

ЕЕГ-АКТИВНІСТЬ У ПРАВШІВ ТА ЛІВШІВ ПРИ МОНО- ТА БІНОКУЛЯРНОМУ СПРИЙНЯТТІ ВЕРБАЛЬНОЇ ЕМОЦІЙНО ЗАБАРВЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Надійшла 25.05.15

Проведено порівняльну оцінку характеристик ЕЕГ при моно- та бінокулярному виконанні тесту Струпа з пред'явленням зображень емоційно нейтральних, емоційно забарвлених слів, а також «псевдослів». Серед 60 обстежуваних налічувалися 30 лівшів з домінантним лівим оком та 30 правшів з домінантним правим оком. У правшів у разі бінокулярного сприйняття вербальної емоційно забарвленої інформації когерентність коливань тета-ритму в центральних і тім'яних парах відведень зростала, тоді як у лівшів у таких умовах збільшувалися рівні когерентності коливань бета-високочастотного субритму у внутрішньопівкульних парах. При бінокулярному виконанні обох тестів міжпівкульна когерентність змінювалася, тоді як при монокулярному сприйнятті зміни когерентності спостерігалися лише в межах однієї півкулі. У разі використання сигналів-псевдослів рівень синхронізації активності локальних нервових мереж у правшів істотніше зростав в межах лівої півкулі; у лівшів це відбувалося в обох півкулях при послабленні міжпівкульної взаємодії. В тестах обох видів в умовах монокулярного сприйняття домінантним оком і справжніх слів, і псевдослів ЕЕГ-активність як у правшів, так і у лівшів практично не розрізнялася. Це може свідчити про ігнорування нерелевантного семантичного контексту стимулів при обробці інформації, котра надходить через домінантний зоровий канал.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: тест Струпа, ЕЕГ, спектральна потужність, когерентність, домінантне око, правші, лівші.

ВСТУП

Незважаючи на проведені дослідження, в яких порівнювали церебральну активність у правшів та лівшів при виконанні тест-завдань різних типів [1, 2], навіть феноменологія використання домінантного ока правшами і лівшами залишається недостатньо вивченою. Зорову домінантність визначають як тенденцію надавати перевагу візуальній інформації, що надходить з одного (домінантного) ока, і звертати меншу увагу на інформацію, сприйняту іншим (недомінантним) оком [3]. Чи можна вважати, що при бінокулярному сприйнятті відбувається проста сумація інформації, переданої через лівий і правий сенсорні зорові тракти? Чи відрізняється обробка складної візуальної інформації (яку несуть певні символи, зокрема зображення слів) під час виконання завдань із прихо-

ваним змістом в умовах пред'явлення відповідних стимулів монокулярно до домінантного і недомінантного очей? Нарешті, чи відрізняються нейрофізіологічні механізми обробки інформації при монокулярному сприйнятті у лівшів та правшів? Слід визнати, що ці питання раніше практично не вивчалися. Отже, низка анатомічних та функціональних відмінностей мозкових структур у правшів та лівшів, зокрема такі відмінності, пов'язані із зоровою домінантністю, можуть бути предиктором фізіологічних відмінностей в аналізі семантичної сенсорної інформації.

У нашій роботі ми, беручи до уваги характеристики ЕЕГ-активності, намагалися проаналізувати специфіку мозкової обробки зорових вербальних стимулів у правшів та лівшів в умовах монокулярного сприйняття таких сигналів домінантним оком та при перегляді слів різного змісту лівим оком у лівшів та правим оком у правшів у разі проходження емоційного тесту Струпа. В останньому обстежуваному ставилося завдання розпізнавати колір

¹ Київський національний університет ім. Тараса Шевченка (Україна).
Ел. пошта: masha_r26@ukr.net (М. П. Бондаренко).

написання слів (які могли нести певне емоційне навантаження), не читаючи їх. Даний феномен активно вивчався впродовж попереднього десятиріччя [4]. Незважаючи на деякі протиріччя між даними, отриманими різними авторами, у цілому було показано, що емоційно забарвлені слова викликають мимовільне «захоплення» уваги людини, незважаючи на усвідомлену установку тестованому ігнорувати семантичне значення слів, надану в попередній інструкції [6].

МЕТОДИКА

У дослідженні взяли участь 60 добровольців – студенти обох статей віком 18–22 роки. Згідно з профілем міжпівкульної асиметрії, визначеної за відомою методикою [7], обстежувані були поділені на чотири групи, кожна з яких складалась із 15 осіб. До тестування залучалися лише особи з коефіцієнтом асиметрії головного мозку ≥ 71 %. Обстежувані двох «монокулярних» груп (перша – правші з доміантним правим оком, друга – лівші з доміантним лівим оком) виконували завдання, використовуючи лише доміантне око; друге око було закрито спеціальною пов'язкою. Дві «бінокулярні» групи, сформовані з аналогічних обстежуваних, виконували завдання, використовуючи обидва ока. Зорову доміантність визначали за допомогою тесту Порта на прицілювання (Porta sighting test) [8]. Спочатку всі обстежувані виконували так званий емоційний тест (ТЕ). Останній включав в себе реакції на зображення емоційно забарвлених та нейтральних слів. Наступний тест, виконуваний обстежуваними, був аналогічним першому, але при цьому обстежуваним пред'являли псевдослова, які були набором літер, позбавлених будь-якого сенсу (ТП-тест). Крім того, через 10 хв після закінчення виконання ТЕ обстежуваних просили відтворити слова, які вони бачили на екрані.

В обох тестах обстежуваним було запропоновано визначати, яким кольором написане слово, не читаючи його. При цьому обстежувані мали натиснути клавішу правою рукою, якщо слово було написане червоними літерами, або лівою рукою, якщо слово було написане зеленими літерами. Вимірювали латентні періоди (ЛП) таких сенсо-моторних реакцій, розраховували їх середні значення для правої та лівої рук, окремо для стимулів різних типів (нейтральних та емоційних) та кількість помилкових реакцій у кожному тесті.

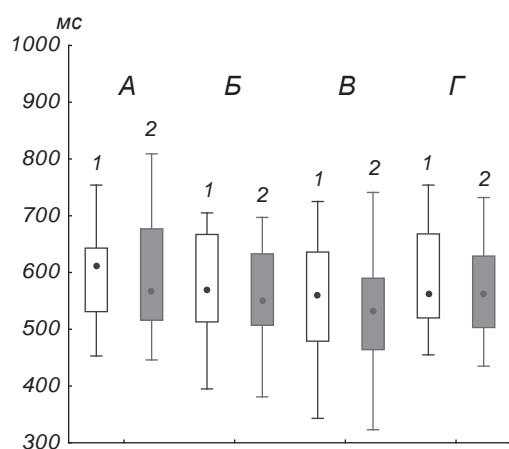
У перебігу експерименту при виконанні обох тестів у всіх обстежуваних реєстрували ЕЕГ за наступною схемою: в стані спокою із закритими очима – 5 хв, у стані спокою з відкритими очима – 2 хв, під час виконання ТЕ – 2 хв, перерва між тестами з відкритими очима – 2 хв, під час виконання тесту із псевдословами (ПС-тест) – 2 хв, у стані спокою із закритими очима – 2 хв. ЕЕГ реєстрували, застосовуючи діагностичний комплекс «Нейрон-Спектр» (ООО «Нейрософт», РФ). Використовували монополярне відведення; референтним електродом слугував контакт на мочці іпсилатерального вуха. Електроди розміщували згідно з міжнародною системою 10–20 у 16 симетричних точках поверхні голови – префронтальних (Fp1/Fp2), середньофронтальних (F3/F4), латерофронтальних (F7/F8), центральних (C3/C4), передніх скроневих (T3/T4), задніх скроневих (T5/T6), тім'яних (P3/P4) та потиличних (O1/O2). Для аналізу ЕЕГ-показників використовували лише безартефактні фрагменти запису. За допомогою програмного забезпечення «Нейрон-Спектр» на основі алгоритму швидкого перетворення Фур'є обчислювали спектральну потужність (СП) коливань наступних частотних діапазонів та субдіапазонів: тета (4.0–7.9 Гц), альфа (8.0–12.9 Гц), бета-низькочастотного (13.0–19.9 Гц) та бета-високочастотного (20.0–35.0 Гц). Епоха аналізу становила 2.56 с, епоха перекриття – 1.28 с, частотна смуга підсилювачів – від 1 до 40 Гц. Визначали коефіцієнти когерентності (КК) осциляцій вказаних вище ритмів. Аналізували лише випадки з КК, що перевищували 0.5. Для оцінки рівнів внутрішньопівкульної інтеграції використовували наступні пари відведень: Fp1–F3, Fp2–F4, F7–T3, F3–C3, F4–C4, F8–T4, T3–T5, C3–P3, C4–P4, T4–T6, P3–O1, P4–O2, C4–O2, Fp1–T3, Fp2–T4, T3–O1 та T4–O2; міжпівкульну інтеграцію оцінювали на основі когерентності в парах відведень Fp1–Fp2, F3–F4, C3–C4, P3–P4, O1–O2, F7–F8, T3–T4 та T5–T6.

Статистичний аналіз даних проводили за допомогою пакета «STATISTICA 7.0» («Statsoft», США, 2004). Оскільки розподіли більшості показників, отриманих у цих дослідженнях, були відмінними від нормального (за критерієм Лілліфор), для порівняння залежних виборок застосовували непараметричний Т-критерій знакових рангів Вілкоксона. Критичний рівень значущості міжгрупових відмінностей P при перевірці статистичних гіпотез приймався рівним 0.05. Для розподілів виборок вказували медіани та

міжквартильний розкид (Ме [25 %; 75 %]).

РЕЗУЛЬТАТИ

Результати вимірювання ЛП сенсо-моторних реакцій під час тесту з пред'явленням нейтральних та емоційно забарвлених слів показали, що при сприйнятті нейтральних слів у всіх обстежуваних (правшів, лівшів з відкритим домінантним оком та обстежуваних контрольних груп) була практично відсутня будь-яка різниця між ЛП рухів правою та лівою руками (рис. 1). Такі результати можна розглядати як вказівку на деяке ігнорування нейтрального контексту слів, оскільки в разі пред'явлення емоційних слів різниця між ЛП реакцій, викликаних правою та лівою руками, виявлялась у всіх групах обстежуваних. Зважаючи на особливості розташування мовного центру, можна припустити, що



Р и с. 1. Латентні періоди реакцій на пред'явлення слів в емоційному тесті Струпа в різних групах обстежуваних. *A, B* – у правшів при сприйнятті домінантним оком (*A*) та бінокулярному сприйнятті (*B*); *B, G* – у лівшів при таких самих варіантах сприйняття відповідно. *1* та *2* – при рухах лівою та правою рукою відповідно. Наведені значення середнього, похибок середнього та стандартних відхилень відповідно.

при реакції на емоційні слова відбувається автоматичний (мимовільний) аналіз семантичного значення слова; це й призводить до певного збільшення часу реакції контралатеральною (щодо розташування мовного центру) рукою на пред'явлення саме таких слів, тоді як нейтральні слова не здатні автоматично (мимовільно) захоплювати увагу. Певним доказом такого припущення можуть бути результати наших попередніх досліджень [9], де нами була виявлена різниця ЛП реакцій на нейтральні слова, реалізованих правою та лівою руками, але лише за умови використання обстежуваними недомінантного ока.

Під час проходження ТЕ з використанням бінокулярного сприйняття в групі правшів спостерігалася вірогідно більша кількість помилок, ніж при бінокулярному перегляді псевдослів (див. таблицю). У той же час така різниця в кількості помилок була відсутньою в разі монокулярного сприйняття ними цих слів домінантним оком, причому в групах як правшів, так і лівшів.

Згідно з оцінкою потужності різних ритмів ЕЕГ та КК під час проходження ТЕ, в групі правшів в умовах бінокулярного сприйняття при виконанні завдання з емоційними словами спостерігалися більші СП тета-ритму в обох лобних ділянках та в тім'яно-скроневої зоні правої півкулі на тлі зростання СП бета-ритму в префронтальних, потиличних та лівій лобній зонах (рис. 2, *A*). Під час виконання завдання з такими словами зростала когерентність коливань тета-ритму в центральній та тім'яній парах відведень (*B*), тоді як когерентність осциляцій цього ритму в тім'яно-потиличній парі, бета-низькочастотного субритму в префронтально-фронтальній парі правої півкулі та коливань альфа-ритму у фронтально-скроневої парі лівої півкулі знижувалася.

У ліворуких обстежуваних під час виконання даного тесту реєстрували істотну активність майже в усіх відведеннях; зокрема, відбувалося зростан-

Кількість помилок у групах тестованих (медіани та квартилі 25 і 75 % відповідно)

Група		Кількість помилок	
		тест із словами	тест із псевдословами
Правші з домінантним правим оком	праве око відкрите ($n = 15$)	6 [4;7]	4 [1;5]
	контроль ($n = 15$)	5 [5;6]*	3 [2;5]
Лівші з домінантним лівим оком	ліве око відкрите ($n = 15$)	3 [2;6]	4 [2;6]
	контроль ($n = 15$)	5 [2;6]	3 [0;6]

* Різниця між значеннями у тестах зі словами та псевдословами вірогідна ($P < 0.05$).

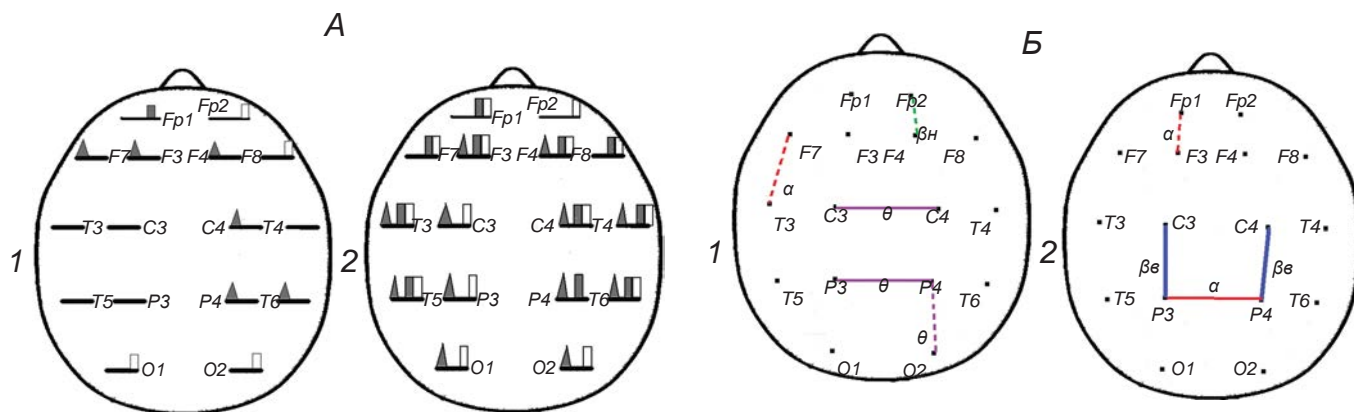


Рис. 2. Топокарти значущих відмінностей спектральної потужності – СП (А) та когерентності (Б) основних ритмів ЕЕГ правшів (1) та лівшів (2) під час виконання тесту з емоційними та нейтральними словами від таких у стані спокою при бінокулярному сприйнятті.

На А горизонтальними лініями позначена відсутність вірогідної різниці між значеннями СП у відповідних відведеннях. Знаки над лінією – збільшення, під лінією – зменшення СП. Трикутниками позначені зміни СП коливань θ -діапазону, чорними прямокутниками – β -низькочастотного субдіапазону, білими прямокутниками – β -високочастотного субдіапазону. На Б суцільні лінії відповідають збільшенню, пунктирні – зменшенню когерентності. Тонкі лінії – коефіцієнт когерентності між 0.5, та 0.7, товсті – більше 0.7.

ня СП коливань тета- і бета-діапазонів (рис. 2, А). Когерентність осциляцій альфа-ритму в тім'яній парі вірогідно збільшувалася; це ж саме стосувалося бета-високочастотного субритму в центрально-тім'яних парах обох півкуль (Б). Паралельно зменшувалася когерентність коливань альфа-ритму в префронтально-фронтальній парі лівої півкулі.

У групі правшів у перебігу монокулярного сприйняття домінантним оком спостерігалось збільшення СП бета-високочастотного субритму в префронтальних, потиличних та тім'яних зонах обох півкуль, задній скроневій ділянці лівої півкулі, а також латерофронтальній і передній скроневій

ділянках правої півкулі (рис. 3, А). Це може бути пов'язане із зосередженням уваги суто на завданні при ігноруванні емоційного контексту. На користь такої інтерпретації свідчить відсутність у даному випадку зростання СП тета-ритму – феномена, чітко виявленого у таких умовах у обстежуваних у «бінокулярній» групі (рис. 2, А). КК у діапазоні альфа-ритму в префронтально-фронтальній парі правої півкулі вірогідно зменшувався, що може вказувати на ріст загального рівня активації мозку порівняно з таким у стані спокою (рис. 3, Б). Відзначимо також, що у правшів сприйняття зображень слів домінантним правим оком було пов'язане

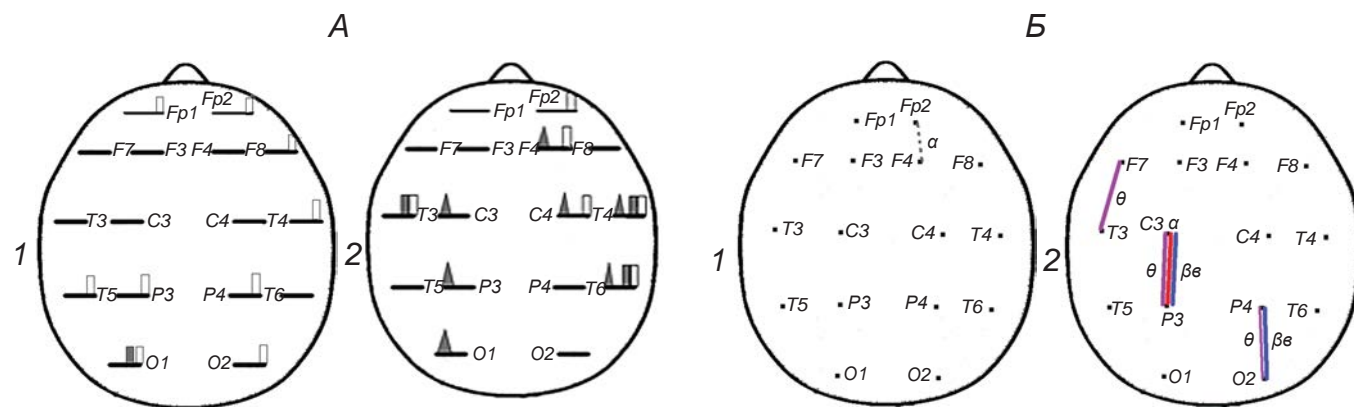


Рис. 3. Топокарти значущих відмінностей спектральної потужності (А) та когерентності (Б) основних ритмів ЕЕГ правшів (1) та лівшів (2) під час виконання тесту з емоційними та нейтральними словами від таких у стані спокою при монокулярному сприйнятті (домінантне око).

Позначення аналогічні таким на рис. 2.

зі збільшенням СП бета-ритму в потиличних зонах обох півкуль

У лівшів при сприйнятті слів-сигналів доміантним оком спостерігалися зміни ЕЕГ, відмінні від таких у правшів (рис. 3, А). У даному випадку в мозку обстежуваних зростала СП тета-ритму в центрально-парієтальних зонах та СП бета-ритму, здебільшого в правій гемісфері. Когерентність коливань тета-, альфа- та бета-високочастотного діапазонів у центрально-тім'яній парі, тета-осциляцій у фронтально-скроневої парі лівої півкулі та високочастотних бета-коливань утім'яно-потиличній парі правої півкулі вірогідно збільшувалася (Б). Порівняно з тим, що спостерігалося при використанні бінокулярного зору (рис. 2, Б), була очевидною відсутність міжпівкульної взаємодії. В обох «монокулярних» групах зміни КК на всіх частотах відбувалися тільки в межах однієї півкулі (рис. 3, Б).

Як показала оцінка значень СР та КК під час проходження ПС-тесту, в групі правшів при бінокулярному сприйнятті виявлялася досить очевидна тенденція ($P = 0.06$) до зниження потужності коливань низькочастотного бета-діапазону в центральних та скроневих ділянках правої півкулі (рис. 4, А) порівняно з тим, що спостерігалось у стані спокою з відкритими очима. Когерентність коливань бета-низькочастотного діапазону в центральній татім'яній парах зменшувалась (Б). У цілому у правшів результати змін як СП, так і когерентності свідчили про значно нижчий рівень навантаження на ЦНС під час виконання цього завдання порівняно з таким при сприйнятті вербальної емоційної інформації в першому тесті. Разом з тим у групі лівшів у таких умовах

спостерігалося зростання СП тета-ритму у фронтальних, центральних,тім'яних та задніх скроневих зонах обох півкуль і в потиличній зоні лівої півкулі, а також потужності низькочастотного бета-діапазону в локусах С3 та Р4 (А). Когерентність тета-активності в центральній парі вірогідно зростала, а в діапазоні альфа-ритму втім'яній парі татім'яно-потиличній парі лівої півкулі зменшувалася (Б).

Виконання ПС-тесту в умовах монокулярного сприйняття доміантним оком призводило до досить істотної активації мозку тестованих обох експериментальних груп. Зокрема, в групі обстежуваних з відкритим правим оком спостерігалося збільшення СП тета-ритму в лобних та скроневих зонах обох півкуль (рис. 5, А), збільшення потужності бета-низькочастотного субритму в зонах F7 і O2, а також бета-високочастотного субритму в локусах F7, T5, P3, P4, O1 та O2. КК альфа- та тета-діапазонах у фронтально-скроневої, фронтально-центральної ітім'яно-потиличній парах вірогідно зменшувалися (Б). Це ж саме стосувалось альфа-ритму в центрально-тім'яній парі відведень та низькочастотного бета-ритму втім'яно-потиличній та фронтально-скроневої парах лівої півкулі.

У групі обстежуваних з відкритим лівим оком на тлі зростання потужності тета-ритму підвищувалася СП високочастотного бета-субдіапазону в правих скроневих та лівій латерофронтальній зонах (рис. 5, А). Когерентність коливань тета-ритму в центрально-тім'яній парі правої півкулі вірогідно зростала, а в діапазоні альфа-ритму в префронтально-фронтальній парі лівої півкулі та в діапазонах альфа- та тета-ритмів у префронтально-

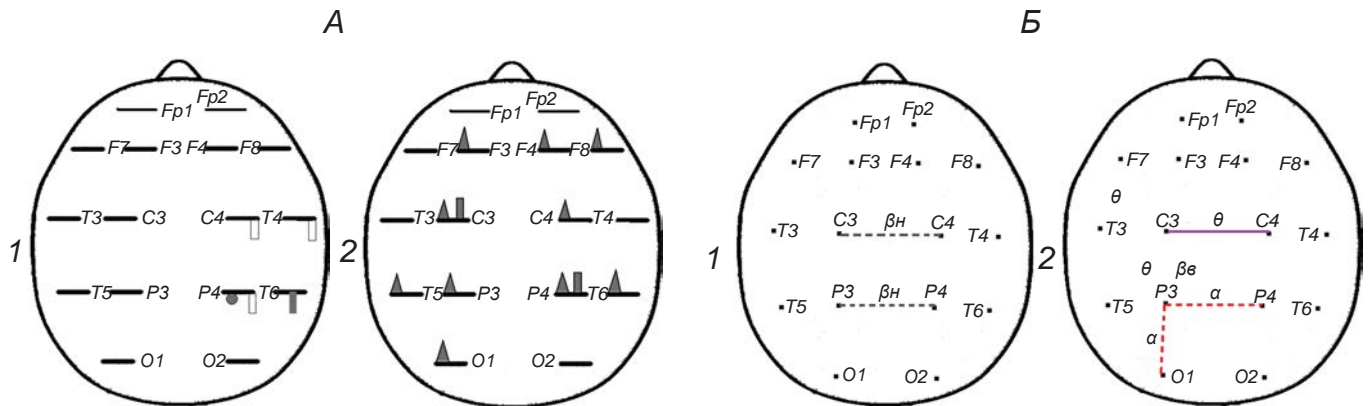
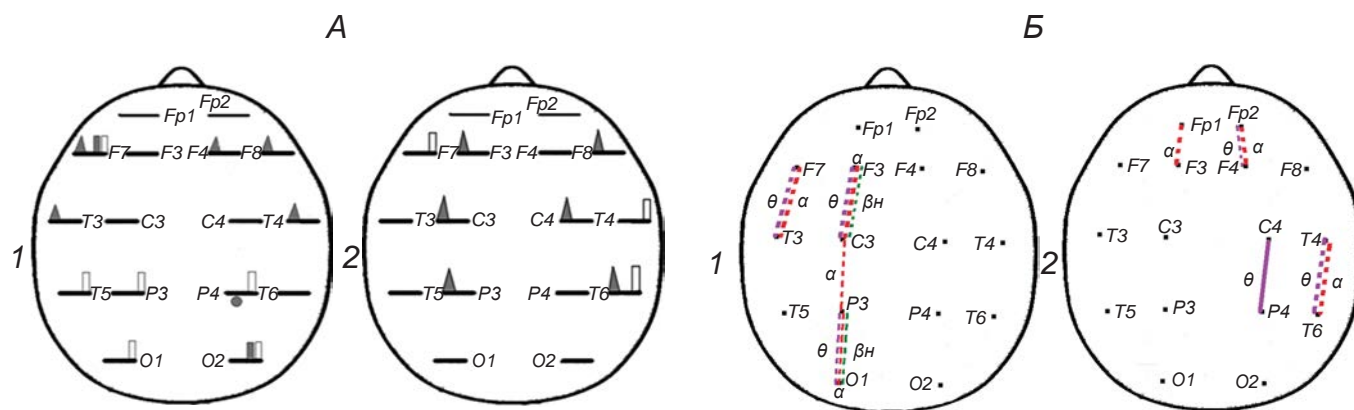
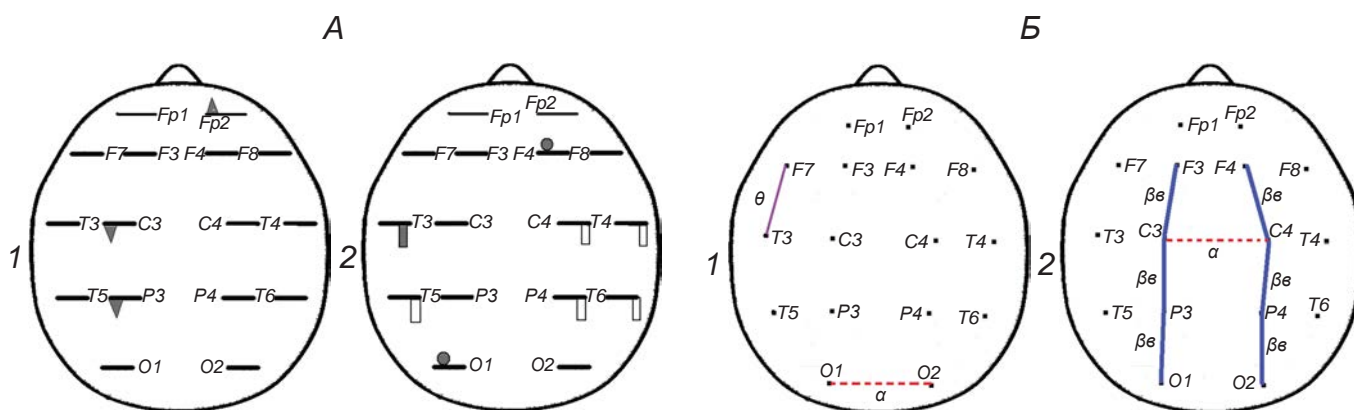


Рис. 4. Топокарти значущих відмінностей спектральної потужності (А) та когерентності (Б) основних ритмів ЕЕГ правшів (1) та лівшів (2) під час виконання тесту із псевдословами від таких у стані спокою при бінокулярному зорі. Колом позначені зміни потужності коливань α -діапазону. Решта позначень аналогічні таким на рис. 2.



Р и с. 5. Топокарти значущих відмінностей спектральної потужності (А) та когерентності (Б) основних ритмів ЕЕГ правшів (1) та лівшів (2) під час виконання тесту із псевдословами від таких у стані спокою при монокулярному сприйнятті (домінантне око). Позначення аналогічні таким на рис. 2.



Р и с. 6. Топокарти значущих відмінностей спектральної потужності (А) та когерентності (Б) основних ритмів ЕЕГ правшів (1) та лівшів (2) під час виконання тесту із псевдословами від таких у тесті з емоційними та нейтральними словами при бінокулярному сприйнятті. Позначення аналогічні таким на рис. 2.

фронтальній та скроневій парах правої півкулі – зменшувалась (Б).

Порівняння значень СП та КК під час проходження тестів зі справжніми словами та псевдословами (ТЕ та ПС-тест) показало, що в умовах бінокулярного сприйняття в групі правшів потужність тета-ритму в лівих центрально-тім'яних зонах зменшувалась (рис. 6, А). Таке зниження найімовірніше могло бути пов'язане з відсутністю емоційно забарвлених слів у завданні. При цьому зростала СП тета-ритму в правій префронтальній ділянці, що цілком могло розглядатись як свідотство використання оперативної пам'яті під час виконання даного завдання.

Когерентність коливань тета-ритму в скроневій парі лівої півкулі вірогідно зростала, а в діапазоні

альфа-ритму в потиличній парі – вірогідно зменшувалась (рис. 6, Б). У групі лівшів потужність бета-осциляцій у скроневих зонах обох півкуль, а також у центральної татім'яній ділянках правої півкулі знижувалась; СП альфа-ритму збільшувалась у правій фронтальній та лівій потиличній зонах (А). Ці зміни можуть бути пов'язаними зі зменшенням когнітивного навантаження в завданні зі псевдословами порівняно з таким у тесті зі справжніми словами. Когерентність у діапазоні альфа-ритму також вірогідно зменшувалась у центральної парі та вірогідно зростала у високочастотному бета-субдіапазоні у фронтально-центрально-центрально-тім'яних татім'яно-потиличних парах відведень обох півкуль (Б).

В умовах монокулярного сприйняття

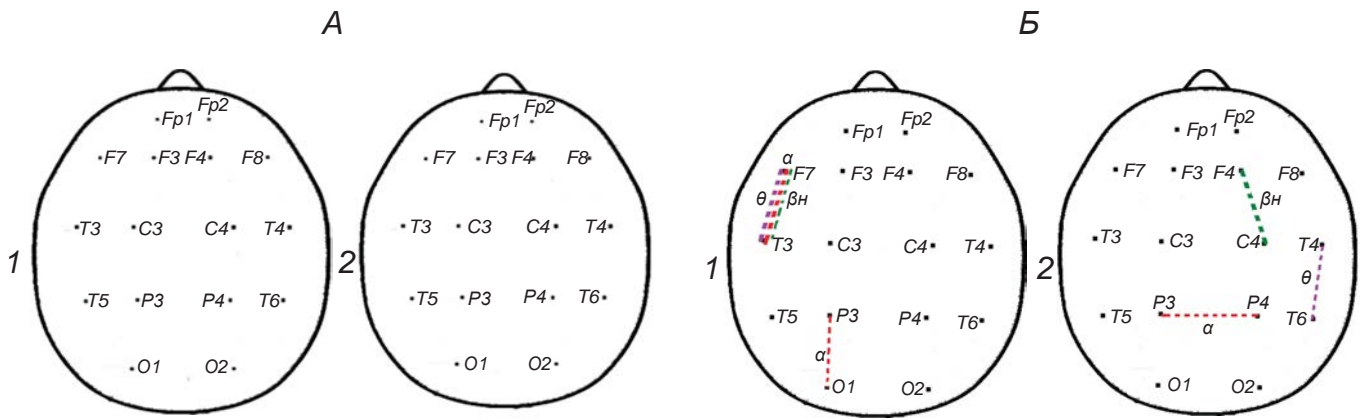


Рис. 7. Топокарти значущих відмінностей спектральної потужності (А) та когерентності (Б) основних ритмів ЕЕГ правшів (1) та лівшів (2) під час виконання тесту із псевдословами від таких у тесті з емоційними та нейтральними словами при монокулярному сприйнятті (домінантне око). Позначення аналогічні таким на рис. 2.

домінантним оком порівняння характеру ЕЕГ в обох тестах не виявило будь-яких вірогідних змін СП основних ритмів у обстежуваних усіх груп (рис. 7, А). Разом з тим виконання другого тесту у правшів супроводжувалося зниженням КК на частотах тета-, альфа- та низькочастотного бетаритмів у фронтально-скроневої парі та альфа-ритму в тім'яно-потиличній парі лівої півкулі (Б). У групі лівшів КК коливань альфа-ритму в тім'яній парі збільшувався, а в діапазоні тета-ритму в скроневих ділянках та низькочастотного бета-субритму у фронтально-центральної парі правої півкулі – зменшувався.

ОБГОВОРЕННЯ

При аналізі патернів ЕЕГ-активності мозку правшів і лівшів під час виконання завдань із кольоровою диференціацією слів в умовах використання звичайного бінокулярного зору слід брати до уваги встановлені дотепер дані про те, що в перебігу виконання емоційного Струп-тесту відбувається неусвідомлена активація регіонів мозку, залучених в аналіз семантичного значення слова, а також зон, залучених в обробку емоційної інформації, можливо закодованої в значенні тестових слів. Із функцією розпізнавання слів найчастіше пов'язують задню ділянку скронево-потиличної кори лівої півкулі, прилеглу до веретеноподібної звивини – visual word form area (VWFA). Активація цієї зони відбувається при появі візуальних стимулів, що складаються з літер, причому незалежно від

їх розташування в просторі [10]. В автоматичний (мимовільний) аналіз лексичних одиниць також залучена задня нижня скронева звивина разом із VWFA [11].

Вважають, що аналіз емоційного контексту стимулів загалом і слів зокрема забезпечується значною мірою тім'яно-скроневи ділянками неокортексу та амігдалярним комплексом. Ці структури впливають одна на одну через реципрокні зв'язки. Також показано, що при обробці емоційно значущих слів відбувається інтенсивніша активація лівої екстрастріарної кори порівняно з тим, що спостерігається в разі використання нейтральних стимулів [12]. З появою на екрані цільових слів із негативним забарвленням рееструвалась активність дорсолатеральної префронтальної кори та передньої поясної звивини [12].

Отже, як свідчать наші дані, когнітивне навантаження з емоційним прихованим змістом реалізується у правшів і лівшів за допомогою досить специфічних зв'язків. У перших воно забезпечується взаємодією кортикальних нейронів на частотах тета-ритму, причому переважно в правій півкулі, та білатеральним зростанням потужності високочастотних компонентів ЕЕГ (бета-активності) в лобних і потиличних ділянках. Оскільки збільшення СП бета-ритму пов'язують зі складною обробкою мультимодальних стимулів [13] та фокусуванням уваги [14], можна дійти висновку, що у правшів кодування вербальних стимулів відбувається локальніше, ніж у лівшів, а саме переважно в лобних і потиличних частках. Зв'язок між цими фокусами активації та загальний

рівень уваги у праворуких забезпечується на основі відносно низькочастотної активності (тета-ритму) [16]. У лівшів же відбувається вельми широка активація майже всього неокортексу на частотах як тета-, так і бета-ритмів. Такий патерн, ймовірно, може бути пов'язаним із більш амбілатеральним, ніж у правшів, представленням вербальних та конструктивних функцій [17].

Аналіз когерентності ЕЕГ-коливань виявив відмінності між правшами і лівшами щодо вказаної характеристики у симетричних центральних і тім'яних ділянках, які є зонами кортикальних проекцій дієнцефальних структур, задіяних в організацію циклів сон–неспанння [18]. Наші дані загалом свідчать, що у правшів підвищення когнітивного навантаження супроводжується зростанням міжгемісферної когерентності в згаданих ділянках на частоті тета-ритму, тоді як у лівшів збільшуються внутрішньопівкульні прояви когерентності на відносно високих частотах. Цей факт може вказувати на різні механізми міжпівкульної взаємодії нейронів при функціональному навантаженні у правшів і лівшів. Проте в обох обстежених групах когнітивне навантаження щодо визначення кольору написання слів викликало посилення міжпівкульної взаємодії, на користь чого свідчило зростання КК.

У разі монокулярного сприйняття домінантним правим оком емоційних та нейтральних слів-стимулів у правшів спостерігалось збільшення СП бета-ритму в потиличних зонах обох півкуль. На відміну від цього, у лівшів використання тільки лівого ока супроводжувалося зростанням СП тета-ритму в потиличній зоні лише іпсилатерально. Загалом, якщо порівнювати бінокулярне сприйняття із монокулярним при виконанні емоційного Струп-тесту, можна дійти висновку про те, що монокулярне сприйняття супроводжується порівняно меншими змінами СП та лише внутрішньопівкульною синхронізацією активності церебральних нейронних мереж.

Аналіз змін ЕЕГ в умовах використання бінокулярного зору для сприйняття псевдослів на кшталт «роукса», «шнаек» і т. п., тобто коли обстежуваним потрібно було диференціювати їх лише за кольором, показав у групі лівшів вірогідне зростання КК у діапазоні тета-ритму в центральній парі відведень, а також зменшення в діапазоні альфа-ритму в тім'яній парі та тім'яно-потиличній парі лівої півкулі. За даними Жаворонкової [18], міжпівкульна взаємодія на частоті альфа-ритму

зменшується при стресі; значення міжпівкульних КК є меншими в осіб з вищим рівнем кортизолу в крові. В нашій роботі ми не контролювали рівень стресу в обстежуваних. Проте за картиною змін ЕЕГ у лівшів (посилення тета-ритму по всьому скальпу, зменшення когерентності в тім'яних зонах двох півкуль в альфа-діапазоні) можна припустити, що лівші зазнавали більшого напруження під час виконання цього тесту. Іншими словами, виконання завдання із псевдословами вірогідно викликало інтенсивнішу мозкову активацію і напруження у лівшів, аніж у правшів.

Виконання цього ж самого тесту із псевдословами при монокулярному баченні домінантним оком супроводжувалося як у правшів, так і у лівшів змінами СП ЕЕГ, характерними для активації уваги і посилення кодування інформації. Принаймні щодо правшів можна констатувати, що «монокулярне» виконання завдання вимагало більших зусиль з боку мозкових систем забезпечення уваги, ніж у разі використання обох очей. Цікавими при цьому є односпрямовані зміни когерентності в обох умовах. Так, у правшів під час виконання тесту із псевдословами КК знижувались як при бінокулярному, так і при монокулярному баченні. Такі зміни відображують ослаблення синхронізації активності різних мозкових структур, що є доречним у разі виконання вже знайомого, легшого завдання. Звертає на себе увагу той факт, що в обох групах «бінокулярне» виконання тесту із псевдословами супроводжувалося змінами міжпівкульної когерентності, тоді як при монокулярному баченні зростання та зниження синхронізації ЕЕГ-коливань відбувались у межах лише однієї півкулі.

У групі лівшів в умовах монокулярного бачення домінантним оком спостерігалось зростання КК у тета-діапазоні в центральній-тім'яній парі правої півкулі, а у префронтально-фронтальній та скроневої пар правої півкулі цей показник зменшувався. Зростання когерентності на частотах тета-ритму відображує синхронізацію роботи кортикально-субкортикальних мозкових об'єднань під час кодування інформації. Слід наголосити, що такі процеси відбувались у лівшів як при бінокулярному, так і при монокулярному сприйнятті тест-інформації. Порівняння ЕЕГ-параметрів у тесті із псевдословами з такими в тесті із справжніми словами у бінокулярів-правшів виявило зменшення СП тета-ритму в лівих центральній-тім'яних зонах. Це, ймовірно, пов'язано з відсутністю емоційних слів у відповідному завданні. У даному випадку

СП тета-ритму в правій префронтальній ділянці зростало, що може свідчити про використання оперативної пам'яті при виконанні цього завдання (оскільки в обстежуваних найбільш ефективна стратегія вже була сформована). В групі лівшів також було зафіксовано падіння СП, але переважно в бета-діапазоні. Такі зміни відбувались у скронево-тім'яних ділянках обох півкуль; також зростала СП альфа-ритму в лівому потиличному та правому лобному відведеннях. Отже, кількість мозкових зон, залучених у виконання першого завдання, у лівшів порівняно з правшами була помітно більшою. Таким чином, виконання тесту із псевдословами відбувалося при відносно меншій активації мозкових механізмів, що було краще виражено у лівшів.

Загалом, наші результати, отримані з використанням псевдослів, дають всі підстави констатувати наступне. Диференціація слів-стимулів за кольором потребує більшої синхронізації локальних нервових мереж у межах півкуль (лівої – у правшів і обох – у лівшів) при паралельному зниженні міжпівкульної взаємодії.

Досить цікавою була виявлена нами відсутність відмінностей між значеннями СП у ПС-тесті відносно того, що спостерігалось під час ТЕ в обох групах у разі використання лише домінантного ока. При цьому ПС-тест викликав у обстежуваних порівняно слабшу церебральну активацію. Розділення учасників обстеження на групи за зоровою домінантністю дозволило виявити, що в групах із відкритим домінантним оком (у правшів з відкритим правим, а у лівшів – з лівим) мозкова нейродинаміка в завданнях з емоційними словами та псевдословами практично не розрізнялася. Можна припустити, що в разі використання домінантного ока для перегляду обстежуваним вдавалось сконцентруватися саме на вимогах завдання і значною мірою ігнорувати семантичні значення стимулів. Можлива і протилежна ситуація: відбувався ретельний аналіз і слів у першому тесті, і псевдослів – у другому. На це вказувала істотна церебральна активація під час тесту із псевдословами. На користь такої інтерпретації свідчить відсутність відмінностей між кількістю помилок у двох тестах в обох групах обстежуваних, що виконували завдання з відкритим домінантним оком [3].

При бінокулярному сприйнятті проходження другого тесту порівняно з таким першого супроводжувалося зниженням СП коливань тета- і бета-діапазонів і зростанням КК на цих частотах у кожній із півкуль. І навпаки, в умовах

«монокулярності» виконання тесту із псевдословами порівняно із проходженням емоційного Струп-тесту викликало зменшення КК на тлі відсутності будь-яких змін СП у всіх досліджуваних частотних діапазонах.

Отже, при сприйнятті слів домінантним оком спостерігалось посилення високочастотних коливань ЕЕГ. Таке зрушення зазвичай супроводжує інтенсифікацію когнітивних процесів, забезпечуваних мережами лобних і потиличних зон. Як було показано [19], під час вирішення конфліктних завдань типу Струп-тесту (застосовані нами завдання є однією із його модифікацій) зростає мозковий кровоток у двох регіонах головного мозку. Першим із них є поясна звивина та передньолобні зони; ця активність пов'язана з виконанням завдання, що потребує більше уваги (називання кольору написання слова). Другим регіоном є вентральний шлях обробки зорової інформації (потилично-скронева ділянки); його активація пов'язана з нерелевантним щодо завдання читанням слів. Збільшення СП бета-ритму розглядають як корелят посилення ендогенних низхідних процесів формування уваги [13], коли остання цілеспрямовано фокусується на певній ознаці стимулу. Можна припустити, що при сприйнятті інформації домінантним оком обстежувани фокусували увагу на тест-завданні (називанні кольору зображення слова), майже ігноруючи емоційний компонент стимулу. Чітке зональне зростання потужності бета-ритму простежувалось у групі правшів; у групі ж лівшів даний ритм мав правосторонню орієнтацію, і це супроводжувалося збільшенням СП тета-ритму. На користь припущення про ігнорування емоційного контексту свідчать відсутність у обстежуваних змін СП основних ритмів під час проходження тесту із псевдословами порівняно з тестом із реальними словами та відсутність різниці в кількості помилок при виконанні обох тестів.

Слова, які вміщують емоційно значущі для людини компоненти, викликають «захоплення» уваги, незважаючи на свідому установку ігнорувати семантичне значення слів. Про це свідчать більша частка пригаданих «емоційних» слів у всіх групах та більші значення ЛП рухів лівою рукою (вірогідно, в результаті інтерференції в правій півкулі) у відповідь на пред'явлення емоційно забарвлених слів. Ще раз підкреслимо, що ЛП моторних реакцій на нейтральні слова були однаковими при реалізації рухів правою і лівою руками як правшами, так і лівшами.

Наші дані вказують на те, що когнітивне навантаження з емоційним прихованим змістом опрацьовується у правшів і лівшів за допомогою церебральних зв'язків різних типів. У правшів відмічається зростання міжгемісферної когерентності в симетричних центральних і тим'яних ділянках на частоті тета-ритму, тоді як у лівшів при бінокулярному сприйнятті візуальної інформації зростають внутрішньопівкульні рівні когерентності на частотах високочастотного бета-субритму.

Як у правшів, так і у лівшів бінокулярне сприйняття і виконання тестів супроводжувалися змінами міжпівкульної когерентності, тоді як в умовах монокулярного бачення зміни синхронізації нейронної активності відбувались у межах лише однієї півкулі. Загалом можна припустити, що тест-завдання із псевдословами потребує більшої синхронізації активності локальних нервових мереж у правшів у межах лівої півкулі, а у лівшів – в обох півкулях при послабленні міжпівкульної взаємодії. Мозкова нейродинаміка в умовах монокулярної стимуляції провідного ока в перебігу виконання завдань із справжніми словами та псевдословами практично не розрізнялася. Це може свідчити про ігнорування нерелевантного семантичного контексту стимулів під час обробки інформації, що надходить через домінуючий зоровий канал. Завдання із псевдословами виконуються при меншій мозковій активації та з меншою кількістю помилок, ніж завдання зі справжніми словами (це є більш характерним для правшів). Натомість емоційно забарвлені слова мимоволі захоплюють увагу обстежуваних, про що свідчать більша частка пригаданих емоційних слів та більші значення ЛП моторних реакцій на емоційні слова, виконаних лівою рукою. Основним підсумком нашої роботи є те, що виконання лівшами завдань обох типів супроводжується більшою церебральною активацією та вищим емоційним напруженням порівняно з таким у правшів. Це, вірогідно, є свідченням певної функціональної специфіки організації мозку лівшів.

Робота була проведена відповідно до положень Хельсинкської Декларації (1975, пізніші редакції 1996–2013). Від усіх осіб, які брали участь у тестах, була отримана попередня письмова інформована згода.

Автори даної роботи – М. П. Бондаренко (Рассомагіна), О. В. Бондаренко, В. І. Кравченко та М. Ю. Макарчук – підтверджують відсутність будь-яких конфліктів щодо ко-

мерційних або фінансових відношень, відношень з організаціями або особами, котрі будь-яким чином могли бути пов'язані з дослідженням, а також взаємовідносин співавторів статті.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. S. Chaudhary, A. Narkeesh, and N. Gupta, "A study of cognition in relation with hand dominance," *J. Exercise Sci. Physiother.*, **5**, No. 1, 20-23 (2009).
2. W. D. Hopkins and D. A. Washburn, "Do right- and left-handed monkeys differ in cognitive measures," *Behav. Neurosci.*, **108**, No. 6, 1207-1212 (1994).
3. M. Rassomagina, V. Kravchenko, and M. Makarchuk, "Electrophysiological correlates of monocular dominant eye perception of verbal stimuli in emotional Stroop-test," *Biologia*, **60**, No. 2, 79-95 (2014).
4. J. Kissler, R. Assadollahi, and C. Herbert, "Emotional and semantic networks in visual word processing: insights from ERP studies," *Prog. Brain Res.*, **156**, 147-183 (2006).
5. С. С. Костенко, В. І. Кравченко, М. Ю. Макарчук, "Тест для оцінки явища інтерференції при обробці нерелевантних емоційно-значущих вербальних стимулів", *Наук. вісн. Волин. ун-ту ім. Лесі Українки, Сер. Біол. науки*, **3**, 70-73 (2008).
6. D. MacKay, M. Shafto, J. Taylor, et al., "Relations between emotion, memory, and attention: evidence from taboo Stroop, lexical decision, and immediate memory tasks," *Memory Cognit.*, **32**, No. 3, 474-488 (2004).
7. Н. Н. Брагина, Т. А. Доброхотова, *Функциональные асимметрии человека*, Медицина, Москва (1998).
8. N. D. Wide, *A Natural History of Vision*, Massachus. Inst. Technol. press, Cambridge (1999).
9. М. П. Рассомагіна, В. І. Кравченко, М. Ю. Макарчук, "Електрофізіологічні кореляти аналізу вербальних стимулів при їх монокулярному сприйнятті", *Вісн. Львів. ун-ту, Сер. Біол.*, **65**, 348-354 (2014).
10. L. Cohen, S. Lehericy, F. Chochon, et al., "Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the visual word form area," *Brain*, **125**, 1054-1069 (2002).
11. J. Dien, E. Brian, D. Molfese, and B. Gold, "fMRI evidence for early word recognition effects in the posterior inferior temporal gyrus," *Cortex*, **49**, No. 9, 2307-2321 (2013).
12. D. Sabatinelli, M. Margaret, R. Jeffrey, and J. Peter, "Parallel amygdala and inferotemporal activation reflects emotional intensity and fear relevance," *NeuroImage*, **24**, 1265-1270 (2005).
13. J. Compton, T. Banich, A. Mohanty, et al., "Paying attention to emotion: an fMRI investigation of cognitive and emotional Stroop tasks," *Cognit. Affect Behav. Neurosci.*, **3**, No. 2, 81-96 (2003).
14. A. Engel and P. Fries, "Beta-band oscillations – signalling the status quo?" *Current Opin. Neurobiol.*, **20**, No. 2, 156-165 (2010).
15. O. Rozumnikova, "Gender differences in hemispheric organization during divergent thinking: an EEG investigation in human subjects," *Neurosci. Lett.*, **362**, 193-195 (2004).
16. G. Buzsáki, "Electrical wiring of the oscillating brain," *Neuron*, **31**, Nos. 3/16, 342-344 (2001).
17. Т. Доброхотова, Н. Брагина, *Левши*, Книга, Москва (1994).

18. Л. А. Жаворонкова, “Правши и левши: особенности межполушарной асимметрии мозга и параметров когерентности ЭЭГ”, *Журн. высш. нерв. деятельн.*, **6**, 645-662 (2007).
19. В. Harrison, M. Shaw, and M. Yucel, “Functional connectivity during Stroop task performance,” *NeuroImage*, **24**, No. 1, 181-191 (2005).
20. W. Klimesch, R. Freunberger, P. Sauseng, and W. Gruber, “A short review of slow phase synchronization and memory: evidence for control processes in different memory systems?” *Brain Res.*, **1235**, 31-44 (2008).