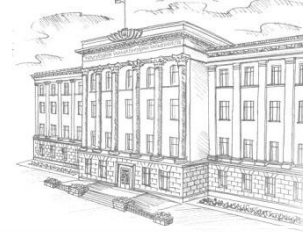




Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки

Розділ III. Фізіологія людини і тварин



Серія: Біологічні науки, 2019, 3 (387)

УДК 612.82/83

doi.org/10.29038/2617-4723-2019-387-116-122

Вплив «акутравматичного зубця» аудіограми на нейромережі головного мозку ветеранів ООС із черепно-мозковою травмою під час тестування зорової оперативної пам'яті

Олена Змаженко¹, Наталя Філімонова¹, Микола Макарчук¹, Ігор Зима¹,
Олег Горбунов¹, Валентин Кальниш²

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

²Інститут медицини праці імені Ю. І. Кундієва НАМН України, Київ, Україна

Адреса для листування: filimonova@univ.kiev.ua

Отримано: 22.01.19; прийнято до друку: 20.02.19; опубліковано: 28.06.19

Резюме. У контрольній групі при рівні складності до п'яти фігур виявлено вентральну систему візуальної оперативної пам'яті, а за підвищення складності завдання – активацію процесів top-down контролю. У групі без «акутравматичного зубця» виявлено лише вентральну систему зорової оперативної пам'яті, а в групі з «акутравматичним зубцем» – хаотичну активацію на різних рівнях складності різноманітних зон, у результаті чого не була створена адекватна система зорової оперативної пам'яті. Підвищення порогів слухової чутливості на 4/6 кГц і формування «акутравматичного зубця» аудіограми можна вважати специфічним маркером більш глибоких уражень структур головного мозку при ЧМТ та акутравмі.

Ключові слова: LORETA, акустична травма, правостороння туговухість, «акутравматичний зубець», ЕЕГ, зорова оперативна пам'ять.

Умовні скорочення: SFG – Superior Frontal Gyrus; MFG – Medial Frontal Gyrus; SPL – Superior Parietal Lobule; IPL – Inferior Parietal Lobule; STG – Superior Temporal Gyrus; MTG – Medial Temporal Gyrus; ITG – Inferior Temporal Gyrus; TTG – Transverse Temporal Gyrus; SOG – Superior Occipital Gyrus; MOG – Middle Occipital Gyrus; IOG – Inferior Occipital Gyrus; PG – Parahippocampal Gyrus; FG – Fusiform Gyrus; LG – Lingual Gyrus.

The Influence of «Acoustic Peak» of the Audiograms on the Structure of the Neuronets of the Brain at Veterans of OOS With Traumatic Brain Injury During Testing Visual Working Memory Testing

Olena Zmazhenko¹, Natalia Filimonova¹, Mykola Makarchuk¹, Igor Zyma¹,
Oleh Horbunov¹, Valentyn Kalnysh²

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine;

²Institute for Occupational Health of the NAMS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Correspondence: filimonova@univ.kiev.ua

Abstract. Nowadays, Ukraine has developed a tendency to increase the hearing problems of national servicemembers, who have fallen into an area of blast wave. Therefore, the purpose of our work was to study the effect of acoustic traumatic and «acoustic peak» on traumatic brain injury (TBI) while testing visual working memory. 18 Taras Shevchenko KNU students (control group) and 11 servicemembers with TBI and right-sided hearing loss - patients of the rehabilitation center «Military sanatorium of Ukraine «Pusha Vodytsya»» participated in our study. We have found that patients with right-sided hearing loss can have an «acoustic peak», as well as it can be missing. It was found that when testing the visual working memory in the control group, the effect of the level of complexity of stimulus was found only for the levels of complexity of more than 5 stimulus, that were presented for memorization, and only for the left hand. In the group without "acoustic peak" the level of difficulty had a significant effect on the number of errors, both for left and right hands, in comparison with the control group, the number of errors for the left hand was significantly greater for 2–4 stimulus and the reaction time with the left hand was significantly larger for all levels of complexity. In the group with «acoustic peak», there was no significant effect of the level of complexity on the number of errors with the left and right hands. However, they made a larger number of errors and had a longer reaction for both hands at all levels of difficulty compared with the control group and made more mistakes for the right hand with longer response time for 7 stimulus compared with the non-«acoustic peak» group. In the control group, at the level of complexity up to 5 geometric figures, a ventral system of visual working memory was discovered and when the complexity of the task was overcome, processes of «top-down» control and decision-making were activated. In the group of patients without «acoustic peak» only the ventral system of visual memory was revealed, while in the group of patients with «acoustic peak» chaotic activation at different levels of complexity of various zones was observed, which are related to the perception of visual stimuli, memory, retrieval and decision-making processes, as a result, an adequate and effective system of visual working memory was not formed. Thus, raising the thresholds for auditory sensitivity by 4/6 kHz and, that is, the presence of a «acoustic peak» can be considered a specific marker of deeper damage to the structures of the brain.

Key words: LORETA, acoustic trauma, right tiredness, «acute traumatic tooth», EEG, visual memory.

Вступ

Акустична травма – діагноз, який ставиться при ураженні внутрішнього вуха постійним чи короткочасним впливом звукової хвилі високої сили та тональності, наслідком чого є зниження або повна втрата слуху. В [1] зазначено, що в осіб, які зазнали різних ушкоджень у військових діях на Сході України, найбільш поширеною є двостороння туговухість із вираженою асинхронністю. Багатьох ветеранів ООС на аудіограмі наявний так званий «акутравматичний зубець», який являє собою підвищення порогів слухової чутливості на частоті 4 чи 6 кГц, що дає змогу легко встановити діагноз «акутравма» для тих військовослужбовців, які були в зоні бойових дій потрапили під дію звукової хвилі [2].

Оперативна пам'ять вважається однією з найважливіших когнітивних властивостей, концепція якої наголошує на тому, що ця система є обмеженою й забезпечує формування поведінкових актів, довготривалої пам'яті та мислення [3]. Вважається, що оперативна пам'ять – це прогностичний фактор, що пояснює інтелект, який створює нові стратегії для розв'язання поставленої проблеми та що зі збільшенням ємності оперативної пам'яті збільшуються й можливості когнітивних функцій [4]. Саме це дало підставу для наших досліджень, адже при черепно-мозкових травмах відбувається порушення когнітивної діяльності через дифузне порушення

функціонування білої речовини головного мозку, що зачіпає верхні великі нейромережі, такі як верхні повздожні пучки та нейромережу мозолистого тіла [5]. Найчастіше при ЧМТ знижуються рівень уваги, швидкість обробки та виконання необхідних функцій у відповідь на завдання. Також виявлено, що в більшості випадків при струсах характер дефіциту пам'яті схожий на той, що наявний при травмах фронтальних ділянок великих півкуль, ніж на той, що буває при амнезії. У цій роботі також показано, що вербальна оперативна пам'ять піддається меншим ураженням, ніж зорова [5].

Мета дослідження – визначити особливості зорової оперативної пам'яті (ЗОП) за наявності «акутравматичного зубця» у військово-службовців ООС, котрі отримали ЧМТ та акустичні травми під час бойових дій.

Матеріали й методи дослідження

В обстеженні взяли участь 18 добровольців-чоловіків віком 19–23 роки без скарг на здоров'я (студенти КНУ імені Тараса Шевченка – контрольна група) та 11 добровольців-чоловіків (бійці з ЧМТ та правосторонньою туговухістю, пацієнти реабілітаційного центру «Військовий санаторій МО України «Пуца Водиця»). Нами виявлено, що в 6 із них віком 20–32 роки наявний «акутравматичний зубець» (група з «акутравматичним зубцем»), а в 5 віком 20–32 роки – відсутній (група без

«акутравматичного зубця»). Усі обстежувані поінформовані стосовно схеми проведення обстежень і надали письмову згоду відповідно до Гельсінської етичної декларації.

Електроенцефалограма (ЕЕГ) реєструвалася на початку обстеження (проба із закритими та відкритими очима по 3 хв на кожну) та під час тестування ЗОП. Під час проходження тесту на ЗОП «Геометричні фігури» кожному обстежуваному для запам'ятовування пред'являлася певна кількість геометричних фігур (круг, еліпс, квадрат, ромб та інш.), яка послідовно зростала від 2 до 7, що повторювалася по 10 разів у випадковій комбінації. Час експозиції кожної множини фігур становив 1,5 с, після чого вони згасали, а через 1 с з'являлася тестова фігура, щодо якої потрібно було відповісти, чи була вказана фігура в попередній множині. Для цього треба правою рукою натиснути клавішу «/», якщо така фігура була, чи лівою рукою клавішу «z», якщо її не було. Після цього з отриманих даних визначали середній час реакції правою й лівою руками, середня кількість помилкових реакцій руками та середня кількість помилок правою й лівою руками.

Для реєстрації й аналізу ЕЕГ використовували комплекс «Нейрон-Спектр-4/ВП» (НейроСофт). Запис ЕЕГ здійснювали монополярно, референтні електроди були розміщені на мочці двох вух, частота квантування ЕЕГ дорівнювала 500 Гц. Використано мостикові посріблені електроди, що накладалися за міжнародною системою «10–20 %» у 19 стандартних відведеннях. Визначали динаміку диполів активності головного мозку під час виконання субтестів ЗОП зростаючого рівня складності для всіх частотних діапазонів за допомогою комп'ютерної програми LORETA [6].

Статистичний аналіз проведено в STATISTICA 6.0 (StatSoft, USA, 2008). Для опису вибіркового розподілу вказували медіану (Me) і нижній (25 %) та верхній (75 %) квартилі: Me (25; 75 %), оскільки розподіл більшості показників за критерієм Шапіро-Вілка був відмінний від нормального ($p \leq 0,05$). Множинні порівняння проводили непараметричними аналогами дисперсійного аналізу Kruskal-Wallis ANOVA й Friedman ANOVA, а попарні порівняння – критеріями Wilcoxon та Mann-Whitney.

Результати й обговорення

За результатами критерію Kruskal-Wallis ANOVA не виявлено впливу ЧМТ із правосторонньою туговухістю на показники

ЗОП ($p > 0,05$): контрольна група vs. група з акутравматичним зубцем vs. група без акутравматичного зубця: час виконання тесту – 986 [859; 1104] мс vs. 1059 [966; 1205] мс vs. 1175 [1049; 1556] мс ($p = 0,21$) та відносна кількість помилок – 0,32 [0,30; 0,37] vs. 0,31 [0,25; 0,50] vs. 0,33 [0,19; 0,51], що узгоджується з даними [7]. Однак реакція на когнітивне навантаження виявилася значуще різною. Так, у контрольній групі вплив рівня складності стимулів за критерієм Friedman ANOVA виявлено лише для рівнів складності понад 5 стимулів, що пред'являлися для запам'ятовування та тільки для лівої руки: кількість помилок лівою рукою на 2 стимули vs. – 5, 6 та 7 стимулів: 0,0 [0; 0,0] vs. 0,0 [0; 1,0] ($p = 0,02$); vs. 0,0 [0; 1,0] ($p = 0,02$) і vs. 0,5 [0; 1,0] ($p = 0,01$). У групі без акутравматичного зубця рівень складності мав значний вплив на кількість помилок як лівою рукою ($p = 0,001$), так і правою ($p = 0,01$), при чому у порівняно з контрольною групою, кількість помилок лівою рукою була значуще більшою для 2 стимулів ($p = 0,02$), 3 стимулів ($p = 0,01$) та 4 стимулів ($p = 0,03$), а час реакції лівою рукою значуще більшим на всіх рівнях складності ($p < 0,05$). У групі з акутравматичним зубцем не виявлено значущого впливу рівня складності як на кількість помилок лівою рукою ($p = 0,79$), так і правою ($p = 0,10$). Однак вони робили більше помилок і повільніше реагували як лівою, так і правою рукою на всіх рівнях складності, порівняно з контрольною групою ($p < 0,05$). Крім того, обстежувані ветерани з акутравматичним зубцем допускали більше помилок правою рукою при довшому часі реакції для 7 стимулів ($p < 0,05$), порівняно з групою ветеранів без акутравматичного зубця.

Реєстрація та аналіз ЕЕГ показали, що в контрольній групі обстежуваних під час тестування ЗОП при запам'ятовуванні незначного обсягу стимулів (2–5 геометричних фігур) найбільш активними були потиличні та скроневі ділянки (рис. 1), що не зовсім узгоджується з усталеною думкою про те, що завжди кодування зорової пам'яті відбувається під контролем фронтальних зон великих півкуль, а потиличні частки завжди є підконтрольними лобним зонам кори [8]. У [9] показано, що права PG (BA27) є критичною для визначення просторової конфігурації об'єктів. Показано, що FG (BA20) білатерально залучені до інтеграції візуальних елементів у перцептивні цілі (окремі об'єкти) та є більш активними при впізнаванні стимулів [10], а ITG при запам'ятовуванні декількох елементів

перебуває під підвищеним top-down контролем зі сторони MTG [11]. Крім того, TTG є частиною слухової кори, яка може бути залучена до візуалізації мовної артикуляції [12]. Отримані дані (рис.1) узгоджуються з кортикальним представленням нейромережі для запам'ятовування 3–4 візуальних стимулів, що охоплює області первинної зорової кори, IPL та потиличні зони – вентральна система ЗОП [13]. При високих рівнях складності процеси ЗОП здійснювалися під посиленням top-down контролю [8] та при активації процесів прийняття рішення, у яких були задіяні MFG, Anterior Angular Gyrus і Rectus Gyrus [14]. Зазначимо також, що в контрольній групі виявлена збалансована активація як правої, так і лівої півкулі, а також процесів bottom-up та top-down контролю [15]. Виявлена нами активація лівої півкулі може свідчити про процеси вербалізації ознак пред'явлених геометричних фігур і їх узгодженої обробки із зоровими образами в правій півкулі.

У групі обстежуваних без акутравматичного зубця (рис. 2) при запам'ятовуванні стимулів незначного обсягу (2–3) виявлено систему ЗОП, яка була повністю пов'язана лише з правою півкулею. При подальшому зростанні складності завдання активність головного мозку в обстежуваних цієї групи знижувалася. У процесах ЗОП при запам'ятовуванні 4–7 стимулів задіяно зони зорової кори правої півкулі, скроневої області лівої та білатерально PG. PG є частиною великої мережі, яка з'єднує

різні регіони в скроневої зоні, гіпокамп, зони зорової кори й ін. [16]. PG бере участь у завданнях, які стосуються просторової інформації, орієнтації, навігації та просторової пам'яті. Крім того, у групі обстежуваних без акутравматичного зубця більш активно задіяні процеси обробки інформації в первинних і вторинних зорових полях MOG (BA18, 19) та FG (BA20), які функціонально пов'язані з правильними та помилковими розпізнаваннями візуальних стимулів [14]. Однак у них, порівняно з контрольною групою, не виявлено активації поясної кори, яка забезпечує міжпівкульну взаємодію, а ЗОП була реалізована в рамках нейромережі вентральної системи [17], яка об'єднувала скронево-потиличні й парагіпокампальну зони. Збільшення часу реакції та кількості помилок лівою рукою, порівняно з контрольною групою, можливо, пояснюється тим, що правою рукою обстежувані відповідали, коли зазначали наявність геометричної фігури в попередньо пред'явленій послідовності – «стара фігура», а лівою – коли її там не було – «нова фігура». У контрольній групі MOG і FG були активні і в правій, і в лівій півкулі впродовж усього тесту, що забезпечило швидке розпізнавання «нових» та «старих» геометричних фігур. Можна припустити, що в обстежуваних без акутравматичного зубця вентральна система запам'ятовування фігур, у той час як ідентифікація нових стимулів для них є більш складною.

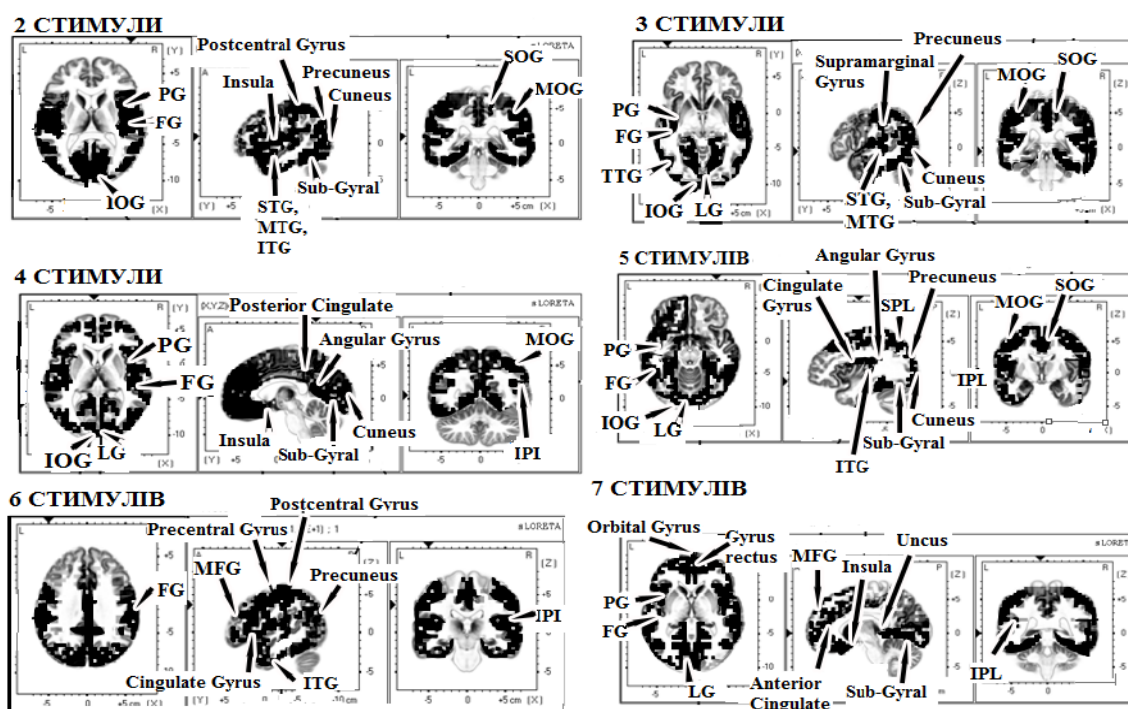


Рис. 1. Динаміка активності головного мозку контрольної групи при зростаючому рівні складності завдань на зорову оперативну пам'ять «Геометричні фігури»

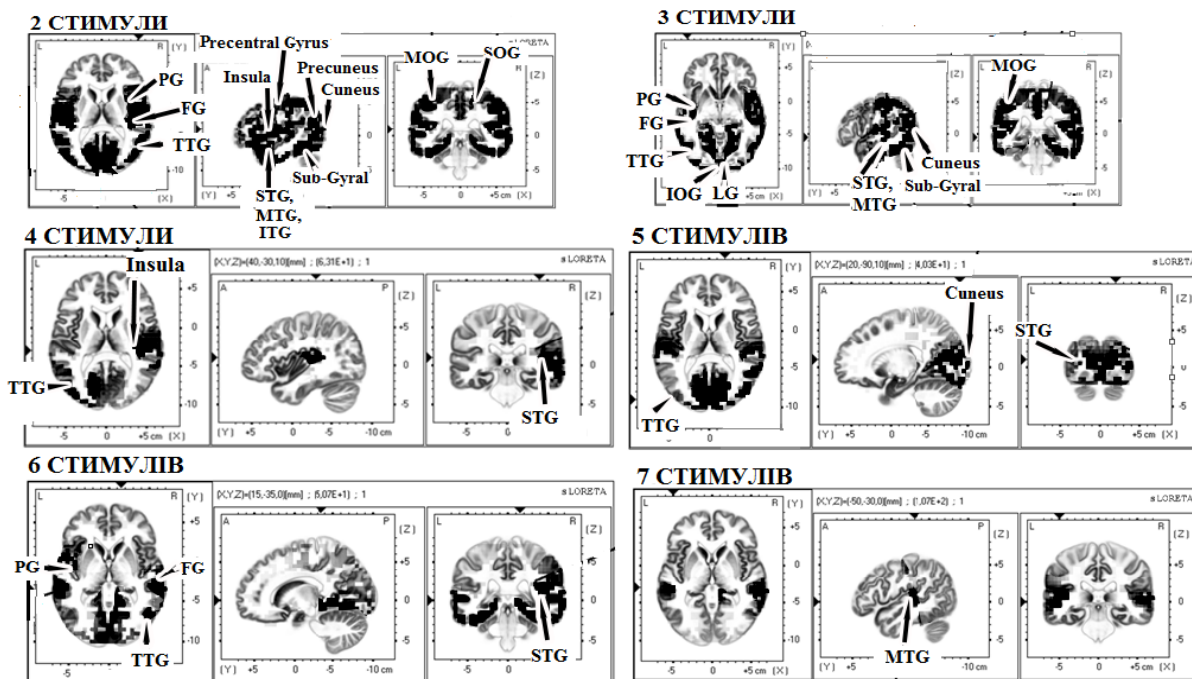


Рис. 2. Динаміка активності головного мозку групи обстежуваних із правосторонньою туговухістю та без «акутравматичного зубця» при зростаючому рівні складності завдань на зорову оперативну пам'ять при проходженні тесту «Геометричні фігури»

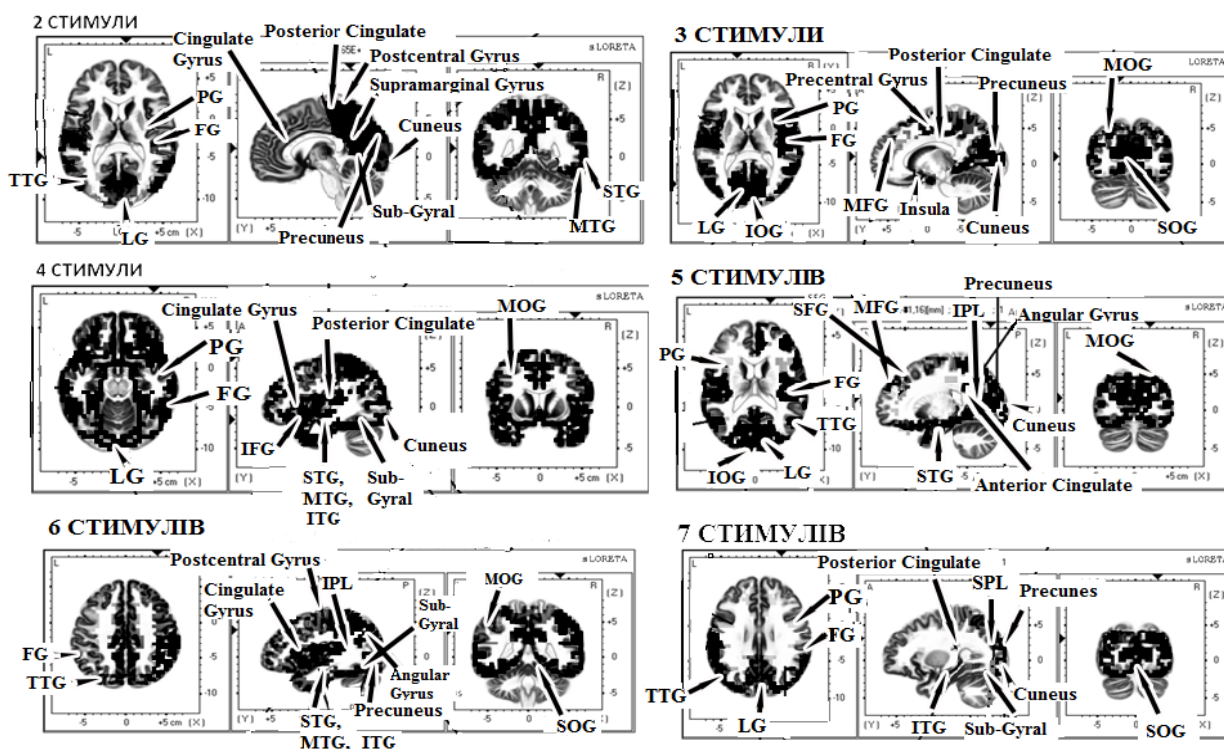


Рис. 3. Динаміка активності головного мозку групи обстежуваних із правосторонньою туговухістю та «акутравматичним зубцем» при зростаючому рівні складності завдань на зорову оперативну пам'ять при проходженні тесту «Геометричні фігури»

У групі обстежуваних з акутравматичним зубцем виявлено збільшення кількості зон активності мозку, починаючи з початкових рівнів складності. При цьому найбільш активними були скроневі, потиличні зони, PG

та FG правої півкулі та Cuneus й Precuneus білатерально. Cuneus модулює увагу, бере участь у процесах оперативної пам'яті та оцінки нагороди й разом з Precuneus узгоджує зорову інформацію із соматосенсорним

відгуком [18]. Зазначимо, що при цьому на кожному рівні складності відбулась активація різних зон мозку, що свідчило про хаотичні зміни в конфігурації нейромереж, неможливість адаптуватися до відповідного рівня складності й неможливість сформувати адекватну нейромережу ЗОП.

Висновки

Нами встановлено, що в частини ветеранів ООС із правосторонньою туговухістю аудіограма виявляє «акутравматичний зубець», тоді як в іншій частині ветеранів із ЧМТ він може бути відсутній.

Виявлено, що під час тестування зорової оперативної пам'яті в контрольній групі вплив рівня складності стимулів виявлений лише для рівнів складності понад 5 стимулів, що пред'являлися для запам'ятовування, і тільки для лівої руки. В обстежуваних ветеранів ООС без акутравматичного зубця рівень складності мав значущий вплив на кількість помилок як лівою рукою, так і правою, при чому, порівняно з контрольною групою, кількість помилок лівою рукою була значуще більшою для 2–4 стимулів, а час реакції лівою рукою – значуще більшим на всіх рівнях складності. В обстежуваних ветеранів ООС з акутравматичним зубцем не виявлено значущого впливу рівня складності як на кількість помилок лівою рукою, так і правою. Однак вони допускали більшу кількість помилок і мали довшу реакцію як лівою, так і правою руками на всіх рівнях складності, порівняно з контрольною групою, і робили більше помилок правою рукою при довшому часі реакції для семи стимулів, порівняно з групою без акутравматичного зубця.

У контрольній групі при рівні складності до п'яти геометричних фігур виявлено вентральну систему візуальної оперативної пам'яті, а при підвищенні складності завдання були активовані процеси top-down контролю й прийняття рішення. У ветеранів ООС без «акутравматичного зубця» виявлено лише вентральну систему зорової оперативної пам'яті, у той час як в обстежуваних ветеранів ООС з «акутравматичним зубцем» під час тестування ЗОП спостерігаємо хаотичну активацію на різних рівнях складності різноманітних зон, які пов'язані як зі сприйняттям зорових стимулів, запам'ятовуванням, відтворенням, так і процесами прийняття рішення, у результаті чого не створюється адекватна та ефективна система

зорової оперативної пам'яті. Отже, підвищення порогів слухової чутливості на 4/6 кГц і формування на аудіограмі «акутравматичного зубця» можна вважати специфічним маркером більш глибоких уражень структур головного мозку при ЧМТ й акутравмі.

Література

1. Волкова, Т. В.; Шидловська, Т. А.; Петрук, Л. Г.; Куреньова, К. Ю.; Шевцова, Т. В.; Пойманова, О. С. Типи аудіометричних кривих у пацієнтів, які отримали акутравму в зоні проведення антитерористичної. *Журнал вушних, носових і горлових хвороб*; 2017, 2 с 4–21.
2. Шидловська, Т. А.; Петрук, Л. Г.; Шевцова, Т. В. Показники суб'єктивної аудіометрії у осіб, які отримали акутравму в зону проведення бойових дій, з різним ступенем порушень слухової функції. *Журнал вушних, носових і горлових хвороб*; 2017, 6, с 4–13.
3. Baddeley, A. Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*; 2003, 4, pp 829–839.
4. Shipstead, Z.; Harrison, T.; Engle, R. Working Memory Capacity and Fluid Intelligence. *Perspectives on Psychological Science*; 2016, 11(6), pp 771–799.
5. Lauer, J. Neural correlates of visual memory in patients with diffuse axonal injury. *Brain Injury*; 2017, 31(11), pp 1513–1520.
6. Pascual-Marqui, R. D. (2002) Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods Find Exp Clin Pharmacol*, 24 Suppl D, pp. 91–95.
7. Johansson, B.; Berglund, P.; Ronnback, L. Mental fatigue and impaired information processing after mild and moderate traumatic brain injury. *Brain Injury*; 2009, 23(13–14), pp 1027–1040.
8. Zanto, T. P. Causal role of the prefrontal cortex in top-down modulation of visual processing and working memory. *Nat Neurosci*; 2011, 14(5), pp 656–661.
9. Bohbot, V.; Allen, J.; Dagher, A.; Dumoulin, S.; Evans, A.; Petrides, M.; Kalina, M.; Stepankova, K.; Nadel, L. Role of the parahippocampal cortex in memory for the configuration but not the identity of objects: converging evidence from patients with selective thermal lesions and fMRI. *Frontiers in Human Neuroscience*; 2015, doi: 10.3389/fnhum.2015.00431.
10. Gerlach, C.; Aaside, C.; Humphreys, G.; Gade, A.; Paulson, O.; Lawa, I. Brain activity related to integrative processes in visual object recognition: bottom-up integration and the modulatory influence of stored knowledge. *Neuropsychologia*; 2002, 40, pp 1254–1267.
11. Axmacher, N.; Schmitz, D.; Wagner, T.; Elger, C.; Fell, J. Interactions between Medial Temporal Lobe, Prefrontal Cortex, and Inferior Temporal Regions during Visual Working Memory: A Combined Intracranial EEG and Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience*; 2008, 28(29), pp 7304–7312.

12. Pekkola, J.; Ojanen, V.; Autti, T.; Jaaskelainen, I.; Mottonen, R.; Tarkiainen, A.; Sams, M. Primary auditory cortex activation by visual speech: an fMRI study at 3 T. *Lippincott Williams & Wilkins*; 2005, 16(2), pp 125–128.
13. Barton, B.; Brewer, A. Visual Working Memory in Human Cortex. *Psychology (Irvine)*; 2013, 4(8), pp 655–662.
14. Ernst, M.; Nelson, E.; McClure, E.; Monk, C.; Munson, S.; Eshel, N.; Zarah, E.; Leibenluft, E.; Zametkin, A.; Towbin, K.; Blair, J.; Charney, D.; Pine, D. Choice selection and reward anticipation: an fMRI study. *Neuropsychologia*; 2004, 42, pp 1585–1597.
15. Macaluso, E.; Hartcher-O'Brien, J.; Talsma, D.; Aam, R.; Vercillo, T.; Noppeney, U. The Curious Incident of Attention in Multisensory Integration: Bottom-up vs. Top-down. *Multisensory Research*; 2016, 29(6–7), pp 557–583.
16. Aminoff, E.; Kveraga, K.; Bar, M. The role of the parahippocampal cortex in cognition. *Trends Cogn Sci.*; 2013, 17(8), pp 379–390.
17. Takahashi, E.; Ohki, K.; Kim, D.-S. Dissociation and convergence of the dorsal and ventral visual working memory streams in the human prefrontal cortex. *NeuroImage*; 2013, 65, pp 488–498.
18. Ebrahimi, F.; Hossein-Zadeh, G. Changes in effective connectivity between motor and sensory regions in finger. *23rd Iranian Conference on Biomedical Engineering and 2016 1st International Iranian Conference on Biomedical Engineering (ICBME)*. New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017.