

УДК 612.82/83

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2022-1-63-73

Подковка Ольга Ігорівна

аспірант кафедри фізіології людини і тварин
Київський національний університет імені Т. Шевченка
ННЦ «Інститут біології та медицини»
ol.podkovka@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3606-5098>

Макарчук Микола Юхимович

доктор біологічних наук, професор
Київський національний університет імені Т. Шевченка
ННЦ «Інститут біології та медицини»
makarchuk_mykola@knu.ua

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

Філімонова Наталія Борисівна

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник
Київський національний університет імені Т. Шевченка
Військовий інститут
filimonova@knu.ua

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

Пампуха Ігор Володимирович

кандидат технічних наук, доцент
Київський національний університет імені Т. Шевченка
Військовий інститут
pamp@ukr.net

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

Нікіфоров Микола Миколайович

Кандидат військових наук, старший дослідник
Київський національний університет імені Т. Шевченка
Військовий інститут
nik.nikif@ukr.net

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

НЕЙРОФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ЗДІЙСНЕННЯ ПРОСТОЇ СЕНСОМОТОРНОЇ РЕАКЦІЇ У ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ РІЗНОГО ВІКУ

Апаратно не було виявлено статистичних відмінностей у швидкості простої сенсомоторної реакції у військовослужбовців різного віку, однак паралельно із здійсненням простої сенсомоторної реакції когерентний ЕЕГ-аналіз показав, що з віком у здійсненні такої реакції зростає роль вторинної зорової кори лівої півкулі, тоді як лівостороння фронтальна активація при цьому знижується. Отримані результати можуть свідчити про загальну зміну нейрофізіологічних механізмів обробки інформації та реагування на неї, коли з віком зменшується роль стратегічної системи формування відповіді на користь системи виділення інформативних ознак при підвищеному рівні уваги.

Ключові слова: проста сенсомоторна реакція; електроенцефалографія; когерентний аналіз; вікові зміни; профвідбір.

Постановка проблеми. Аналіз останніх публікацій

Низька швидкість обробки інформації є суттєвим фактором ризику виникнення психологічного стресу та різноманітних психологічних розладів. Крім того загальні розумові здібності людини давно пов'язують з хронометричними показниками

ефективності її діяльності. Час реакції є суттєвим обмеженням при прийнятті рішення і є визначальним елементом компромісу між швидкістю та точністю, які характеризують якість більшості рішень. Простою сенсомоторною реакцією (ПСМР) називають час елементарного руху у відповідь на відомий подразник, який раптово з'являється, але є очікуваним. Прикладом ПСМР може бути натискання кнопки або клавіши у відповідь на візуальний чи аудіальний сигнал. Швидкість ПСМР має дві складові - латентний період (ЛП) та моторний період [1]. ЛП реакції визначається як проміжок часу від моменту появи стимулу до початку моторної відповіді, тобто він включає в себе час збудження рецепторів, передачі сигналів від периферії до центру аферентних шляхів, переробки інформації в ЦНС, прийняття рішення про формування моторної відповіді, надсилання команди до виконавчих органів (ефекторів) та розвитку збудження в ефекторах, тобто це є показник швидкості нервово-психічних процесів. Моторний період складається з часу виконання руху та є показником швидкості скорочення м'язів (роботи ефекторів та м'язових волокон). Для різних видів професійної діяльності визначальними є швидкість процесів обробки інформації, що обумовлює інтерес до дослідження ЛП ПСМР. ЛП є важливим показником, що корелює із процесами збудження у центральній нервовій системі (ЦНС) [1], тому він може бути використаний для аналізу базових когнітивних функцій людини [2]. Швидкість та ефективність процесів сприйняття інформації та її інтеграція є важливими параметрами, які показують, наскільки добре базові когнітивні механізми можуть бути залучені до здійснення цільових завдань. ПСМР у нормальних умовах є відносно сталим показником, тому його зміни можуть бути використані для контролю, прогнозування та корекції ментального стану людини [2]. Крім цього, тривалість ЛП є важливим параметром, який свідчить про рівень психофізичної готовності до виконання моторних завдань взагалі [3].

Загальновідомо, що старіння супроводжується змінами в швидкості та/або режимі обробки інформації в мозку [4]. Хоча раніше вважалося, що старіння більше впливає на вищі когнітивні процеси, ніж на нижчі (сенсорні та моторні), наразі існують докази того, що взаємозалежність між вищими когнітивними та нижчими сенсорними/сенсомоторними процесами стає сильнішою з віком [5]. Що стосується внеску нижчих сенсомоторних процесів в уповільнення поведінки у літніх людей, попередні дослідження задокументували зниження дофамінергічної системи нейромедіаторів у старішому мозку людини і, більш конкретно, втрату дофамінових рецепторів у смугастому тілі та позастріальних областях [6], що було пов'язано з основними порушеннями рухових функцій. Було продемонстровано, що інтракортикальне гальмування та фасилітація первинних рухових областей зменшуються у людей похилого віку [5]. Такі висновки свідчать про те, що насамперед сенсомоторні функції змінюються в літньому віці, і ці зміни можуть впливати на продуктивність навіть в умовах простого завдання.

Існують дані, що старіння супроводжується функціональною дизрегуляцією збудливості моторної кори під час сенсомоторної обробки, причому цей дефект стає все більш очевидним із більшою складністю завдання [5]. Так, наприклад, автори даного дослідження продемонстрували значне уповільнення, пов'язане зі старінням (середній вік групи 58,3), але лише при здійсненні завдання на реакцію вибору [5].

Оскільки швидкість ПСМР визначає якість виконання завдань для певних професій, важливо визначити вік, для якого буде необхідно вводити процедури контролю за швидкістю цих реакцій та відповідності професійним вимогам. Тому актуальною задачею є дослідження будь-яких змін ПСМР з віком.

Мета. Дослідити швидкість ПСМР в різних вікових групах військових та визначити специфічні нейромережі, які були задіяні при виконанні цього завдання.

Матеріали та методи дослідження

В обстеженні взяло участь 43 праворуких чоловіки добровольці, 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), з яких в подальшому для здійснення когерентного аналізу було обрано 34 та сформовано три групи (1 група – 18-23 роки, $n=11$; 2 група – 24-34 роки, $n=15$; 3 група – 35-54 роки, $n=8$). Дев'ять учасників було виключено з дослідження у зв'язку з великою кількістю артефактів у записах ЕЕГ та неможливістю подальшої обробки даних.

ПСМР була визначена за допомогою спеціалізованої комп'ютерної програми [7]. Для реєстрації ПСМР на екрані комп'ютера була інструкція, згідно з якою обстежуваний мав реагувати на появу зображення (квадрата) якомога швидше, натисканням будь-якої клавіші. Після цього з'явилося слово «Пуск», 2 с були дані для фокусування, після чого перші 15 зображень (квадратів) були надані для адаптації та виключені з подальшого аналізу. Потім послідовно були пред'явлені ще 100 зображень основної групи. Пауза між ними була обрана випадково з інтервалу 500-600 мс, так що наступний сигнал очікувався, але звикання до ритму появи зображень не відбувалося. Зображення зникало після натискання будь-якої клавіші, у іншому випадку його пред'явлення тривало 1500 мс. Точність реєстрації ЛП ПСМР становила 10 мс. Швидкість ПСМР (Simple Response Time, SRT, мс) розраховували як середнє значення 100 реакцій обстежуваної групи. Під час виконання тесту реєстрували ЕЕГ. Статистичний аналіз був здійснений за допомогою пакету програм Statistica 8.0 («StatSoft», USA). Критичним рівнем значущості при тестуванні статистичних гіпотез вважали 0,05. Оскільки розподіл ПСМР 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 відмінностей у швидкості здійснення ПСМР був визначений за допомогою критерія Крускала-Волліса.

Для реєстрації та аналізу ЕЕГ був використаний комплекс Нейрон-Спектр-4/VP («NeuroSoft»). Запис проводився у звукоізолюваній 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 $\geq 0,7$ [8]. Саме тому в ПСМР визначалася достовірна синхронізація тільки для тих пар відведень, для яких медіана $\geq 0,7$.

Результати та їх обговорення

Порівняльний аналіз швидкості ПСМР в трьох групах за критерієм Крускала-Волліса не виявив значущих відмінностей (Kruskal-Wallis test: $H(2, N=54) = 0,889$; $p=0,64$) (Рис.1.).

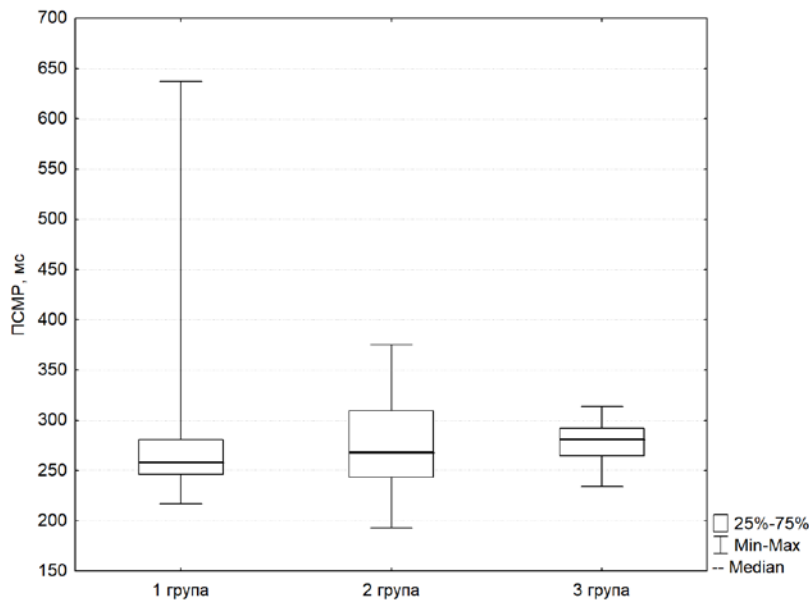


Рис. 1. Швидкість ПСМР в трьох вікових групах: I група – 18-23 роки (n=11); II група – 24-35 років (n=15) та III група – 36-54 роки (n=8).

Когерентний аналіз електроенцефалограм, реєстрація яких проводилась під час виконання завдання виявив, що у нейрональних механізмах здійснення ПСМР були відмінності між трьома віковими групами.

У першій групі спостерігалась когерентність між правими і лівими фронтальними ділянками (F4-Fp2, F4-F8 та F3-Fz, F3-Fp1, Fz-Fp1, F3-F7) в альфа діапазоні; F3-Fz, F3-Fp1, F3-F7 – в тета діапазоні; F3-Fz – в діапазонах дельта і бета1 (Рис.2а).

В той час як у другій групі зв'язок зберігався лише між відведеннями F4-Fp2, FzFp1, FzF3, F3-F7 в альфа діапазоні, F3-Fp1, F3-Fz – в тета діапазоні, F3-Fz – дельта і бета1 (Рис.2б). Третя група характеризувалась наявністю когерентностей між відведеннями F4-Fp2 в тета діапазоні, а також F3-Fz - в тета, альфа і бета1 діапазонах (Рис.2в).

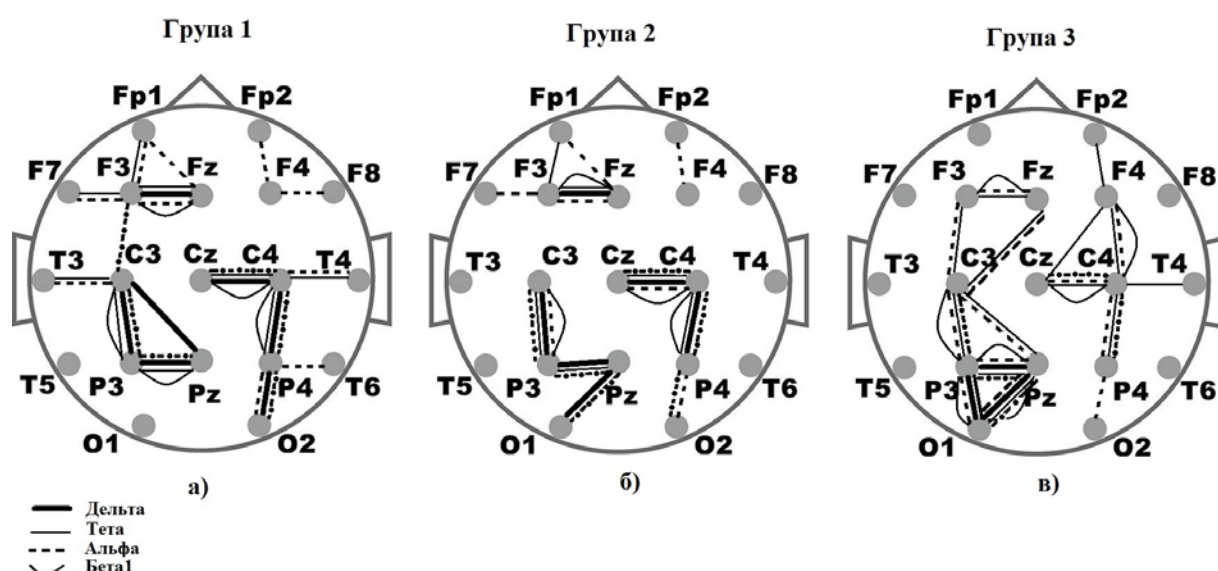


Рис. 2. Когерентний аналіз ЕЕГ в трьох вікових групах: а) I група – 18-23 роки (n=11); б) II група – 24-35 років (n=15); в) III група – 36-54 роки (n=8).

Відведення F3, F4, Fz відповідають 8 зоні за Бродманом (частина префронтальної кори, латеральна і медіальна додаткова моторна зона (supplementary motor area (SMA)) [9], яка здійснює руховий контроль, виконавчий контроль поведінки, бере участь у зорово-просторовій та зорово-моторній увазі [10]. Відведення F8 відповідає 45 зоні Бродмана (трикутна частина нижньої фронтальної звивини) [9], однією з функцій якої є інгібування моторної відповіді [10]. Тому можна припустити, що зв'язок F4-F8, який був наявний лише в першій групі, дозволяє здійснювати реакцію більш координовано і чітко. Дослідження на тваринах також виявили зменшення гальмівних синапсів у сенсомоторній корі, що свідчить про віковий дефіцит внутрішньої гальмівної схеми [11]. Когерентність між відведеннями F3-F7 в альфа діапазоні наявні у I та II групах (Рис. 2а, 2б), а в тета – лише в першій (Рис.2а). Відведення F7 відповідає 47 зоні Бродмана (орбітальна частина нижньої лобної звивини) [9], яка бере участь в семантичній обробці та семантичному кодуванні, а також виконавчих функціях [10].

Зазначимо, що нещодавно був виявлений тракт білої речовини – фронтальний косий тракт (frontal aslant tract (FAT)), який з'єднує додаткову моторну кору і латеральну верхню фронтальну звивину з нижньою фронтальною звивиною (відповідає відведенням F4-F8 та F3-F7) та відіграє роль у мовленнєвих функціях (швидкість мовлення, ініціювання та гальмування мовлення, створення речень і лексичне рішення), робочій пам'яті, зорово-моторній діяльності, соціально-комунікативних завданнях, увазі та обробці музики [12].

Крім того, відведення Fp1, Fp2 відповідають 10 зоні Бродмана (середня фронтальна звивина) [9] і задіяні у виконавчому контролі поведінки, виявленні та обробці помилок [10], тому когерентності між відведеннями F3-Fp1 та Fz-Fp1, які наявні лише у I і II групах можуть свідчити про більш активне залучення стратегічної системи виділення цілі та прийняття рішень [13] в порівнянні з третьою групою, де в більшій мірі активується зорова та парієтальна кора.

У всіх трьох групах відбувалась активація первинної соматосенсорної кори (постцентральна звивина, 1, 2, 3 зони Бродмана, що відповідають відведенням C4, C3 [9]), яка є частина глобальної рухової нейромережі та відповідає за пропріорецептивну

чутливість пальців, довільні рухи руки та моторні навички [10]. Але саме у третій групі їхній зв'язок з фронтальними зонами мозку виражений в найбільшій мірі (когерентності між відведеннями C3-F3, C3-Fz, Cz-F4, C4-F4). Раніше було показано, що роль фронтального контролю під час здійснення рухів збільшується з віком [14]. До того ж, у третій групі тета активність між префронтальною зоною та постцентральною звивиною є найбільш вираженою в порівнянні з першою та другою групами, що може свідчити про збільшення ролі візуальної селективної уваги [15] з віком при виконанні ПСМР. Delorme зі співавторами пояснюють наявність фронтальних низьких тета-комплексів активністю кори, індукованої паралімпічними процесами, які залучені до розгальмування імпульсивних моторних відповідей на стимули або події, що приносять винагороду або досягнення мети [15]. В той же час відомо, що збільшення тета активності корелює зі складністю завдання та емоційним фактором [16], тому можна припустити, що з віком здійснення ПСМР потребує більших зусиль та концентрації. Крім того, нещодавно у дослідженні із залученням 7T фМРТ було показано, що первинна контралатеральна моторна кора та первинна контралатеральна соматосенсорна кора активуються не лише під час виконання простого руху пальцем, але і під час його планування [17]. Таким чином, можна припустити, що підготовчі стани в S1 можуть покращити контроль руху через зміни сенсорної обробки або через прямий вплив на спинномозкові моторні нейрони [17].

У першій групі спостерігалась когерентність між відведеннями C4-T4 в тета та альфа діапазонах (Рис.2а), в той час як в третій групі – лише в тета діапазоні (Рис.2в). Відведення Т4 відповідає 21 зоні Бродмана (мультимодальна задня область, середня скронева звивина) [9], що бере участь у спостереженні за рухом, а зліва ще і у генеруванні слів [10]. Зв'язаність C3-T3 спостерігалась лише у першій групі в альфа і тета діапазонах (Рис.2а). Активація Т3 (42 зона за Бродманом – первинна слухова кора, звивина Гешля) [9] може бути пов'язана з внутрішнім представленням звуків мови, основною обробкою слухових стимулів (мовних і немовних) [10], тобто, вірогідно, при появі стимулу (квадрат) обстежувані першої групи відмічали це вербально про себе. У всіх трьох групах спостерігалась когерентність між відведеннями P3-C3, P3-Pz, P4-C4 та P4-O2. Частотні характеристики були різні. Перша група: P3-C3, P3-Pz, P4-C4 когерентні в дельта, тета, бета1, бета2 діапазонах, P4-O2 – дельта, альфа, бета2 (Рис.1); друга група: P3-C3 – в дельта, тета, альфа, бета1, бета2, P4-C4 – дельта, тета, бета1, бета2, P3-Pz - дельта, тета, бета2, P4-O2 – в альфа, бета 2 діапазонах (Рис.2); третя група: P3-C3 - тета, альфа, бета1, бета2, P4-C4 - тета, альфа, бета2, P3-Pz – дельта, тета, альфа, бета1, бета2, P4-O2 – в альфа діапазоні (Рис.3). Відведення P3 та P4 відповідають 39 зоні Бродмана (частина нижньої тім'яної частки, каудальний край внутрішньотім'яної борозни, кутова звивина, частина області Верніке) [9], яка в даному випадку може бути залучена до просторової концентрації уваги, зорово-просторової обробки (P4), виконавчого контролю поведінки [10]. Кутова звивина — це кортикальна область, яка бере участь у перехресних модальних асоціаціях між соматосенсорною, аудіальною та візуальною інформацією [10]. Права кутова звивина бере участь у візуально-просторовій обробці [10]. Виявлене у нашому дослідженні вікове зниження когерентностей між вищезазначеними ділянками в дельта діапазоні та їхнє зростання в альфа діапазоні може свідчити про перехід від збільшеної внутрішньої концентрації та загального налаштування мозку на вхідний потік інформації з оцінкою правильних реакцій (дельта) [16] до більш високоспецифічної обробки інформації (альфа), оскільки знижений альфа ритм представляє більш загальну відповідь, пов'язана з рівнем уваги та складністю завдання [16]. Існує припущення, що залежна від подій синхронізація альфа ритму (event-related synchronization, ERS) відображає низхідні, гальмівні процеси контролю та відіграє активну роль для часу кортикального процесингу, тоді як залежна

від подій десинхронізація альфа активності (event-related desynchronization, ERD) відображає поступове зниження гальмування, пов'язане з появою складних процесів активації, що поширюються [18]. В той же час, було показано, що прості повторювані рухи рук викликали знижену активацію в контралатеральній сенсомоторній і премоторній корі старих порівняно з молодими людьми [5]. Можливо, таке зниження активації і було спричинене гальмівними впливами альфа осциляцій.

Відведення Pz відповідає зоні Бродмана 7 (вторинна сенсомоторна кора, верхня тім'яна часточка) [9] та бере участь у візуально-просторовій обробці інформації та пам'яті, виконанні рухів, зорово-моторній увазі [10]. Є дані, згідно з якими планування, відбувається у філогенетично новіших областях мозку - у нижній тім'яній частці, поряд з лобовими частками та базальними гангліями, тоді як контроль, здійснюється у більш древніх областях у верхній тім'яній частці разом із мозочком [19]. Тому можна припустити, що найвищий рівень координації між плануванням та здійсненням руху був у третій групі, оскільки тут спостерігалась когерентність між відведеннями P3-Pz у всіх досліджуваних діапазонах (дельта, тета, альфа, бета1, бета2).

Наявність зв'язку Pz-O1 у другій групі, а також Pz-O1 та P3-O1 у третій групі може свідчити про посилення ролі зорових ділянок кори у плануванні та здійсненні ПСМР. Окрім візуальної обробки вторинна зорова кора (18 зона Бродмана, що відповідає відведенням O1 та O2, середня потилична звивина [9]) залучена у виявлення закономірностей, розпізнавання жестів пальців рук (O2), підтримання постійної уваги до кольору та форми [10]. Згідно з функціональними дослідженнями, вона також бере участь в інших функціях, пов'язаних із зором, таких як візуальний праймінг [10]. Отже, можна припустити, що з віком у здійсненні ПСМР більшого значення набуває система виділення інформативних ознак (ліва зорова кора), в той час як у першій групі домінує система сприйняття образу в цілому (права зорова кора) [10], яка до того ж, пов'язана з відведенням T6 (37 зона Бродмана, задня нижня скронева звивина, середня скронева звивина і веретеноподібна звивина [9]), що бере участь у зоровій фіксації, структурних судженнях знайомих об'єктів, лексико-семантичних асоціаціях (тобто асоційовані слова з зоровими перцептами) [10]. Основна частина зони Бродмана 37 відповідає веретеноподібній звивині, яка дійсно є розширенням асоціативної зорової зони і виконує зорові функції [10]. Отже, її участь у складних візуальних функціях, таких як розпізнавання обличчя і структурне судження знайомих об'єктів, не є дивним [10]. У випадках патології правої півкулі спостерігаються порушення здатності малювати (конструкційна апраксія, або візуально-конструктивне порушення) [10]. Також відомо, що зв'язок між високими і низькими частотами забезпечує механізм контролю локалізованої нейронної обробки розподіленими мережами мозку [20]. Це ще раз підтверджує, що з віком збільшується значення вторинної зорової кори у контролі виконання ПСМР (Рис. 1в).

Висновки

1. Не було виявлено відмінностей в швидкості ПСМР в трьох вікових групах (18-23 роки, 24-35 років та 36-54 роки).
2. Було виявлено, що з віком у здійсненні ПСМР зростає роль вторинної зорової кори зліва, а лівостороння фронтальна активація знижується, що може свідчити про зменшення ролі стратегічної системи формування відповіді на користь системи виділення інформативних ознак та утримання постійної уваги на завданні.
3. У третій групі під час здійснення ПСМР когерентність в тета-діапазоні між префронтальною зоною та постцентральною звивиною була найбільш вираженою в порівнянні з першою та другою групами, що може свідчити про збільшення ролі

візуальної селективної уваги з віком, а також прикладання більших зусиль та концентрації уваги для виконання завдання.

4. З віком спостерігалось збільшення кількості когерентностей в альфа діапазоні та зниження в дельта діапазоні, що може бути пов'язано з переходом від загального налаштування на вхідний інформаційний потік до локальної більш високоспецифічної обробки інформації.

Перспектива подальших досліджень. Перспектива подальших досліджень полягає у визначенні вікових відмінностей під час здійснення ПСМР, реакції вибору та проходження інших психофізіологічних тестів для представників різних військових спеціальностей, а також виявлення відмінностей у нейрональних механізмах, які беруть участь у даних реакціях, для різних груп. В подальшому отримані дані будуть використані для створення методичних рекомендацій по проходженню обстежень для забезпечення ефективного виконання робочих обов'язків з віком.

Список використаної літератури

- Gulyar S. A., Filimonova N. B., Makarchuk M. Y., & Krivdiuk Y. N. Ocular influence of nano-modified fullerene light, 2: Time correlation of the choice and simple sensorimotor reactions that determine blinding compensation of the driver. *Journal of US-China Medical Science*. 2019. № 16(3). P. 105-115. <https://doi.org/10.17265/1548-6648/2019.03.001>.
- Shtofel D., Kostishyn S., Navrotska K., Zlepko S., & Tymchuk S. Reaction parameter and modified sensorimotor reaction method for assessment of functional potential of nervous system. *Биомедицинская инженерия и электроника*. 2018. № 1(20). С. 68-78. DOI: 10.6084/m9.figshare.5230345.
- Ermakov AV. Simple and complex sensomotor reaction for choice when teaching protection against armed attacker. In: Proceedings of the First International Volga Region Conference on Economics, Humanities and Sports (FICEHS 2019). Paris, France: Atlantis Press. 2019. P. 772-774. <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200114.185>.
- Schubert A-L., Hagemann D., Löffler C., Frischkorn G. T. Disentangling the Effects of Processing Speed on the Association between Age Differences and Fluid Intelligence. *Journal of Intelligence*. 2020. № 8(1). P. 1-20. <https://doi.org/10.3390/jintelligence8010001>
- Yordanova J., Kolev V., Hohnsbein J., & Falkenstein M. Sensorimotor slowing with ageing is mediated by a functional dysregulation of motor-generation processes: evidence from high-resolution event-related potentials. *Brain: A Journal of Neurology*. 2004. № 127(2). P. 351-362. <https://doi.org/10.1093/brain/awh042>.
- Smith C. T., Crawford J. L., Dang L. C., Seaman K. L., San Juan M. D., Vijay A., Katz D. T., Matuskey D., Cowan R. L., Morris E. D., Zald D. H., & Samanez-Larkin G. R.. Partial-volume correction increases estimated dopamine D2-like receptor binding potential and reduces adult age differences. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*. 2019. № 39(5). P. 822-833. <https://doi.org/10.1177/0271678X17737693>
- Filimonova N. 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. 2000. P. 204-209.
- Подковка О.І., Макарчук М.Ю., Філімонова Н.Б., Книр О.С., Пампуха І.В., Горбунов О.А. Нейрональні кореляти простої сенсомоторної реакції як маркери швидкості обробки інформації у ветеранів АТО/ООС. *Фізіологічний журнал*. 2021. № 67(6). С. 3-12. <https://doi.org/10.15407/fz67.06.003>.
- 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. № 12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00235>.
- <http://www.fmriconsulting.com/brodmann/Interact.html>
- Poe B. H., Linville C., & Brunso-Bechtold J. Age-related decline of presumptive inhibitory synapses in the sensorimotor cortex as revealed by the physical disector. *The Journal of Comparative Neurology*. 2001. № 439(1). P. 65-72. <https://doi.org/10.1002/cne.1335>.
- La Corte E., Eldahaby D., Greco E., Aquino D., Bertolini G., Levi V., Ottenhausen M., Demichelis G., Romito L. M. Acerbi, F. Broggi M., Schiariti M. P., Ferroli P., Bruzzone M. G., & Serrao G. The frontal aslant tract: A systematic review for neurosurgical applications. *Frontiers in Neurology*. 2021. № 12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.641586>.
- Volz K. G., Schubotz R. I., & von Cramon D. Y. Decision-making and the frontal lobes. *Current Opinion in Neurology*. 2006. № 19(4). P. 401-406. <https://doi.org/10.1097/01.wco.0000236621.83872.71>.

14. Calautti C., Serrati C., & Baron J.-C. Effects of age on brain activation during auditory-cued thumb-to-index opposition: A positron emission tomography study. *Stroke; a Journal of Cerebral Circulation*. 2001. № 32(1). P. 139–146. <https://doi.org/10.1161/01.str.32.1.139>.
15. Delorme A., Westerfield M., & Makeig S. Medial prefrontal theta bursts precede rapid motor responses during visual selective attention. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*. 2007. № 27(44). P. 11949–11959. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3477-07.2007>.
16. Harmony T., Fernández T., Silva J., Bernal J., Díaz-Comas L., Reyes A., Marosi E., Rodríguez M., & Rodríguez M. EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*. 1996. № 24(1–2). P. 161–171. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(96\)00053-0](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(96)00053-0).
17. Ariani G., Pruszynski J. A., & Diedrichsen J. Motor planning brings human primary somatosensory cortex into action-specific preparatory states. *eLife*. 2022. № 11. <https://doi.org/10.7554/eLife.69517>.
18. Klimesch W., Sauseng P., & Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews*. 2007. № 53(1). P. 63–88. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.06.003>.
19. Numasawa K., Miyamoto T., Kizuka T., & Ono S. The relationship between the implicit visuomotor control and the motor planning accuracy. *Experimental Brain Research*. 2021. № 239(7). P. 2151–2158. <https://doi.org/10.1007/s00221-021-06120-w>.
20. Mohan A., De Ridder D., & Vanneste S. Graph theoretical analysis of brain connectivity in phantom sound perception. *Scientific Reports*. 2016. № 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep19683>.

References

1. Gulyar, S. A., Filimonova, N. B., Makarchuk, M. Y., & Krivdiuk, Y. N. (2019). Ocular influence of nano-modified fullerene light, 2: Time correlation of the choice and simple sensorimotor reactions that determine blinding compensation of the driver. *Journal of US-China Medical Science*. 16(3). <https://doi.org/10.17265/1548-6648/2019.03.001>.
2. Shtofel, D., Kostishyn, S., Navrotska, K., Zlepko, S., & Tymchyk, S. (2018). Reaction parameter and modified sensorimotor reaction method for assessment of functional potential of nervous system. *Biomedicinskaya Inzeneriya i Elektronika. (Biomedical Engineering and Electronics)*. 1(20). 68-78. DOI: 10.6084/m9.figshare.5230345.
3. Ermakov, A. V. (2019). Simple and complex sensomotor reaction for choice when teaching protection against armed attacker. *Proceedings of the First International Volga Region Conference on Economics, Humanities and Sports (FICEHS 2019)*. <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200114.185>.
4. Schubert, A.-L., Hagemann, D., Löffler, C., & Frischkorn, G. T. (2019). Disentangling the effects of processing speed on the association between age differences and fluid intelligence. *Journal of Intelligence*. 8(1). 1. <https://doi.org/10.3390/jintelligence8010001>.
5. Yordanova, J., Kolev, V., Hohnsbein, J., & Falkenstein, M. (2004). Sensorimotor slowing with ageing is mediated by a functional dysregulation of motor-generation processes: evidence from high-resolution event-related potentials. *Brain: A Journal of Neurology*. 127(Pt 2). 351–362. <https://doi.org/10.1093/brain/awh042>.
6. Smith, C. T., Crawford, J. L., Dang, L. C., Seaman, K. L., San Juan, M. D., Vijay, A., Katz, D. T., Matuskey, D., Cowan, R. L., Morris, E. D., Zald, D. H., & Samanez-Larkin, G. R. (2019). Partial-volume correction increases estimated dopamine D2-like receptor binding potential and reduces adult age differences. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*. 39(5). 822–833. <https://doi.org/10.1177/0271678X17737693>.
7. Filimonova, N. 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. 2000. p. 204-209.
8. Podkovka, O. I., Makarchuk, M. Y., Filimonova, N. B., Knyr, O. S., Pampuha, I. V., Horbunov, O. A., (2021). Neural correlates of simple sensomotor reaction as markers of information processing speed in military veterans. *Fiziologichnyi Zhurnal (Journal of Physiology)*. 67(6). 3–12. <https://doi.org/10.15407/fz67.06.003> (in Ukr).
9. 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*. 12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00235>.
10. <http://www.fmriconsulting.com/brodmann/Interact.html>.
11. Poe, B. H., Linville, C., & Brunso-Bechtold, J. (2001). Age-related decline of presumptive inhibitory synapses in the sensorimotor cortex as revealed by the physical disector. *The Journal of Comparative Neurology*. 439(1). 65–72. <https://doi.org/10.1002/cne.1335>.
12. La Corte, E., Eldahaby, D., Greco, E., Aquino, D., Bertolini, G., Levi, V., Ottenhausen, M., Demichelis, G., Romito, L. M., Acerbi, F., Broggi, M., Schiariti, M. P., Ferroli, P., Bruzzone, M. G., & Serrao, G. (2021). The frontal aslant tract: A systematic review for neurosurgical applications. *Frontiers in Neurology*. 12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.641586>.

13. Volz, K. G., Schubotz, R. I., & von Cramon, D. Y. (2006). Decision-making and the frontal lobes. *Current Opinion in Neurology*, 19(4), 401–406. <https://doi.org/10.1097/01.wco.0000236621.83872.71>.
14. Calautti, C., Serrati, C., & Baron, J.-C. (2001). Effects of age on brain activation during auditory-cued thumb-to-index opposition: A positron emission tomography study. *Stroke; a Journal of Cerebral Circulation*, 32(1), 139–146. <https://doi.org/10.1161/01.str.32.1.139>.
15. Delorme, A., Westerfield, M., & Makeig, S. (2007). Medial prefrontal theta bursts precede rapid motor responses during visual selective attention. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 27(44), 11949–11959. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3477-07.2007>.
16. Harmony, T., Fernández, T., Silva, J., Bernal, J., Díaz-Comas, L., Reyes, A., Marosi, E., Rodríguez, M., & Rodríguez, M. (1996). EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 24(1–2), 161–171. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(96\)00053-0](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(96)00053-0).
17. Ariani, G., Pruszyński, J. A., & Diedrichsen, J. (2022). Motor planning brings human primary somatosensory cortex into action-specific preparatory states. *ELife*, 11. <https://doi.org/10.7554/eLife.69517>.
18. Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis. *Brain Research Reviews*, 53(1), 63–88. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.06.003>.
19. Numasawa, K., Miyamoto, T., Kizuka, T., & Ono, S. (2021). The relationship between the implicit visuomotor control and the motor planning accuracy. *Experimental Brain Research*, 239(7), 2151–2158. <https://doi.org/10.1007/s00221-021-06120-w>.
20. Mohan, A., De Ridder, D., & Vanneste, S. (2016). Graph theoretical analysis of brain connectivity in phantom sound perception. *Scientific Reports*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep19683>.

O. I. Podkovka, M. Y. Makarchuk, N. B. Filimonova, I. V. Pampuha, M. M. Nikiforov Age-related Neurophysiological Changes in Simple Sensorimotor Reaction Performance

Introduction. For different types of professional activity, the speed of information processing is one of the most important indicators of performance. It is well known that aging is accompanied by changes in the speed and / or mode of information processing in the brain. Simple sensorimotor reaction (SMR) shows speed and efficiency of information perception processes, its integration and is and reveals how well the basic cognitive mechanisms can be involved in the implementation of target tasks.

Purpose. The aim of this work was to investigate the rate of SMR in different age groups and to identify age-related changes in neural networks that promote task performance.

Methods. The survey involved 34 right-handed volunteers, aged 18-54, without health complaints - representatives of various military professions (mechanics, shooters, drivers, radar operators, anti-aircraft missile officers, communications, tablets, pilots and conscripts), which were divided into three age groups (1 group - 18-23 years, $n = 11$; 2 group - 24-34 years, $n = 15$; 3 group - 35- 54 years, $n = 8$). SMR was determined using a specialized computer program and while its performance 19 electrode EEG was recorded. Remote synchronization of brain areas was determined using coherent analysis in Neuron-Spectrum-4 / VP complex («NeuroSoft»). Reliable synchronization was determined only for those pairs of leads for which the median was ≥ 0.7 .

Results. Although the comparative analysis of the PSMR rate in the three groups according to the Kruskal-Wallis test did not reveal significant differences (Kruskal-Wallis test: $H(2, N = 54) = 0.889$; $p = 0.64$), coherent analysis of electroencephalograms, which were recorded during task, revealed that there were differences in the neural mechanisms of SSMR between the three age groups. We showed age-related increases in activation of the left secondary visual cortex, while activation of the left frontal lobe decreased which may indicate shift from the strategic system of response to the system of informative features selection and constant attention maintenance. In the third group coherence in the theta range between the prefrontal area and the postcentral gyrus was the strongest in comparison with the first and second groups, which may indicate an increase in the role of visual selective attention with age, as well as greater effort and concentration to perform the task. Also there was an age-related increase in the alpha range coherences and decrease in the delta range, which may indicate shift from the general setting to the input information flow to local highly specific information processing.

Originality. Age-related adaptive changes of the neural networks that enable effective performance of the SSMR: different strategies of visual-motor reaction are revealed.

Conclusions. *Performance of the SSMR test involves different neuronal strategies that were determined for three age groups. The prospect of further research is to determine age-related differences in the chronometric indicators and neuronal mechanisms for SSMR, choice reaction and other psychophysiological tests for different military specialties and according to acquired data create guidelines for conducting surveys to ensure effective performance of work responsibilities with age.*

Key words: *simple sensorimotor reaction; electroencephalogram; coherent analysis; age-related changes; professional selection.*

Одержано редакцією 15.04.2022

Прийнято до публікації 18.04.2022