилок шляхом реєстрації реакцій обстежуваного на пред'явлення умовних подразників у швидкому темпі протягом декількох хвилин [1]. За І.П. Павловим ПГМ є критерієм сили нервової системи, який виражається у здатності витримувати довготривале та концентроване збудження, або дію сильного подразника, не переходячи в стан запорогового гальмування [2]. Добре відомо, що старіння впливає на когнітивні функції, що відображається на часу реакції та кількості помилок. За допомогою електроенцефалографічних (ЕЕГ) досліджень було показано, що старіння супроводжується зменшенням зв'язаності головного мозку, знижується активність в α - та β -діапазонах при закритих та відкритих очах, топологія мереж стає більш стохастичною [3]. Марсіані зі співавт. [4] у своїх дослідженнях показали, що під час виконання ментальних завдань у старшій віковій групі порівняно з молодшою повільно-хвильова активність була дещо знижена, або не змінювалась суттєво, тоді як α -активність прогресивно знижувалася, демонструючи негативну кореляцію з віком у старшій групі. Активність у β 2-діапазоні, навпаки, значно збільшувався у літніх осіб, але така зміна менше корелювала з віком.

Мета дослідження. Ми припустили, що тест на визначення ПГМ та особливості ЕЕГ когерентностей під час його виконання можуть бути корисними інструментами для виявлення вікових змін у діяльності мозку. Тому метою нашої роботи було дослідження вікових відмінностей у функціонуванні нейромереж мозку під час виконання тесту на визначення ПГМ у представників різних військових професій для подальшого введення процедур контролю профпридатності з віком та ефективного профвідбору.

Матеріали та методи дослідження. В обстеженні взяло участь 47 добровольців (з них 9 жінок), віком 18-54 роки, без скарг на здоров'я – представники різних військових професій (механіки, стрільці, водії, оператори радіолокаційної станції, службовці зенітно-ракетних військ, зв'язківці, планшетисти, льотчики та призовники військкомату), яких було розділено на три вікові групи (I група – 18-23 роки, $n=16$ (з них 3 жінки); II група – 24-34 роки, $n=19$ (з них 3 жінки); III група – 35-54 роки, $n=12$ (з них 3 жінки)).

"Тест на визначення працездатності головного мозку" (ПГМ) було здійснено за допомогою спеціалізованої комп'ютерної програми [1]. Обстежуваному пред'являлись у випадковій послідовності 3 види зображень – коло, квадрат та трикутник. При появі квадрата на екрані потрібно якомога швидше натиснути клавішу "q", трикутника – "z" у латинському регістрі, кола – нічого не натискати. але у темпі, який був індивідуально зафіксований на основі "Тесту на визначення функціональної рухливості нервових процесів" (ФРНП), який обстежувані проходили безпосередньо перед тестом «ПГМ». При цьому реєструвалась тільки кількість помилок. Показник ПГМ обчислювався як відносна кількість помилок для 1-200 стимулів. Критичним рівнем значущості при тестуванні статистичних гіпотез вважали 0,05.

Статистичний аналіз був здійснений за допомогою пакету програм Statistica 8.0 («StatSoft», USA). Оскільки розподіл ПГМ за критерієм Шапіро-Вілка відрізнявся від

нормального ($p < 0,05$), то для оцінки центральної тенденції використовували медіану (Me), а розкиду – міжквартильний розмах [25%; 75%]. Подальший аналіз впливу фактору віку та попарних відмінностей був здійснений за допомогою критерія Крускала-Волліса та Манна-Вітні.

Для реєстрації та аналізу ЕЕГ був використаний комплекс Нейрон-Спектр-4/VP («NeuroSoft»). Запис проводився у звукоізолюванні кімнаті, монополярно, з частотою квантування 500 Гц, референтні електроди були розташовані на мочках вух. У дослідженні були використані мостикові посріблені електроди, які накладали відповідно до міжнародної системи 10-20, формуючи 19 відведень: Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, C3, C4, Cz, T3, T4, T5, T6, P3, P4, Pz, O1, O2. За допомогою програми Нейрон-Спектр у кожному відведенні для діапазонів частот ЕЕГ: δ (0,5-3,9 Гц), θ (4,0-7,9 Гц), α (8,0-13,9 Гц), β_1 (14,0-19,9 Гц) і β_2 (20,0-35,0 Гц), були розраховані когерентності для кожної пари електродів.

Дистантну синхронізацію зон мозку при виконанні тестових завдань визначали за допомогою когерентного аналізу. Середнє значення функції когерентності залежить від наявності шуму в сигналах. Так, якщо він становить більше як 30-40%, стає проблематичним виділення сигналу на фоні шуму і, як наслідок, твердження про високу синхронізацію в різних відведеннях. Крім того, для кожної гармоніки на межі двох сусідніх епох, що аналізуються, внаслідок ефекту витікання спектру виникають додаткові бічні піки, які можуть становити більше 40% амплітуди центрального піку. Ефект впливає на значення фазової когерентності, а отже, і на значення когерентності. Тим самим коефіцієнт когерентності дає завищену оцінку щодо ступеня синхронізації процесів, тому достовірною когерентність можна вважати тільки якщо вона $\geq 0,7$ [5]. Саме тому в ПГМ визначалася достовірна синхронізація тільки для тих пар відведень, для яких медіана $\geq 0,7$.

Результати та їх обговорення. Аналіз впливу фактору віку на здійснення ПГМ у трьох групах за критерієм Крускала-Волліса виявив значущі відмінності (Kruskal-Wallis test: $H(2, N=49) = 6,952$; $p=0,0309$). Аналіз попарних відмінностей за критерієм Манна-Уїтні виявив, що відносна кількість помилок була значуще меншою у II групі, ніж у I ($p<0,01$) (Рис.1) та не відрізнялася для I і III та II і III груп ($p=0,39$ та $p=0,52$ відповідно). Цікаво, що найменшу кількість помилок у тесті на ПГМ допускала саме II група, а розкид значень по цьому показнику був найбільший у III групі (Рис 1).

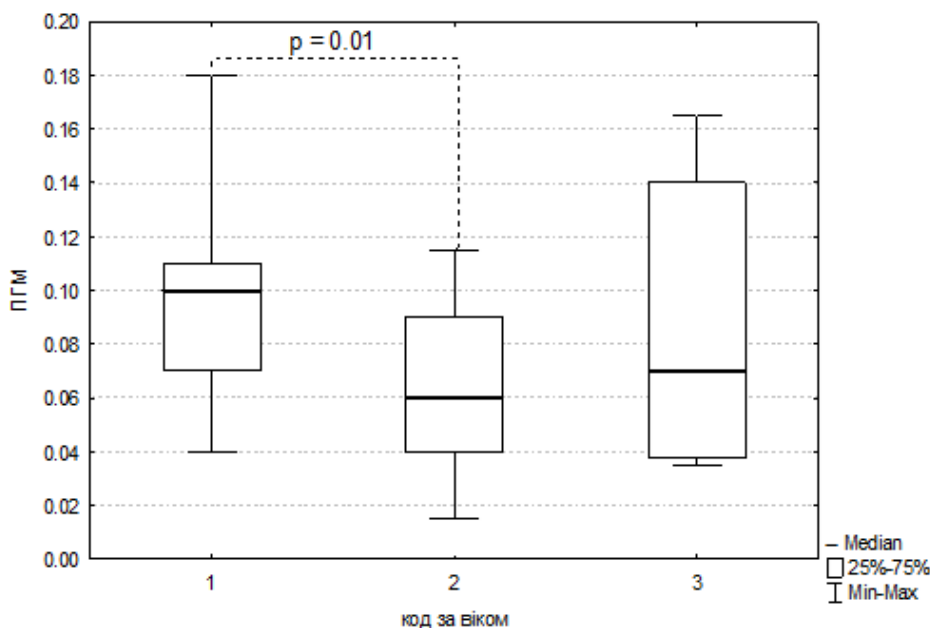


Рис. 1. Відносна кількість помилок при здійсненні тесту на визначення працездатності головного мозку в трьох вікових групах: I група – 18-23 роки ($n=16$); II група – 24-34 років ($n=19$) та III група – 35-54 роки ($n=12$).

У I групі кількість помилок при проходженні тесту на ПГМ була найбільшою (Рис.1). Отримані результати можуть бути пов'язані з тим, що військовослужбовці II та III вікових груп пройшли природний відбір впродовж служби, а ті з них, хто мав недостатні рівні ПГМ при цьому відсіялись. Також наше попереднє дослідження виявило, що представники I групи мають найнижчий рівень функціональної рухливості нервових процесів (ФРНП) порівняно з II та III групами, тоді як у III групі - найвищий [6]. Це вказує на те, що значення ПГМ, як і ФРНП є показником, який в більшій мірі залежить від індивідуальних особливостей ЦНС, ніж від віку. Дані тестів на ФРНП та ПГМ у II і III групах підтверджують, що чим вище ФРНП, тим нижче ПГМ, оскільки вимагає посидючості та здатності тривало концентруватись на монотонній роботі. В той час як ФРНП – навпаки, вказує на здатність швидко переключатись між різними стимулами, між збудженням і гальмуванням [6]. Крім того, в попередніх дослідженнях ми встановили, ці показники мають коефіцієнт кореляції Спірмена $r_s = -0,2$ ($p=0,00001$; $N=732$). Також у попередній роботі ми показали, що індекс напруги (ІН) регуляторних систем організму при виконанні тесту на визначення ПГМ не відрізнявся у трьох групах, а під час проходження тесту на ФРНП мав значуще вищий рівень для III групи в порівнянні з I ($p<0,01$) [7], тому можна припустити, що представники III групи вичерпали свої ресурси при виконанні тесту на ФРНП, що призвело до гіршої ПГМ.

Хоча нейронні схеми у деяких регіонах мозку, які пов'язані із переробкою зорово-моторної інформації у різних людей однакові, патерни зв'язків з іншими областями мозку, наприклад, з лобною корою, можуть варіюватись [8]. Тому так важливо дослідити характер формування нейромереж у осіб з відмінною ПГМ.

Для дослідження вікових відмінностей у формуванні нейромереж головного мозку у діапазоні кожної з частот був здійснений аналіз когерентностей між всіма відведеннями ЕЕГ у трьох групах. Оскільки показник ПГМ був найкращим у представників II групи, варто звернути особливу увагу на відмінності у формуванні їхніх нейромереж під час виконання завдання для виявлення ознак, які в подальшому можуть бути використані в якості прогностичних маркерів у процесі профвідбору та моніторингу вікових змін для визначення профпридатності військових.

Когерентний аналіз ЕЕГ показав, що у всіх трьох групах була спеціалізована лівопівкульна нейромережа, сформована здебільшого у діапазонах θ - та α -частот (Рис.2). У I та III групах вона виявилась надлишковою, до того ж, у I групі мала не достатню зв'язаність, і лише в II групі була оптимальною для досягнення найменшої кількості помилок. Зокрема, ізольовані фронтальні зв'язки правої півкулі ($F4 - Fp2$ та $F4 - F8$) в I групі у θ - і α -діапазонах свідчать про надлишкову обробку зображень, на що витрачався додатковий час при виконанні тестів на визначення ПГМ. У II групі зображення виявляються здебільшого на вербальному рівні (відведення $T3 - C3$, $T4 - C4$).

Серед когерентних зв'язків із достовірною синхронізацією у δ -діапазоні вплив віку був виявлений для пар відведень $O2 - P4$ ($H(2, N=30)=7,356$, $p=0,0253$) та $O2 - T6$ ($H(2, N=30)=7,364$, $p=0,0252$), що були наявні лише у представників III групи (Рис.2). Хоча для когерентності між парю відведень $O1 - P3$ впливу віку виявлено не було, вона існувала лише в III групі та вірогідно відрізнялась від I групи ($p=0,0307$). Когерентні зв'язки між відведеннями $T6 - Cz$, $T6 - C4$ та $T6 - P4$ також були наявні лише в III групі та достовірно відрізнялися від II групи ($p=0,0537$, $p=0,0201$ та $p=0,0141$ відповідно).

Коливання δ -діапазону (1–4 Гц), частіше за все пов'язують зі станами глибокого сну та порушенням функції нейронів [9]. Останні висновки сприяють переконанню, що низькочастотні коливання можуть справді заважати активній обробці. У відповідності з цією точкою зору, Фріс і його колеги показали, що поряд із посиленням γ -синхронізації уваги спостерігається очевидне зниження низькочастотної (δ і θ) активності. Проте інші вчені повідомляють, що низькочастотна осциляційна синхронія може бути посилена увагою [9]. У будь-якому випадку, останні відкриття показують, що коливання δ -діапазону можуть функціонувати як інструмент вибіркової уваги [9]. Коливання у δ -діапазоні відповідає за

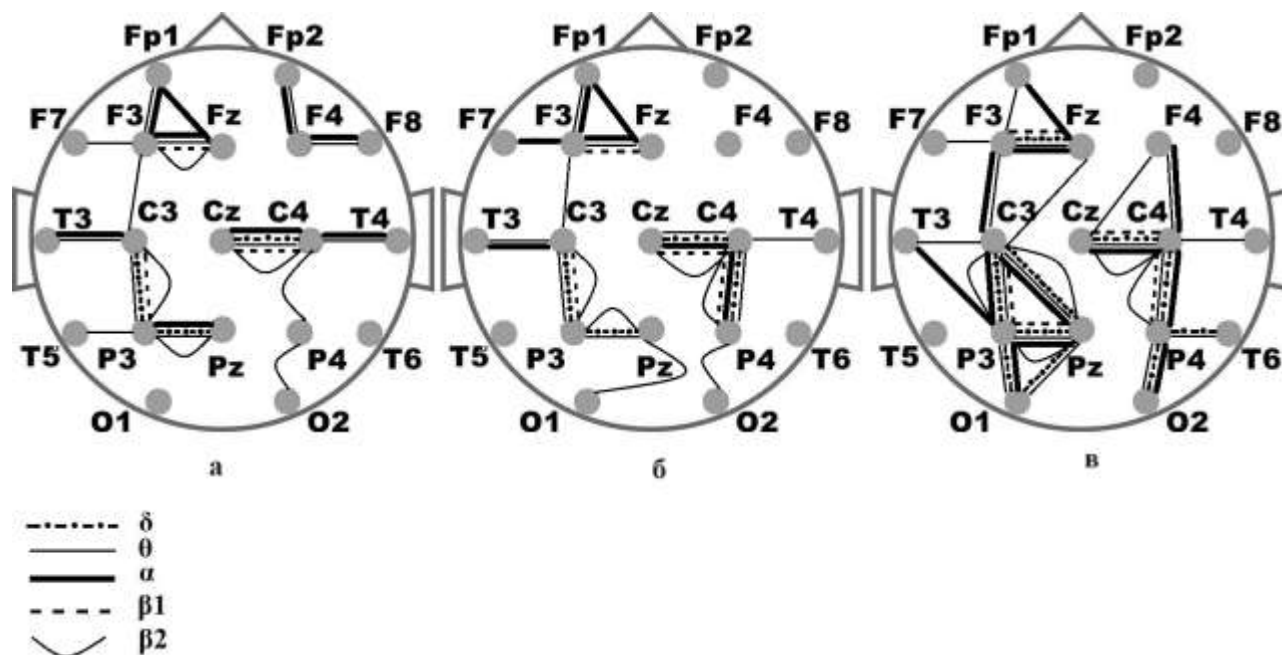


Рис.2. Когерентний аналіз ЕЕГ в трьох вікових групах під час здійснення тесту на визначення працездатності головного мозку: а) I група – 18-23 роки (n=11); б) II група – 24-34 років (n=13); в) III група – 35-54 роки (n=6).

роботу уваги в ритмічному режимі, підсилюючи відповідні входи та відсіюючи нерелевантні. Таким чином відбувається економія ресурсу, коли режим безперервної уваги до стимулів не є необхідним [10]. Оскільки у нашому дослідженні потік стимулів був неоднорідним і вимагав сталої концентрації уваги, збільшена δ -синхронізація у III групі могла негативно вплинути на якість виконання завдання.

У δ -діапазоні основними відмінностями між II і III групами була наявність центрально-скроневої та парієтально-скроневої зв'язків у правій півкулі. Зона T6 відповідає 37-й зоні Бродмана правої півкулі (задня нижня скронева звивина, середня скронева звивина і веретеноподібна звивина) [11], асоціюється з мовленнєвими функціями, пам'яттю (розпізнавання справжніх та помилкових спогадів, кодування епізодичної пам'яті), візуальними функціями (розпізнавання обличч, візуальна обробка руху, візуальна фіксація, структурні оцінки знайомих об'єктів, постійна увага до кольору та форми) та деякими іншими функціями [12]. Cz відповідає 5-й зоні Бродмана лівої півкулі (вторинна сенсомоторна кора; вторинна асоціативна сенсомоторна кора; верхня тім'яна частка) [11], її функції пов'язані з обробкою хаотичних патернів, просторовою уявою та дедуктивними судженнями, сприйняттям особистого простору, обробкою жестів при використанні інструментів, руховою уявою, виконанням рухів, дзеркальними нейронами та деякими іншими функціями [12]. Наявність зв'язку T6 – Cz у представників III групи може вказувати на посилену просторову увагу при виконанні завдання та промовляння назв фігур «про себе» перед тим, як натиснути відповідну клавішу. Зв'язок T6 – C4 – це активація первинної соматосенсорної кори (постцентральної звивини, 1, 2, 3 зони Бродмана, що відповідають відведенням C4, C3 [11]), яка є частина глобальної рухової нейромережі та відповідає за пропріорецептивну чутливість пальців, довільні рухи руки та моторні навички [12]. Відведення P4 відповідає 39 зоні Бродмана (частина нижньої тім'яної частки, каудальний край внутрішньотім'яної борозни, кутова звивина, частина області Верніке) [11], яка в даному випадку може бути залучена до просторової концентрації уваги, зорово-просторової обробки, виконавчого контролю поведінки, перехресній модальній асоціації між соматосенсорною, аудіальною та візуальною інформацією [12]. Відведення O1 та O2

відповідає 18 зоні Бродмана (вторинна зорова кора, середня потилична звивина [11] та окрім візуальної обробки залучена у виявлення закономірностей, розпізнавання жестів пальців рук (O2), підтримання постійної уваги до кольору та форми [12]. Згідно з функціональними дослідженнями, вона також бере участь в інших функціях, пов'язаних із зором, таких як візуальний праймінг [12]. Зв'язки O2 – P4, O2 – T6, O1 – P3, що були лише в III групі у даному випадку могли виявитись надлишковими та підвищити час загальної реакції.

Серед пар відведень, для яких вплив віку був статистично значущим, достовірні когерентності у θ -діапазоні були відзначені для відведень C3 – Fz, ((H (2, N=30)=8,432, $p=0,0148$), P3 – Fz (H (2, N=30)=7,883, $p=0,0194$), Pz – Fz (H (2, N=30)=7,369, $p=0,0251$), Pz – C3 (H (2, N=30)=9,780, $p=0,0075$), Pz – P3 (H (2, N=30)=10,425, $p=0,0054$), в усіх трьох групах, а для O1 – P3 (H (2, N=30)=6,581, $p=0,0372$), O2 – T6 (H (2, N=30)=7,310, $p=0,0259$) лише в III групі (Рис.2), що підтверджує дані про збільшення структурної зв'язності потиличної частки в задніх відділах мозку з віком [13]. Крім того, синхронізація достовірно відрізнялася між I і III групою ($p=0,0120$) та II і III групою ($p=0,0437$), при чому в I і II групі цей зв'язок був сформований довшим шляхом (C3 – F3 – Fz), а в III групі як довгим, так і коротшим прямим шляхом (C3 – Fz), що вказує на надлишковість нейромережі та може свідчити про те, що підвищена зв'язність сенсомоторної мережі пов'язана з надмірною залежністю від сенсомоторного зворотного зв'язку під час виконання рухів, що компенсує недостатню когнітивну регуляцію моторних областей під час сенсомоторних реакцій у старшій віковій групі [14].

Когерентності між відведеннями P3 – Fz, Pz – Fz, Pz – C3, Pz – P3 також вірогідно відрізнялись між I і III ($p=0,0138$, $p=0,0348$, $p=0,0307$ і $p=0,0049$ відповідно) та II і III групами ($p=0,0110$, $p=0,0159$, $p=0,0007$ і $p=0,0029$ відповідно). Так само, як і для C3 – Fz, зв'язок Pz – C3 у III групі був представлений двома варіантами – довгим, як у I і II групах (Pz – P3 – C3) і прямим коротшим шляхом (Pz – C3). Тобто, в θ -діапазоні у представників III групи проявлявся додатковий фронтальний контроль первинної соматосенсорної кори, що є характерним для літніх людей [15] з підвищеним рівнем уваги у зв'язку з активаціями парієтальної кори. Ці дані також узгоджуються із дослідженнями Кабеза зі співавторами [16], які виявили збільшення префронтальної та тім'яної активності у людей старшого віку під час виконання завдань на оперативну пам'ять, зорову увагу та епізодичне відтворення. Збільшення префронтальної активності пояснюється необхідністю функціональної компенсації потиличного скорочення, що призводить до зниження сенсорної обробки – загальної причини когнітивного старіння [16]. Крім того, відомо, що фронтальної обробки вимагають складні когнітивні процеси [17]. Наприклад, було показано, що бімодальна сенсорна стимуляція індукувала значне збільшення θ -відповіді фронтальній ділянці [17]. Тому можна зробити висновок, що у даному завданні така активація була надлишковою.

Хоча для зв'язку Pz – Fp1 впливу віку виявлено не було, він був наявний у всіх групах, але достовірно відрізнявся між I і III групою ($p=0,0500$). Когерентності Pz – T3, P3 – C3 також були виявлені в усіх групах, та істотно відрізнялися між II і III групами ($p=0,0393$, $p=0,0253$). Зв'язки T6 – F4, O2 – P4 були наявні лише в III групі та достовірно відрізнялися для I і III ($p=0,0394$, $p=0,0500$) та II і III групи ($p=0,0317$, $p=0,0253$ відповідно). Лі зі співавторами у своєму дослідженні також відмічають особливості префронтально-скроневої зв'язків у людей похилого віку [13], а саме, що структурний зв'язок префронтальної кори зі скроневою часткою повністю опосередкований товщиною скроневої кори, що свідчить про те, що морфологія мозку відіграє важливу роль у функціональній та структурній реорганізації при старінні. Когерентність Pz – F7 була в I і III групах, та достовірно відрізнялась між II і III групами ($p=0,0537$). P3 – F3, Pz – F3 були наявні у всіх групах, але також істотно відрізнялись для II і III груп ($p=0,0179$, $p=0,0226$ відповідно). O1 – F3, O1 – Fz, Cz – F4, C4 – F4, O2 – F4, O1 – T3, O1 – C3, O1 – P3, O2 – T6 були лише в III групі та достовірно відрізнялись між II і III групами ($p=0,0317$, $p=0,0437$, $p=0,0283$, $p=0,0485$, $p=0,0353$, $p=0,0353$, $p=0,0393$, $p=0,0097$, $p=0,0075$ відповідно).

Загалом, θ -мережа формується під конкретне завдання, реагує на помилки та відповідає за цілеспрямовану увагу, зростає в умовах, коли частота виникнення стимулу не є регулярною, в той час як δ – навпаки – відповідає за роботу уваги в ритмічному режимі, підсилюючи відповідні входи та відсіюючи нерелевантні. Таким чином відбувається економія ресурсу, коли режим безперервної уваги до стимулів не є необхідним [10]. Коли ж відповідні стимул не мають ритму, увага працює у безперервному режимі, максимізуючи чутливість системи пригнічуючи коливання нижчої частоти та використовуючи переваги розширених безперервних коливань γ -діапазону. [10].

Серед пар відведень, для яких був показаний вплив віку достовірна синхронізація в α -діапазоні була виявлена для Pz – Fp1, P3 – Fp1 Pz – F3, P3 – Fz, P3 – F3, Pz – Fz, O1 – Fz, Pz – C3, P3 – C3 лише у III групі та Pz – P3 у I і III групах (Рис. 2а,в). Серед них зв'язки, що мали вірогідні відмінності між I і III групою включали Pz – Fp1 ($p=0,0307$), Pz – F3 ($p=0,0394$), P3 – Fz ($p=0,0090$) Pz – Fz ($p=0,0138$), Pz – C3 ($p=0,0348$), Pz – P3 ($p=0,0077$) та між II і III групами – P3 – Fp1 ($p=0,0201$), Pz – Fp1 ($p=0,0038$), P3 – F3 ($p=0,0097$), Pz – F3 ($p=0,0050$), P3 – Fz ($p=0,0018$), Pz – Fz ($p=0,0021$), O1 – Fz ($p=0,0110$), P3 – C3 ($p=0,0075$); Pz – C3 ($p=0,0226$). Хоча для відведень C3 – F3, O1 – F3, C3 – Fz, C4 – F4, P4 – F4, O2 – F4, O2 – P4 впливу віку виявлено не було, вони істотно відрізнялись між II і III групами ($p=0,0485$ $p=0,0226$ $p=0,0437$ $p=0,0437$ $p=0,0437$ $p=0,0317$ та $p=0,0537$ відповідно) із достовірною синхронізацією у представників III групи (Рис.2в).

Не зважаючи на те, що історично, α -ритм вважається ритмом «холостого ходу», оскільки блокується при відкритті очей («пов'язана з подіями десинхронізація»), був зафіксований і зворотний ефект (посилення μ -ритмів під час обробки візуальної інформації, «пов'язана з подіями синхронізація») [10]. Гіпокампульні і ретикулярні α -ритми з частотою коливань 10 Гц є відносно незалежними від модальності, отже, можуть мати надмодальні функції [10]. Є дані, які демонструють, що α -активність сильно корелює з робочою пам'яттю і, ймовірно, з довготривалою пам'яттю [10]. Ці результати вказують на існування вибірково розподіленої α -системою, подібної до системи у γ -діапазоні. Пов'язані з подіями α -коливання можуть виконувати роль асоціативних механізмів наступним чином: коли сенсорний або когнітивний вхід викликає «ланцюги хвиль 10 Гц» у кількох структурах головного мозку, це може служити резонуючим сигналом. Співіснування викликаних α -коливань з α -блокуванням і пов'язаною з подіями десинхронізацією дозволяють інтерпретувати α -активність як функціональний та комунікативний сигнал з багатьма функціями [10].

Представники I та III групи відрізнялися від II надлишковою синхронізацією в α - і θ -діапазоні, що могло вплинути на час реакції та кількість помилкових відповідей. Найбільш сформована та розгалужена мережа в δ -, θ - та α -діапазонах була у представників III групи, що може бути пов'язано як із функціональною компенсацією, пов'язаною зі старінням, а також з тим, що після виконання тестів на ФРНП у III групі нейромережі не встигли перелаштуватись та виявились неадекватними у випадку ПГМ. Ці дані підтверджують загальні відомості про пов'язане з віком збільшення зв'язаності між нейромережами мозку та зниженням гнучкості нейромереж при переході від спокою до рухових завдань у зв'язку з нездатністю зупинити роботу нерелевантних нейромереж [18]. Крім того, гнучкість нейромереж у префронтальній корі асоційована з нижчою кількістю помилок при здійсненні моторних завдань, особливо у учасників старшої вікової групи [18]. Таке зниження гнучкості могло бути причиною того, що нейромережі учасників III групи не встигли перелаштуватись із виконання тестів на визначення ФРНП до тестів на ПГМ.

Оскільки серед пар відведень у $\beta 1$ діапазоні не було виявлено тих, що б мали медіану $\geq 0,7$ і могли б вважатись достовірно синхронізованими, ми не будемо розглядати описані відмінності. Можливим поясненням відсутності достовірних відмінностей у цьому діапазоні є те, що вищі частоти коливань потребують меншої площі кори високої когерентності, що ускладнює їх виявлення наявними методами дослідження. Наприклад, у дослідженні впливу

віку на синхронізацію ЕЕГ найбільші зміни були відмічені для α -діапазону частот (8–12.5 Гц), в той час як когерентність у β -смузі (13–29.5 Гц) показала граничні статистичні значення, а у σ -смузі (30–60 Гц) істотних відмінностей виявлено взагалі не було [19].

Серед відведень, для яких був показаний вплив віку достовірна когерентність у β 2-діапазоні була виявлена для відведення О1 – Рз у учасників II групи. Зв'язок О1 – Рз також мав достовірні відмінності між I і II групами ($p=0,0190$).

Активність у β -діапазоні у потилично-парієтальних ділянках, швидше за все, пов'язана із поведінкою, яка вимагає посиленої візуальної уваги [20]. Існує гіпотеза, що α -активність характеризує холосте збудження системи, в той час як β -сплески переводять мозок в стан уваги, який, забезпечує γ -синхронізацію та сприйняття [20]. Можливо, вищий показник ПГМ у представників II групи забезпечувався саме за рахунок наявності когерентного зв'язку О1 – Рз у β 2-діапазоні, який сприяв підвищенню візуальної уваги в умовах монотонного завдання.

Отже, виконання завдання з найменшою кількістю помилок учасниками II групи було досягнуто за рахунок оптимальної нейромережі та вищої зв'язаності мозку у θ - та α -діапазонах, що дало змогу підтримувати стабільну концентрацію уваги на монотонному завданні (θ -ритм), відсіюючи нерелевантні стимули (α -ритм) і спеціалізованої локальної нейромережі у β 2-діапазоні, яка окрім центральних та тим'яних ділянок (як в I і III групах) в більшій мірі залучала зорові ділянки (О1 – Рз, О2 – Р4).

Порівняльний аналіз зв'язності мозку в групах II та III при виконанні тесту ФРНП та ПГМ дозволив пояснити наявність негативного кореляційного зв'язку між цими показниками. Нейромережі, які є оптимальними для безпомилкового виконання монотонного однотипного завдання (ПГМ) та для швидкої адаптації до нових умов (ФРНП) [6] мають значущі відмінності. Так, в групі II при виконанні тесту ФРНП порівняно з ПГМ було виявлено додатковий зв'язок Fr2 та F4. Як уже зазначалось вище, кожену локалізацію відповідного відведення можна асоціювати з певною зоною Бродмана [11].

Кореляційний зв'язок вказує на наявність локальної мережі між зонами Бродмана 10 та 9, що свідчить про те, що у учасників II групи при виконанні завдання ФРНП підвищення уваги було пов'язано з посиленням здатності до саморегуляції та схильності до ризику [21]. Тобто вони сприймали завдання ідентифікації стимулів у темпі, який прискорювався як задачу в умовах підвищеного ризику. В той же час, у учасників III групи при виконанні тесту ФРНП сформувалась нейромережа F4 – C4 – P4 – O2, що відповідає зонам Бродмана 9, 6, 39 та 18, яка і зберіглась при виконанні тесту ПГМ. Як виявилось, ця мережа сприяє наявності більш високих показників ФРНП, але нижчих ПГМ. В цій нейромережі зона Бродмана 9 була пов'язана з зонами мозку, які залучаються до просторового пізнання, когнітивних процесів вищого порядку, інтерпретації сенсорних відчуттів [12]. Нейромережа Cz – C4 – T4 – P4 (відповідає зонам Бродмана 4, 7, 43 та 39), яка пов'язана з моторним контролем, тактильною інформацією від пальців рук та інтеграцією сенсорної інформації [12], була загальною для II і III груп обстежуваних. Відмінність між групами полягала в наявності в III групі зв'язків F4 – C4 та P4 – T6, тобто між зонами Бродмана 9 і 6 та 39 і 37. Когерентний зв'язок F4 – C4 пов'язаний з процесами планування послідовності рухів, навчання руховим діям, уявлення та підготовки рухів, формування рухових образів та ініціювання руху [12]. Регіони цієї нейромережі служать для сприйняття просторової інформації, просторової орієнтації та виявлення найбільш релевантних (внутрішніх або зовнішніх) стимулів для того, щоб визначати подальшу поведінку [22]. Нейромережу, яку було виявлено в III групі можна представити згідно з моделлю формування моторної відповіді, яка представлена в роботі Кона зі співавторами [22]. А саме, що після фази кодування сигналу, коли було виявлено стимул, який є поведінково релевантним, відбувається орієнтація уваги на відповідну репрезентацію стимулу. Ця операція опосередкована дорсальною лобово-тім'яною мережею. На другому етапі серед ідентифікованих стимулів визначаються пріоритети із залученням передньої інсули, лобової звивини і вентролатеральної префронтальної кори, а також,

можливо, пре-моторної кори або передньої сигнулярної кори. На третьому кроці обрана репрезентація стимулу переформатовується в образ моторної відповіді, який орієнтований на дію. Така складна нейромережа виявилась оптимальною при ідентифікації стимулів, які подаються в максимально динамічному темпі, але надмірною при монотонній роботі у визначеному темпі. Різниця в організації нейромереж між групами II та III в лівій півкулі полягала в відмінностях взаємозв'язків між відведеннями F3 – Fz – C3 – Pz (відповідають зонам Бродмана 38, 9, 6, 7). В III групі при проходженні обох тестів в більшій мірі активувались процеси внутрішньої мови, розуміння та осмислення її, а також процеси обробки абстрактної інформації [12]. Зазначимо, що 38-а зона Бродмана пов'язана з контролем та гальмуванням поведінкових реакцій [12], що узгоджується з нашими попередніми висновками [6], стосовно того, що учасники III групи мали кращі показники ФРНП за рахунок більш високої активності в α -діапазоні, яка пов'язана з пригніченням нерелевантної інформації. Зона Бродмана 9 відноситься до дорсолатеральної префронтальної кори та відповідає за увагу, самоконтроль та оперативну пам'ять [12]. Вона відіграє важливу роль у різних виконавчих функціях і фактично, є організуючою зоною мозку [12]. Результати аналізу моделей активації головного мозку на основі двох різних типів рухових зображень вказують на активацію скроневої та тім'яної частки лівої півкулі при пред'явленні кінестетичних рухових образів, а під час процесу візуально-рухових зображень була задіяна права півкуля мозку [23]. Виявлені нейромережі у учасників III групи свідчать про залучення складних процесів ідентифікації стимулів як статичних образів в їх лівій півкулі. Ці процеси були надмірними для вирішення задач тесту ПГМ. Вони призводили до більшої кількості помилкових реакцій порівняно з учасниками II групи, які сформували локальні, специфічні нейромережі уваги, розпізнавання стимулу та формування моторної відповіді.

Оскільки успіх у різних військових професіях залежить від різних властивостей нервової системи (наприклад, для стрільців важлива висока швидкість реакції та здатність до тривалої концентрації, для операторів – здатність витримувати інформаційне перенавантаження без позамежного гальмування, для планшетистів – здатність до кропінки, можливо, одноманітної роботи, посидючисті і т.д.), то в майбутньому показники індивідуально-типологічних характеристик нервової системи, особливості формування нейромереж та механізмів регуляції системи кровообігу мають бути вивчені для кожної спеціальності окремо з метою створення універсального профілю професій.

Висновки. При проходженні тесту на визначення ПГМ найкращі результати показали учасники II групи. Це вказує на те, що значення ПГМ є показником, який в більшій мірі залежить від індивідуальних особливостей ЦНС, ніж від віку. Когерентний аналіз ЕЕГ показав, що у представників II групи сформувалась оптимальна лівопівкульна мережа під задачу здебільшого у θ - та α -діапазонах, а зв'язки між тім'яними та потиличними ділянками були сформовані лише у діапазоні β 2-частот на відміну від III групи, де синхронізація відбувалась у діапазонах δ , θ та α -частот та I групи, в якій зв'язаність була недостатньою. Крім того, відмінності за фактором віку були показані для зв'язку між відведеннями O1 – Pz, який був наявний лише у учасників II групи, що могло сприяти підтриманню стабільної концентрації уваги на завданні. Таким чином, можемо припустити, що основну роль для досягнення найкращого результату у тесті на працездатність головного мозку грає нейромережа у β 2-діапазоні (особливо у потилично-тім'яній ділянці), в той час як надлишкові зв'язки у низькочастотних діапазонах (δ , θ та α) навпаки – призводять до більшої кількості помилок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Філімонова Н.Б. Комп'ютерна експрес-методика для визначення психофізіологічного стану людини. Культура здоров'я як предмет освіти: матер. II Міжнар. наук.-метод. конф., Херсонський держ. пед. ун-т., 2000. С. 204-209.
2. Макаренко Н.В. Психофизиологические функции человека и операторский труд: К.: Наук. думка, 1991. 216 с.
3. Javaid H., Kumarnsit E., Chatpun S. Age-Related Alterations in EEG Network Connectivity in Healthy Aging. *Brain Sciences*. 2022. Vol. 12(2). P. 218. <https://doi.org/10.3390/brainsci12020218>

4. Marciani M. G., Maschio M., Spanedda F., Caltagirone C., Gigli G. L., & Bernardi G. Quantitative EEG Evaluation in Normal Elderly Subjects During Mental Processes: Age-Related Changes. *International Journal of Neuroscience*. 1994. Vol. 76(1–2). P. 131–140. <https://doi.org/10.3109/00207459408985998>
5. Kulaichev A. P. The informativeness of coherence analysis in EEG studies. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2011. Vol. 41(3). P. 321.
6. Подковка О. І., Макачук М. Ю., Філімонова Н. Б., Пампуха І. В., Нікіфоров М. М., Лоза В. М., Кравченко К. О. Особливості вікових змін організації активності головного мозку людини під час тестування функціональної рухливості нервових процесів. *Фізіологічний журнал*. 2024. Т. 70(5). С. 11-19. <https://doi.org/10.15407/fz70.05.011>.
7. Подковка О. І., Макачук М. Ю., Філімонова Н. Б., Пампуха І. В., Нікіфоров М. М. Стан основних психофізіологічних функцій у військовослужбовців різного віку. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2022. Т. 89(2). С. 23-27. DOI 10.17721/1728.2748.2022.89.23-27.
8. Черненко-Курагіна Н. П. Фізіологічні характеристики розумової діяльності людей з різними індивідуально-типологічними властивостями вищої нервової діяльності при низькому темпі переробки інформації. *Вісник Черкаського університету*. 2016. Т. 1. С. 120-125.
9. Schroeder C. E., Lakatos P. Low-frequency neuronal oscillations as instruments of sensory selection. *Trends in Neurosciences*. 2009. Vol. 32(1). P. 9-18.
10. Basar E., Basar-Erog'lu, C., Karakas, S., Schürmann M. Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG? *Neuroscience Letters*. 1999. Vol. 259. P. 165–168.
11. Rojas G. M., Alvarez C., Montoya C.E., de la Iglesia-Vayá M., Cisternas J.E., & Gálvez M. Study of resting-state functional connectivity networks using EEG electrodes position as seed. *Frontiers in Neuroscience*. 2018. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00235>
12. [Електронний ресурс] URL: <http://www.fmriconsulting.com/brodmann/Interact.html>
13. Lee A., Ratnarajah N., Tuan T.A., Chen S.H., Qiu A. Adaptation of brain functional and structural networks in aging. *PLoS One*. 2015. Vol. 10(4): e0123462. doi: 10.1371/journal.pone.0123462.
14. Yordanova J., Falkenstein M., & Kolev V. Aging alters functional connectivity of motor theta networks during sensorimotor reactions. *Clinical Neurophysiology*. 2024. Vol. 159. P. 97-109.
15. Seidler R.D., Bernard J.A., Burutolu T.B., et al. Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neurosci Biobehav Rev*. 2010. Vol. 34(5). P. 721-733. doi:10.1016/j.neubiorev.2009.10.005.
16. Cabeza R., Daselaar S.M., Dolcos F., Prince S.E., Budde M., Nyberg L. Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention and episodic retrieval. *Cereb Cortex*. 2004. Vol. 14(4). P. 364-375. doi:10.1093/cercor/bhg133.
17. Basar, E. (1998). *Brain Function and Oscillations. II. Integrative Brain Function. Neurophysiology and Cognitive Processes*. Berlin: Springer.
18. Monteiro T.S., King B.R., Zivari Adab H., Mantini D., Swinnen S.P. Age-related differences in network flexibility and segregation at rest and during motor performance. *NeuroImage*. 2019. Vol. 194. P. 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.03.015>.
19. Vysata O., Kukal J., Prochazka A., Pazdera L., Simko J., Valis M. Age-related changes in EEG coherence. *Neurol Neurochir Pol*. 2014. Vol. 48(1). P. 35-38. DOI: 10.1016/j.pjnns.2013.09.001.
20. Wróbel A. Beta activity: a carrier for visual attention. *Acta Neurobiol. Exp*. 2000. Vol. 60. P. 247-260.
21. Studler M., Gianotti L.R.R., Koch K., et al. Local slow-wave activity over the right prefrontal cortex reveals individual risk preferences. *Neuroimage*. 2022. Vol. 253: 119086. doi:10.1016/j.neuroimage.2022.119086.
22. Cona G., Scarpazza C. Where is the "where" in the brain? A meta-analysis of neuroimaging studies on spatial cognition. *Hum Brain Mapp*. 2019. Vol. 40(6). P. 1867-1886. doi: 10.1002/hbm.24496. PMID: 30600568; PMCID: PMC6865398.
23. Kwon S., Kim J., & Kim T. Neuropsychological activations and networks while performing visual and kinesthetic motor imagery. *Brain Sciences*. 2023. Vol 13(7). P. 983. <https://doi.org/10.3390/brainsci13070983>.

REFERENCES

1. Filimonova N. B. (2000). The Computer's Express Method for the Designation of a Psychophysiological Status of People. In: The 2nd International Sci-Methods Conference Health Culture as an Object of Education. Kyiv, Ukraine. P. 204-209. [in Ukrainian].
2. Makarenko N. V. (1991). Psychophysiological functions of a person and operator work. *Naukova dumka [Scientific opinion]*. [in Russian].
3. Javaid H., Kumarnsit E., & Chatpun S. (2022). Age-Related Alterations in EEG Network Connectivity in Healthy Aging. *Brain Sciences*. 2022. Vol. 12(2). P. 218. <https://doi.org/10.3390/brainsci12020218>
4. Marciani M. G., Maschio M., Spanedda F., Caltagirone C., Gigli G. L., & Bernardi, G. (1994). Quantitative EEG Evaluation in Normal Elderly Subjects During Mental Processes: Age-Related Changes. *International Journal of Neuroscience*. Vol. 76(1–2). P. 131–140. <https://doi.org/10.3109/00207459408985998>
5. Kulaichev, A. P. (2011). The informativeness of coherence analysis in EEG studies. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. Vol. 41(3). P. 321.

6. Podkovka O. I., Makarchuk M. Y., Filimonova N. B., Pampuha I. V., Nikiforov M. M., Loza V. M., Kravchenko K. O. (2024). Peculiarities of the Age-Related Changes in the Organization of Brain Activity of Servicemen, Which Determine the Functional Motility of Nervous Processes. *Fiziologichnyi zhurnal [Physiological Journal]*. Vol. 70(5). P. 11–19. <https://doi.org/10.15407/fz70.05.011>
7. Podkovka O. I., Makarchuk M. Y., Filimonova N. B., Pampuha I. V., Nikiforov M. M. (2022). State of the main psychophysiological functions in military servants of different age groups. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv*. Vol. 89(2). P. 23–27. <https://doi.org/10.17721/1728.2748.2022.89.23-27> [in Ukrainian].
8. Chernenko-Kurahina N. P. (2016). Physiological characteristics of mental activity of people with different individual typological properties of higher nervous activity at a low rate of information processing. *Visnyk Cherkaskoho universytetu [Bulletin of Cherkasy University]*. Vol. 1. P. 120–125. [in Ukrainian].
9. Schroeder C. E., & Lakatos P. (2009). Low-frequency neuronal oscillations as instruments of sensory selection. *Trends in Neurosciences*. Vol. 32(1). P. 9–18.
10. Basar E., Basar-Erog˘lu C., Karakas, S., & Schu˘rmann M. (1999). Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG? *Neuroscience Letters*. Vol. 259. P. 165–168.
11. Rojas G. M., Alvarez C., Montoya C. E., de la Iglesia-Vayá M., Cisternas J. E., & Gálvez M. (2018). Study of resting-state functional connectivity networks using EEG electrodes position as seed. *Frontiers in Neuroscience*. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00235>
12. [Electronic resource]. URL: <http://www.fmriconsulting.com/brodmann/Interact.html>
13. Lee A., Ratnarajah N., Tuan T. A., Chen S. H., & Qiu A. (2015). Adaptation of brain functional and structural networks in aging. *PLoS One*. Vol. 10(4), e0123462. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123462>
14. Yordanova J., Falkenstein M., & Kolev V. (2024). Aging alters functional connectivity of motor theta networks during sensorimotor reactions. *Clinical Neurophysiology*. Vol. 159. P. 97–109.
15. Seidler R. D., Bernard J. A., Burutolu T. B., et al. (2010). Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. Vol. 34(5). P. 721–733. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.10.005>
16. Cabeza R., Daselaar S. M., Dolcos F., Prince S. E., Budde M., & Nyberg L. (2004). Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention, and episodic retrieval. *Cerebral Cortex*. Vol. 14(4). P. 364–375. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhg133>
17. Basar E. (1998). Brain Function and Oscillations. II. Integrative Brain Function. *Neurophysiology and Cognitive Processes*. Berlin: Springer.
18. Monteiro T. S., King B. R., Zivari Adab H., Mantini D., & Swinnen S. P. (2019). Age-related differences in network flexibility and segregation at rest and during motor performance. *NeuroImage*. Vol. 194. P. 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.03.015>
19. Vysata O., Kukal J., Prochazka A., Pazdera L., Simko J., Valis M. (2014). Age-related changes in EEG coherence. *Neurology and Neurochirurgia Polska*. Vol. 48(1). P. 35–38. <https://doi.org/10.1016/j.pjnns.2013.09.001>
20. Wróbel A. (2000). Beta activity: a carrier for visual attention. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*. Vol. 60. P. 247–260.
21. Studler M., Gianotti L. R. R., Koch K., et al. (2022). Local slow-wave activity over the right prefrontal cortex reveals individual risk preferences. *NeuroImage*. Vol. 253, 119086. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119086>
22. Cona G., & Scarpazza, C. (2019). Where is the "where" in the brain? A meta-analysis of neuroimaging studies on spatial cognition. *Human Brain Mapping*. Vol. 40(6). P. 1867–1886. <https://doi.org/10.1002/hbm.24496>
23. Kwon S., Kim J., & Kim T. (2023). Neuropsychological activations and networks while performing visual and kinesthetic motor imagery. *Brain Sciences*. Vol. 13(7). P. 983. <https://doi.org/10.3390/brainsci13070983>

Podkovka O. I., Makarchuk M. Y., Filimonova N. B., Pampuha I. V., Nikiforov M. M., Loza V. M., Kravchenko K. O.

Features of Age-Related Changes in the Organization of Human Brain Activity During Cognitive Performance Testing.

Introduction. Any type of activity requires high-speed indicators, which are reflected in reaction time, thinking speed, etc. Cognitive performance characterizes the ability to perform tasks flawlessly over an extended period, the ability for painstaking, possibly monotonous work, and perseverance. Thus, this indicator together with peculiarities of the neuron networks formation are useful markers for assessment of individual suitability for certain work and monitoring professional skills.

Purpose. To investigate age-related differences in the functioning of brain neural networks during a test assessing cognitive performance in representatives of various military professions, with the aim of implementing age-based professional suitability control procedures and effective personnel selection.

Methods. Forty-seven healthy volunteers, representing various military professions, aged 18-54 years, were divided into three groups (Group I – 18-23 years, $n=16$; Group II – 24-34 years, $n=19$; Group III – 35-54 years, $n=12$). They underwent a test to determine cognitive performance using an authorial computer-based methodology. Simultaneously, electroencephalogram (EEG) recordings were made, followed by coherence analysis.

Result. Comparative analysis using the Mann-Whitney test revealed that the relative number of errors was significantly lower in Group II compared to Group I ($p<0.01$), with no differences observed between Groups I and III or II and III ($p=0.39$ and $p=0.52$, respectively). The Kruskal-Wallis test revealed differences across the three groups in connections with significant synchronization in the δ -range for O2 – P4 and O2 – T6 (only present in Group III), in the θ -range for C3 – Fz, P3 – Fz, Pz – Fz, Pz – C3, Pz – P3 (present in all three groups) and for O1 – P3, O2 – T6 (only in Group III); in the α -range for Pz – Fp1, P3 – Fp1, Pz – F3, P3 – Fz, P3 – F3, Pz – Fz, O1 – Fz, Pz – C3, P3 – C3 (only in Group III) and Pz – P3 (in Groups I and III), and in the β_2 -range for the O1 – Pz connection (only present in Group II). Such increased connectivity in Group III in the θ - and α -ranges in the frontal, parietal and occipital regions could be due to functional compensation of reduced sensory processing, which is the common reason of cognitive aging.

Originality. Age-related adaptive changes of the neural during testing of the brain performance are revealed. In context of our previous work on functional motility of nervous processes, the current study shows the difference between neuron network performance in people with an individual predisposition to error-free performance of a monotonous, repetitive task (brain performance test) and for rapid adaptation to new conditions (test on the functional motility of nervous processes).

Conclusion. The performance of the task with the fewest errors in Group II was achieved due to an optimal neural network and higher brain connectivity in the θ - and α -ranges, as well as in the β_2 -range, which, in addition to central and parietal regions (as in Groups I and III), more actively involved visual regions (O1Pz, O2P4).

Key words: cognitive performance,, electroencephalogram, coherence, professional selection.

Надійшла до редакції / Received: 21.04.2025

Схвалено до друку / Accepted: 16.05.2025