

ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЧНІ КОРЕЛЯТИ ЗАСВОЄННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ЧИТАННІ ТЕКСТУ З ПАПЕРОВИХ ТА ЕЛЕКТРОННИХ НОСІЇВ

Поступове заміщення паперових видань на електронні є сучасним трендом в книговидавництві. Попри очевидні економічні, екологічні та ергономічні переваги використання електронних носіїв інформації в науковій літературі бракує досліджень щодо ефективності її засвоєння у порівнянні до традиційних паперових видань. Тому, метою роботи стало дослідження особливостей сприйняття інформації з електронних та паперових носіїв. У дослідженні взяло участь 43 студенти. Для читання їм було запропоновано 2 уривки тексту з художньої та науково-популярної літератури, що були презентовані в PDF-файлі електронної книги та в друкованому примірник. Під час читання текстів реєстрували електричну активність мозку за допомогою електроенцефалографа. Рівень розуміння та засвоєння прочитаного перевіряли за допомогою тестування щодо змісту тексту одразу після читання та через 2 тижні. Порівняльний ЕЕГ-аналіз не виявив значущих відмінностей спектральної потужності досліджуваних діапазонів під час читання паперової та електронної книги ні для наукового, ні для художнього тексту. Не виявлено різниці в засвоєнні тексту одразу після прочитання (художній текст: паперова версія 6 [4;7], електронна версія 7 [5;7]; науковий текст: паперова версія 6 [4;7], електронна версія 6 [4;7]). Різниці в довготривалому засвоєнні інформації (через 2 тижні) також не встановлено: (художній текст: паперова версія 4 [3;5], електронна версія 5 [4;6]; науковий текст: паперова версія 5 [4;6], електронна версія 6 [5;7]). Проте, виявлено певні міжстатеві відмінності: у чоловіків спостерігається більша кількість правильних відповідей на тестування одразу ж після читання наукового тексту, ніж у жінок. Відмінностей амплітудно-частотних характеристик ЕЕГ під час читання паперової та електронної книги не виявлено. Досліджено ЕЕГ-кореляти кращого засвоєння тексту залежно від носія інформації: художній текст – менша спектральна потужність в альфа та дельта-діапазонах ЕЕГ; науковий текст – менша спектральна потужність в бета-діапазоні та більша потужність тета-ритму під час читання.

Ключові слова: читання, паперові книги, електронні книги, ЕЕГ, засвоєння інформації, пам'ять, мозок.

Постановка проблеми. Аналіз останніх публікацій. В сучасному інформаційному середовищі спостерігається постійний перехід від читання текстів з книг до екрану, що зумовлено збільшенням числа цифрових пристроїв для читання (комп'ютери і ноутбуки, електронні книги, планшетні пристрої, смартфони). На даному етапі, люди все більше віддають перевагу читанню з електронних носіїв паперовим варіантам тих же книг [1]. В зв'язку з цим, актуальним є вирішення наступних питань: чи є різниця в обробці та засвоєнні інформації прочитаної з електронної версії в порівнянні з друкованим виданням? Чи впливає це на розуміння студентами прочитаного і засвоєння?

Дана тема всебічно висвітлюється в різноманітних дослідженнях. Наприклад, зустрічаються роботи, в яких досліджують ефективність запам'ятовування інформації з різних носіїв з метою зменшення витрат на навчальні підручники [2]. Також є декілька досліджень, які оцінюють продуктивність читання з паперу та екрану у дітей [3]. Проте вони побудовані виключно на тестуваннях, якими перевіряли рівень розуміння та засвоєння тексту. Тому наше дослідження є актуальним, оскільки сьогоднішній день обмаль робіт [1,4,5], в яких би проводили не тільки аналіз швидкості читання та відтворення інформації, але й аналізували роботу мозку під час цих же дій. Ще одним аспектом даного дослідження є спроба виявити ті мозкові процеси під час читання, що супроводжують ефективно відтворення матеріалу в подальшому. Чому одним вдається краще запам'ятати матеріал, а іншим ні? Саме ці питання і є головною темою нашої роботи.

Матеріал та методи

У дослідженні взяло участь 43 студенти 17-21 років, серед яких було 23 дівчат і 20 хлопців. Обстежуваних було поділено на 2 групи: студенти, які працювали з паперовим носієм ($n=22$) та студенти, які використовували електронний носій ($n=21$). Було підібрано два уривки тексту (з художньої та науково-популярної літератури, що були презентовані в PDF-файлі електронної книги та в друкованому примірнику), які мали прочитати обстежувані. Після прочитання кожного тексту учасникам одразу ж давали тестові запитання до змісту тексту, чим перевіряли розуміння та рівень засвоєння прочитаної інформації. Через 2 тижні проводились повторні тести.

В ході експерименту відбувалась реєстрація ЕЕГ за наступною схемою: в стані спокою (закриті очі) – 1 хв., читання художнього тексту – 3 хв., стан спокою (закриті очі) – 1 хв., тестування – 3 хв. Така ж схема використовувалась для читання наукового тексту. Для роботи використовувався діагностичний комплект «Нейрон-Спектр» (ООО «Нейрософт», Росія). Реєстрацію ЕЕГ проводили монополярно у 16 симетричних відведеннях. В якості референтного електрода використовували іпсилатеральний вушний електрод. Електроди розміщувались за міжнародною системою 10-20% у 16 симетричних точках поверхні голови: префронтальних (Fp1/Fp2), середньо-фронтальних (F3/F4), латерально-фронтальних (F7/F8), центральних (C3/C4), передніх (T3/T4) та задніх скроневих (T5/T6), тім'яних (P3/P4) та потиличних (O1/O2). Для аналізу ЕЕГ – показників використовувались лише безартефактні фрагменти запису. Обчислювали амплітудно-частотні характеристики ЕЕГ в наступних діапазонах: дельта (0,5 - 3 Гц), тета (4 - 7 Гц), альфа (8 - 12 Гц), бета низькочастотний (13 - 19 Гц), бета високочастотний (20 – 35 Гц).

Статистичний аналіз проводився за допомогою пакету STATISTICA 10.0 (Statsoft, USA, 2011). При порівнянні залежних вибірок застосовували непараметричний Т-критерій знакових рангів Вілкоксона, при порівнянні незалежних – Мана-Уїтні. Критичний рівень значущості міжгрупових відмінностей при перевірці статистичної гіпотези приймався рівним $p=0,05$. Для опису вибіркового розподілу вказували медіани та міжквартильний розкид (Me [25%; 75%]).

Результати та обговорення

Опрацювавши отримані результати, ми не виявили значущих відмінностей спектральної потужності в досліджуваних діапазонах ЕЕГ під час читання паперової та електронної книги (рис. 1).

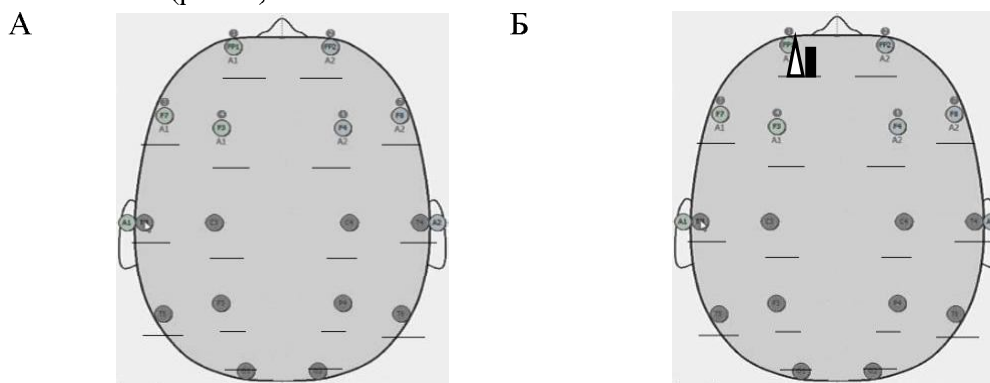


Рис. 1. Топокарти значущих відмінностей спектральної потужності (СП) основних ритмів ЕЕГ обстежуваних: А – під час читання паперового носія відносно електронного (П/Е); Б – під час пригадування (П/Е).

Примітки: горизонтальною лінією вказана відсутність вірогідної різниці між значеннями СП у відповідних відведеннях. Знак над рисочкою – зростання показника, знак під рисочкою – зниження показника.

■ – зміни СП альфа-ритму; ▲ – зміни СП дельта-ритму

Під час пригадування матеріалу одразу ж після прочитання паперової версії зареєстровано більшу СП в альфа- та дельта-діапазоні в лівому префронтальному відведенні порівняно із електронним варіантом тексту. Хоча одиничний показник не може свідчити про суттєві відмінності, можемо припустити, що вилучення інформації з оперативної пам'яті відбувалось при менших енергетичних затратах після читання паперової книги.

В подальшому аналізі результатів тестування ми не отримали жодної різниці в якості засвоєння інформації. Обстежувані, які працювали з паперовою та електронною книгою відтворювали інформацію на однаковому рівні (табл. 1).

Таблиця 1

Кількість правильних відповідей на тестування по визначенню рівня засвоєння тексту (Медіана; 25%; 75%)

Тип тексту	Тестування одразу після прочитання		Тестування через 2 тижні після прочитання	
	Паперова книга	Електронна книга	Паперова книга	Електронна книга
Художній	6 [4;7]	7 [5;7]	4 [3;5]	5 [4;6]
Науковий	6 [4;7]	6 [4;7]	5 [4;6]	6 [5;7]

Проте, проаналізувавши кількість правильних відповідей з урахуванням статі обстежуваних було отримано певні відмінності. У чоловіків спостерігається більша кількість правильних відповідей в тестуванні одразу ж після читання наукового тексту, ніж у жінок, і цей ефект простежувався і в групі з паперовим, і з електронним текстом (табл.2). Це може бути зумовлено тим, що чоловікам більш властиве просторове та конкретне мислення (науковий текст стосувався географічних даних), коли жінки більш здатні до запам'ятовування деталей (емоції, кольори, описи) [6].

Таблиця 2

Кількість правильних відповідей на тестування по визначенню рівня засвоєння тексту залежно від статі (Медіана; 25%; 75%)

Стать	Паперова книга		Електронна книга	
	Художній текст	Науковий текст	Художній текст	Науковий текст
	Одразу після читання			
Чоловіки (n=20)	7 [4;8]	7 [6;8]*	7 [6;7]	7 [6;7]*
Жінки (n=23)	6 [4;7]	4 [2;6]	6 [5;7]	4 [4;6]
Через 2 тижні після читання				
Чоловіки (n=20)	5 [4;5]	6 [5;6]	4 [3;5]	7 [6;7]*
Жінки (n=23)	4 [3;6]	5 [4;7]	5 [4;6]	6 [4;6]

Примітка: *- $p < 0,05$ – вірогідна різниця в порівнянні з результатами представниць жіночої статі.

Кореляційний аналіз електричної активності мозку під час читання та короткочасного засвоєння інформації різного типу. Було проведено кореляційний аналіз ЕЕГ показників з кількістю відповідей у тестах та отримано ряд значущих кореляцій. Так, виявлена кореляція між кількістю правильних відповідей щодо змісту художнього тексту одразу після прочитання з потужністю тета-ритму в правих лобно-центрально-ділянках (рис. 2). Кількість правильних відповідей після прочитання наукового тексту обернено корелювала з потужністю низькочастотного бета-діапазону у лівих задньо-скроневих та потиличній ділянках ($r = -0,32$).

Таким чином, для короткочасного утримання в пам'яті деталей художнього тексту важливим є синхронізація нейронних мереж правої півкулі на частоті тета-ритму, що відображує цілісність сприйняття інформації такого роду, ймовірно через емоційні художні образи у обстежуваних. Відтворення змісту наукового тексту було більш ефективним у тих учасників досліджу, в яких реєстрували меншу СП в бета-діапазоні в лівій півкулі, що свідчить про меншу активність залучених в читання асоціативних ділянок лівої півкулі мозку. Можна припустити, що в таких обстежуваних даний текст сприймався з меншими зусиллями, ймовірно в силу їх доброї налаштованості на сприйняття інформації.

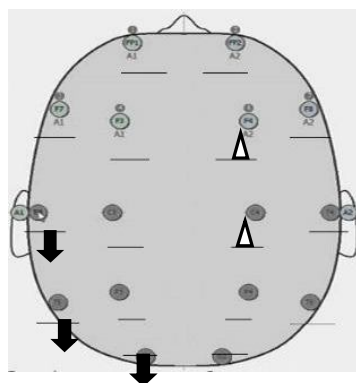


Рис. 2. Значущі коефіцієнти кореляції (r) між СП досліджуваних діапазонів ЕЕГ під час читання й кількістю правильних відповідей одразу після прочитання.

Примітка: горизонтальною лінією вказана відсутність кореляції між значеннями СП у відповідних відведеннях та кількістю правильних відповідей на тестування одразу після прочитання. Знак над рисочкою: $r \geq +0,3$ при $p \leq 0,05$; Знак під рисочкою: $r \geq -0,3$ при $p \leq 0,05$;

□ – художній текст; ■ – науковий текст; Δ – тета-ритм; \uparrow – низькочастотний піддіапазон бета-ритму.

Кореляційний аналіз електричної активності мозку під час читання та точністю довготривалого засвоєння різного типу тексту. Цікавим є те, що показники електричної активності мозку під час читання тексту значуще корелювали з кількістю вірних відповідей через 2 тижні. У обстежуваних, що найкраще запам'ятали деталі художнього уривку під час читання було зареєстровано нижчу СП в альфа та дельта-діапазонах ЕЕГ (рис.3.А). Зниження альфа-ритму традиційно розглядається як прояв загальної активації мозку під час будь-якого сенсорного притоку, особливо це явище притаманно для зорової модальності [7-8]. Підвищення дельта-ритму під час розумової діяльності згідно останніх даних є проявом активності гальмівних кортикальних мереж, що намагаються зменшити аферентні входи від незначущих в даний момент каналів [8]. Можна припустити, що обстежувані з меншою потужністю в дельта-діапазоні були достатньо зосереджені при читанні, що не потребувало додаткових гальмівних механізмів, що в результаті посприяло кращому відтворенню не важкого матеріалу, яким є художній текст.

Також ми отримали значущі кореляції відтворення деталей наукового тексту через 2 тижні після читання з амплітудними характеристиками ЕЕГ (рис. 3.Б.). Виявлена обернена кореляція між СП в низькочастотному бета-піддіапазоні та кількістю правильних відповідей ($-0,47 > r > -0,32$) по всьому скальпу (крім лобно-центральної зони). Тобто чим менша була СП низькочастотних бета-хвиль ЕЕГ в обстежуваних, тим краще вони відтворювали інформацію. Зниження потужності в бета-діапазоні відображує краще вигальмовування нерелевантної, відносно завдання, інформації, а також фокусування уваги на змісті [8,9].

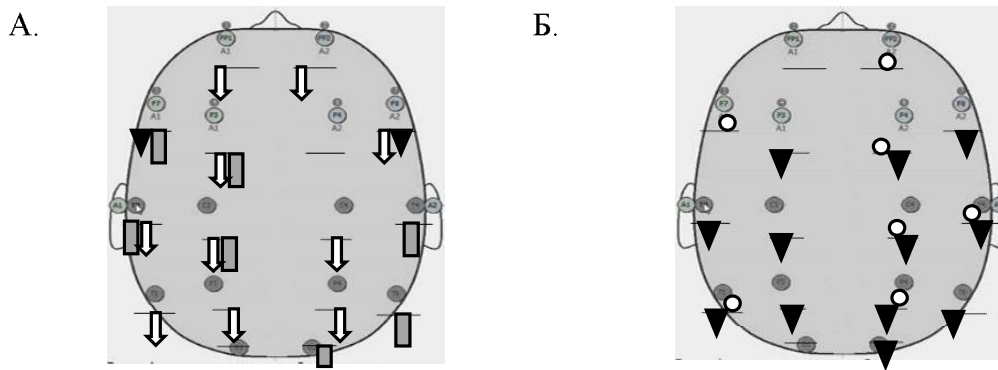


Рис. 3. Значущі коефіцієнти кореляції (r) між СП ритмів ЕЕГ під час читання й кількістю правильних відповідей через 2 тижні: А – художнього тексту; Б – наукового тексту.

Примітки: горизонтальною лінією вказана відсутність кореляції між значеннями СП у відповідних відведеннях та кількістю правильних відповідей через 2 тижні. Знак над рисочкою: $r \geq +0,3$ при $p \leq 0,05$; Знак під рисочкою: $r \geq -0,3$ при $p \leq 0,05$;

□ – альфа-ритм; ▴ – дельта-ритм; ▲ – низькочастотний бета-діапазон; ○ – тета-ритм.

Також спостерігається пряма кореляція з потужністю тета-ритму ($0,31 < r < 0,47$) в правій півкулі (крім потиличних та скроневих зон). Ймовірно більша потужність в тета-діапазоні під час читання є ЕЕГ-маркером кращої консолідації пам'ятного сліду, зважаючи на гіпокампальне походження хвиль вказаного діапазону [8,10,11].

Кореляційний аналіз між електричною активністю головного мозку під час читання та ефективністю засвоєння текстів залежно від типу носія інформації. Провівши детальніший кореляційний аналіз відповідно до груп, на які у нас були поділені обстежувані (ті, хто читав паперову версію книги, та ті, хто читав електронну версію) ми отримали наступні результати (рис. 4.). Кількість правильних відповідей обстежуваних, що читали паперову книгу обернено корелює з СП в альфа-, бета- та дельта-діапазонах при читанні художньої книги, а при читанні наукової – прямо корелює з СП тета-ритму. Краще запам'ятовування деталей художнього тексту притаманне тим, у кого під час читання була зареєстрована менша СП в дельта, альфа та низькочастотному бета-діапазонах, і дані зв'язки виявлені тільки для паперового варіанту завдання.

Отже, при читанні белетристики більше значення для запам'ятовування має сенсорний контекст, так як низька потужність зазначених діапазонів відображує збільшення надходження інформації по сенсорним каналам. Ймовірно додаткова тактильна стимуляція при триманні книжки також вносить певний вклад в формування пам'ятного сліду. На користь останнього припущення свідчить відсутність значущих кореляцій між засвоєнням художнього тексту в електронному варіанті з показниками ЕА головного мозку (див. рис. 4.Б).

Кількість правильних відповідей обстежуваних, що читали науковий текст в електронній книзі обернено корелює з СП в низько- та високочастотним бета-діапазоном. Відомо, що завдання, які потребують значної концентрації уваги супроводжуються посиленням коливань ЕЕГ на частотах бета-ритму (12). Довільна увага, що реалізується через низхідні впливи від префронтальних структур до виконавчих структур є енергозатратним процесом і не може підтримуватись тривалий час. В нашому дослідженні обстежувані, що мали високу СП бета-ритму показували гірші результати по відтворенню інформації. Ймовірно, цим обстежуваним було важче зосередитись на тексті, що відобразилось у більшій СП бета-ритму. Отже, пригадування прочитаного було кращим у тих учасників, які легше зосереджувались, і не витрачали мозкових зусиль на пригнічення неважливих для завдання сигналів.

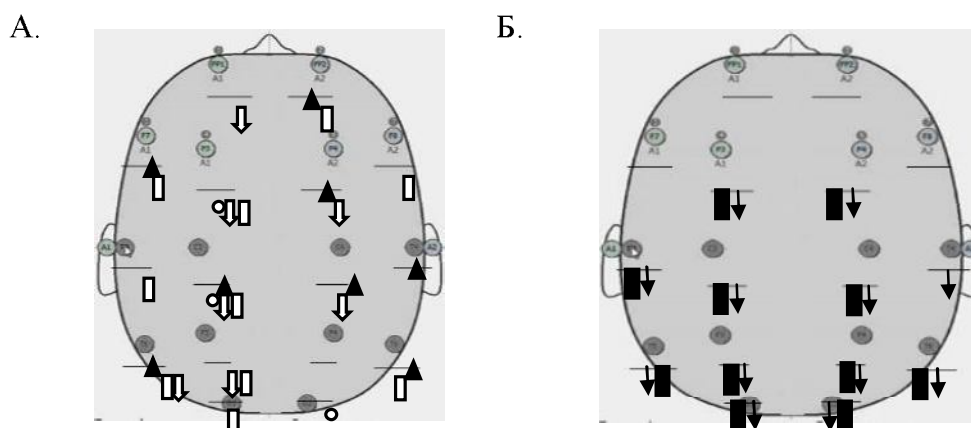


Рис. 4. Значущі коефіцієнти кореляції (r) між СП ритмів ЕЕГ під час читання й кількістю правильних відповідей через 2 тижні: А – паперового носія; Б – електронного носія.

Примітки: горизонтальною лінією вказана відсутність кореляції між значеннями СП у відповідних відведеннях та кількістю правильних відповідей через 2 тижні. Знак над рисочкою: $r \geq +0,3$ при $p \leq 0,05$; Знак під рисочкою: $r \geq -0,3$ при $p \leq 0,05$; \square – художній текст; \blacksquare – науковий текст; \uparrow – альфа-ритм; \square – низькочастотного бета-діапазону; \downarrow – високочастотного бета-діапазону; \circ – дельта-ритм; \triangle – тета-ритм.

Таким чином, краще відтворення прочитаної інформації в науковому стилі виявлено у тих людей, в яких під час читання з електронного носія була менша СП бета-ритму. При читанні ж наукового тексту з паперу предиктором кращого засвоєння була висока СП в тета-діапазоні під час читання, що зазвичай пов'язують з синхронізацією нейронів гіпокампу та лобної кори в процесі кодування нової інформації. Виявлені особливості вказують на відмінності обробки інформації в мозку залежно від типу носія, хоча це й не позначається на загальному результаті.

Отримані нами дані дозволяють прогнозувати ефективність засвоєння прочитаної інформації на основі аналізу поточної ЕЕГ. Зважаючи на те, що загалом низька СП в бета-діапазоні і висока СП тета-ритму сприяла кращому відтворенню змісту в довготривалій перспективі, доцільним є впровадити метод керування біоритмами мозку на основі біологічного зворотного зв'язку, даючи можливість людині перейти в оптимальний для засвоєння функціональний стан, після чого починати сеанс навчання.

Загалом, отримані дані вказують на припустимість використання електронних читальних пристроїв для навчальних цілей, зважаючи на відсутність різниці в засвоєнні інформації в цілому. Проте слід наголосити на важливості подальших досліджень, які мають враховувати більш тривалі сесії читання, які дадуть змогу оцінити динаміку виникнення втоми, вплив яскравості екрана пристрою на функціональний стан читача та ефективність його навчання.

Висновки

1. Ефективність засвоєння інформації з паперового та електронного носія не відрізняється.
2. Відмінностей амплітудно-частотних характеристик ЕЕГ під час читання паперової та електронної книги не виявлено.
3. Виявлено ЕЕГ-кореляти кращого засвоєння тексту обстежуваними. Краще відтворювали зміст прочитаного наукового тексту через 2 тижні ті учасники, в яких під час читання зареєстрували більш низькі значення спектральної потужності в

бета-діапазоні (електронна версія) та вищі значення потужності тета-ритму (паперова версія). Для художнього тексту предиктором кращого відтворення була менша спектральна потужність в альфа та дельта-діапазонах ЕЕГ під час читання паперової версії.

Література

1. Reading linear texts on paper versus computer screen: Effects on reading comprehension/ Anne Mangen, Bente R. Walgermo, Kolbjørn Brønne [et al.] // *International Journal of Educational Research*. – 2013. – Vol.58.–P.61-68.
2. Learning Efficacy and Cost-effectiveness of Print Versus e-Book Instructional Material in an Introductory Financial Accounting Course/David Annand//*Journal of Interactive Online Learning*. – 2008. – Vol.7. – P.152-164.
3. Computerized presentation of text: Effects on children's reading of informational material/ Kerr, M. A., & Symons, S. E.// *Reading and Writing*–2006.–Vol.19(1).–P.1–19.
4. Subjective impressions do not mirror online reading effort: concurrent EEG-eyetracking evidence from the reading of books and digital media/ Kretzschmar F1, Pleimling D, Hosemann J, Füssel S, Bornkessel-Schlesewsky I, Schlesewsky M.// *Academic Journal PLoS ONE*. – 2013. – Vol.8. – Issue 2. – P.1.
5. Pupil Dilation and EEG Alpha Frequency Band Power Reveal Load on Executive Functions for Link-Selection Processes during Text Reading/ Scharinger C, Kammerer Y, Gerjets P. // *Academic Journal PLoS ONE*. – 2015. – Vol.10. – Issue 6. – P.1.
6. Дифференціальна психофізіологія чоловіка і жінки / Ільїн Е.П. // *Пітер*. – 2003 – 544 с.
7. Ellen R. Grass Lecture: Extraordinary EEG/Tatum, William O.//*Neurodiagnostic Journal*. – 2014. – Vol.54.1. – P.3–21.
8. Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations./Gennady G. Knyazev// *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2007. – Vol.31. – P.377–395
9. EEG beta band activity is related to attention and attentional deficits in the visual performance of elderly subjects/Mateusz Gola, Mikołaj Magnuski, Izabela Szumska, Andrzej Wróbel// *International Journal of Psychophysiology*. – 2013. – Vol.89. – P.334–341.
10. Frontal theta EEG activity correlates negatively with the default mode network in resting state/ René Scheeringa, Marcel C.M. Bastiaansen, Karl Magnus Petersson, Robert Oostenveld, David G. Norris, Peter Hagoort// *International Journal of Psychophysiology*. – 2008. – Vol.67. – P.242–251
11. Relative alpha desynchronization and synchronization during speech perception./Krause, C.M., Porn, B., Lang, A.H., Laine, M.// *Cognitive Brain Research*. – 1997. – Vol.5. – P.295–299.
12. Beta-band oscillations – signalling the status quo? / Engel A. K., Fries P. *Current Opinion in Neurobiology*. – 2010. Vol.20. – P.156-165...

References

1. Anne Mangen, Bente R. Walgermo, Kolbjørn Brønne (2013). Reading linear texts on paper versus computer screen: Effects on reading comprehension. *International Journal of Educational Research*, 58, 61-68.
2. David Annand (2008). Learning Efficacy and Cost-effectiveness of Print Versus e-Book Instructional Material in an Introductory Financial Accounting Course. *Journal of Interactive Online Learning*, 7, 152-164.
3. Kerr, M. A., & Symons, S. E. (2006). Computerized presentation of text: Effects on children's reading of informational material *Reading and Writing*, 19(1), 1-19.
4. Kretzschmar F1, Pleimling D, Hosemann J, Füssel S, Bornkessel-Schlesewsky I, Schlesewsky M. (2013). Subjective impressions do not mirror online reading effort: concurrent EEG-eyetracking evidence from the reading of books and digital media. *Academic Journal PLoS ONE*, 8(2), 1.
5. Scharinger C, Kammerer Y, Gerjets P. (2015). Pupil Dilation and EEG Alpha Frequency Band Power Reveal Load on Executive Functions for Link-Selection Processes during Text Reading. *Academic Journal PLoS ONE*, 10(6), 1.
6. Ilyin E.P.(2003). *Differentsialnaya psihofiziologiya muxhchinyi i zhenschinyi*. (Differential psychophysiology of men and women), St. Petersburg. (In Russ.).
7. Tatum, William O.(2014). Ellen R. Grass Lecture: Extraordinary EEG. *Neurodiagnostic Journal*, 54(1), 3-21.
8. Gennady G. Knyazev (2007). Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 31, 377-395.
9. Mateusz Gola, Mikołaj Magnuski, Izabela Szumska, Andrzej Wróbel (2013). EEG beta band activity is related to attention and attentional deficits in the visual performance of elderly subjects. *International Journal of Psychophysiology*, 89, 334-341.

10. René Scheeringa, Marcel C.M. Bastiaansen, Karl Magnus Petersson, Robert Oostenveld, David G. Norris, Peter Hagoort (2008). Frontal theta EEG activity correlates negatively with the default mode network in resting state. *International Journal of Psychophysiology*, 67, 242-251.
11. Krause, C.M., Porn, B., Lang, A.H., Laine, M. (1997). Relative alpha desynchronization and synchronization during speech perception. *Cognitive Brain Research*, 5, 295-299.
12. Engel A. K., Fries P. (2010). Beta-band oscillations—signalling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*, 20, 156-165.

Summary. Andusiak V. V., Kravchenko V. I. EEG correlates of effective assimilation of information in conditions of reading it from different carriers

Introduction. In modern information environment there is a constant transition from reading texts from the books to reading them from the screens, which is caused by the increasing number of digital reading devices (computers, laptops, e-books, tablet devices, smartphones). Today, people prefer more electronic textbook to a paper version of the same book. However, there are some discussions about what is better. Is there some difference between a text read from electronic device and a print edition? Does it affect students' understanding of a text?

Purpose. The main aim was to compare the effectiveness of information retain received from a paper book and an e-book and find out whether there are differences in the work of the brain during reading from these sources.

Methods. Forty three students took part in this research. Two passages of text were chosen from literary and science books, and were presented in PDF-file and in printed copy which the participants had to read. During the reading an electroencephalograph was recording the electrical activity of the brain. EEG spectral power were calculated in ranges: delta (0.5-3 Hz), theta (4-7 Hz), alpha (8-12 Hz) and beta (13-30 Hz), 16 symmetric leads. Immediately after the reading and in two weeks after the participants passed a test on the text content, indicating the level of the text recollection. Statistical analysis of indicators of spectral power (SP) was performed in each EEG range, inter-group and intra-group comparisons, correlation analysis between indicators EEG results and assimilation of information.

Results. Comparative analysis of the EEG revealed no significant differences between the SP of studied ranges during reading paper books and e-books either for scientific or for literary text. There were no differences in the retaining of the text immediately after reading (literary text paper version 6 [4, 7], electronic version 7 [5, 7], scientific text paper version 6 [4, 7], electronic version 6 [4, 7]). Differences in long-term assimilation of information (in 2 weeks) were also not established: (literary text paper version 4 [3, 5], the electronic version 5 [4, 6]; scientific text paper version 5 [4, 6] electronic version 6 [5, 7]).

Originality. For the first time a comparative analysis of the electrical activity of the brain while reading text from paper and electronic sources was conducted. For the first time revealed the EEG correlates of effective learning of the text in conditions of reading it from different carriers.

Conclusion. EEG correlates of better text learning depending on the paper or e-book type were discovered. In the participants, which gave more correct answers in 2 weeks after reading the text (scientific text in paper version), during the reading a higher SP was registered in theta range in most areas of the right hemisphere and the left temporo-parietal ($0,42 < r < 0,72$). Instead, better remembering of the text in the electronic version was correlated with lower SP beta in the range EEG during reading ($-0,78 < r < -0,46$). Better recollection of fiction text correlated with lower SP alpha and beta-1 ranges only for the paper version ($-0,42 < r < -0,58$).

Key words: reading, paper books, E-books, EEG, learning, memory, brain.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ

Одержано редакцією 15.01.2016

Прийнято до публікації 15.05.2017