

МІЖПІВКУЛЬНЕ ПЕРЕНЕСЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИКОНАННІ СКЛАДНОГО ТЕСТУ СТРУПА ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ ПРОСТОРОВОЇ ОЗНАКИ У ПРАВШІВ І ЛІВШІВ

Метою дослідження стало вивчення бімануальних реакцій при виконанні складного тесту Струпа із залученням просторової ознаки. Обстежено 64 студенти ННЦ «Інститут біології і медицини» обох статей, 39 правшів і 25 лівшів. Подразник (слово «зелений» або «красный», написане відповідним або невідповідним кольором) пред'являвся справа або зліва від центру екрану. У випадку збігу кольору слова і його семантичного значення потрібно було натискати кнопку іпсилатеральною рукою (відповідь «так»), розбіжності – контралатеральною рукою (відповідь «ні»). За латентними періодами (ЛП) реакцій і кількістю помилок (КП) правші і лівші не відрізняються. Відповіді «так» надаються швидше, ніж відповіді «ні», як правою, так і лівою рукою, як у правшів, так і у лівшів. Порівняння ЛП однойменних відповідей обох рук показало, що відповіді «так» надаються швидше правою рукою, а відповіді «ні» - лівою як у правшів, так і у лівшів, внаслідок чого різниця ЛП між «так» і «ні» для лівої руки менша, ніж для правої. Це вказує на легше перенесення інформації із лівої півкулі у праву, ніж у зворотному напрямку. Перенесення інформації із однієї півкулі в іншу (різниця між «так» для однієї руки і «ні» для іншої) відрізняється для двох напрямків лише на час калозальної затримки (3,55 мс), що вказує на механізм міжпівкульної синхронізації. При наданні відповідей «так» КП менша, ніж при відповідях «ні». Менша КП при відповідях «ні» для правшів спостерігається при перенесенні інформації із лівої півкулі до правої, тоді як для лівшів – навпаки – із правої півкулі до лівої. Отримані результати вказують на те, що метаконтроль рухів і у правшів, і у лівшів знаходиться в лівій півкулі, а метаконтроль помилок у правшів – у лівій півкулі, а у лівшів – в правій.

Ключові слова: бімануальні реакції, тест Струпа із просторовою ознакою, міжпівкульне перенесення, міжпівкульна синхронізація, правші, лівші.

Постановка проблеми. Міжпівкульна взаємодія є важливою для інтегрування сприйняття і моторного контролю двох частин тіла. Мозолисте тіло забезпечує більшість міжпівкульних зв'язків, уможливаючи таке інтегрування. Поффенбергер (1912) був першим, хто дослідив це питання експериментально, використавши парадигму часу простої реакції (ЧР) для вимірювання часу міжпівкульного передавання інформації [1]. Він спирався на латералізоване півкульне представлення правого і лівого напівполів зору і латералізований контроль дистальних рухів. Згідно “анатомічної моделі” Поффенберга, коли використовується рука з тієї самої сторони, що і латералізований вхід, виявлення стимулу і моторна відповідь об'єднуються в одній і тій самій півкулі (не перехрещений шлях). На противагу, коли використовується рука, протилежна до сторони пред'явлення стимулу, виявлення і відповідь мають бути об'єднані між півкулями через МТ (перехрещений шлях). Цей довший шлях має повільніший ЧР, що і було виявлено Поффенбергом та багатьма іншими дослідниками [1]. З часів піонерської роботи Поффенберга різниця ЧР між перехрещеним і не перехрещеним станом (ПНР (перехрещена-неперехрещена різниця), (crossed-uncrossed difference (CUD))) приймається як міра часу міжпівкульного передавання інформації (нормальні величини – близько 3-4 мс). За останні 20 років у поведінкових і електрофізіологічних дослідженнях неодноразово було показано, що для цілого ряду поведінкових і когнітивних процесів калозальне передавання інформації є асиметричним, а саме швидшим від правої півкулі до лівої. Функціональне значення і нейронні основи асиметрії все ще досліджуються, але одне із пояснень полягає в тому, що це пов'язано з більшою кількістю кіркових нейронів, які посилюють свої аксони

через мозолисте тіло із правої півкулі у ліву, ніж у зворотному напрямку. Ця асиметрія може бути пов'язана з необхідністю швидкого доступу лівої півкулі під час виконання завдань, які в основному підпорядковуються правій півкулі [2]. Більшість рухів виконується людьми із залученням обох рук, і при цьому дуже важливою є узгодженість/синхронізація їх взаємодії. Механізми такої взаємодії дотепер залишаються малодослідженими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рухи домінантної руки викликають більшу контралатеральну активацію (більшу, ніж рухи недомінантної руки), і відносно меншу іпсилатеральну активацію. Рухи недомінантної руки викликають більш збалансовані патерни активації обох півкуль внаслідок відносно більшої іпсилатеральної активації. Це свідчить про те, що домінантна (права) рука контролюється переважно контралатеральною (лівою) півкулею, тоді як недомінантна рука контролюється обома - правою і лівою півкулями. Цей ефект особливо проявляється при виконанні складних рухів [3]. Виявлено внутрішній баланс збудливих і гальмівних поєднань серед ключових рухових ділянок в межах кожної півкулі та між півкулями. Нейронне поєднання в цих мережах специфічно модулюється при одно- та бімануальних рухах. При одно мануальних рухах коннективність із контралатеральною первинною руховою корою посилюється, тоді як нейронне поєднання із іпсилатеральною руховою корою зменшується як внаслідок транскалозального гальмування, так і низхідного модулювання. Бімануальні рухи рук пов'язані із симетричним посиленням нейронної активності, опосередкованої як збільшенням внутріпівкульних зв'язків, так і посиленням транскалозальним поєднанням додаткової моторної кори та моторної кори. Ці дані свідчать, що особливо додаткова рухова кора представляє ключову структуру, яка посилює або пригнічує активність кортикальних рухових мереж, які спонукають одно- або білатеральні рухи рук [4].

В цілому, лівші поводяться так само, як і правші, у приготуванні і корекції рухів, як за часовими, так і кінематичними властивостями. Виявлена перевага лівої руки у приготуванні напрямку рухів і у поточному налаштуванні амплітуди рухів. Перевага правої руки спостерігається у початковій корекції напрямку поточного руху. Ці мануальні асиметрії інтерпретуються як вираження домінування правої півкулі у просторовій обробці (планування рухів) на противагу домінуванню лівої півкулі у часовій обробці інформації, пов'язаної з рухами. Ці функціональні асиметрії, ймовірно, не залежать від надання переваги руці [5]. І у правшів, і у лівшів активується більше ділянок мозку, пов'язаних із системою зорово-моторної уваги при використанні лівої руки у порівнянні з правою, що підтверджує унікальну спеціалізацію перцептивно-моторного оброблення в системі ліва півкуля/права рука незалежно від рукості [6].

Тест Струпа широко використовується у психологічних обстеженнях і клінічній практиці, і названий золотим стандартом тестування довільної уваги, оскільки дозволяє досліджувати зміни функціонування лобних ділянок кори, які найтісніше пов'язані із вищими психічними функціями [7]. Тест Струпа полягає у тому, що обстежуваному подається слово, яке означає певний колір, написане або відповідним кольором – конгруентне (напр., “червоне” червоним), або білим кольором (нейтральне), або невідповідним кольором – неконгруентне (“червоне” зеленим). При збігу семантичного значення і кольору реакції здійснюються найшвидше (явище полегшення), при розбіжності – найповільніше (явище інтерференції), при реагуванні на нейтральні подразники (назви кольорів, написані білим кольором) латентний період реакції (ЛП) займає проміжне значення.

В даному дослідженні важливим є не власне сам ефект Струпа, а те, що при його виконанні, по-перше, інформація переноситься із однієї півкулі в іншу, мозок в цілому значно навантажений (досить складне саме по собі завдання), і півкулі поставлені в

приблизно однакові умови (інформація пред'являється білатерально, відповіді вимагається надавати бімануально, обробляється вербальна (перевага лівої півкулі), кольорова і просторова інформація (перевага правої півкулі). Дані особливості цього тесту ми вже відмічали в більш ранньому дослідженні [8]. У раніше проведеному дослідженні нами були виявлені певні особливості міжпівкульного перенесення інформації при виконанні даного тесту [8], тому **метою роботи** стало вивчення бімануальних реакцій при виконанні складного тесту Струпа із залученням просторової ознаки у правшів і лівшів.

Матеріал та методи

Обстеження 64 осіб обох статей (студенти ННЦ «Інститут біології і медицини», 39 правшів і 25 лівшів віком від 18 до 23 років) проводились за допомогою комп'ютерної методики «PSYX-4», яка базується на одночасному пред'явленні подразників, що відносяться до різних сигнальних систем [9]. Кожен обстежуваний виконував 3 субтести: тренувальний, на функціональну рухливість нервових процесів (ФРНП) та на працездатність головного мозку (ПГМ). У тесті пред'являють слова "КРАСНЫЙ" або "ЗЕЛЕНЬИЙ", які написані червоним або зеленим кольором і експонуються справа або зліва від центру екрана. Порядок пред'явлення подразників і часовий інтервал між сусідніми пред'явленнями (0.4...1.8 с) варіюють у псевдовипадковому контр збалансованому порядку. У випадку збігу кольору слова і його семантичного значення необхідно реагувати рукою з боку появи сигналу – натискати на клавіатурі комп'ютера кнопку іпсилатеральною рукою (відповідь «так»), розбіжності – натискати іншу кнопку протилежною рукою (відповідь «ні»). У другому субтесті робота побудована за принципом "зворотного зв'язку", тобто, досліджується ФРНП. Критерієм досягнення максимальної для обстежуваного швидкості роботи є мінімально досягнутий час експозиції, який не вдалося зменшити протягом наступних 30-ти пред'явлень, тобто обстежуваним було допущено більше 50% помилок. Проходження цього субтесту необхідне для виконання наступного, результати якого і досліджувались в даній роботі. Завдання субтесту аналогічне, але на підставі визначеної ФРНП досліджується ПГМ. Обстежувані працювали з постійним часом експозиції сигналів, який дорівнював максимальному часу експозиції, досягнутому в субтесті на визначення ФРНП, із додаванням 200 мс. Загальна кількість пред'явлених сигналів дорівнювала 240. Вимірювались латентні періоди (ЛП) сенсомоторних реакцій кожної руки і кількість помилок (КП), допущених кожною рукою.

Тест до певної міри моделює ситуацію ПНР (перехрещена-неперехрещена реакція) (Crossed-Uncrossed Difference (CUD)). Коли стимул пред'являється іпсилатерально – це не перехрещене реагування, коли необхідно натискати протилежною рукою – перехрещене.

Статистичний аналіз результатів проводився за допомогою пакету STATISTICA 6.0 (Statsoft, USA, 2001). Нормальність розподілів змінних перевірялась тестом Ліліфора, який є модифікацією тесту Колмогорова - Смірнова. Оскільки субтести проходили одні і ті ж самі обстежувані, а розподіл частини параметрів за критерієм Ліліфора був відмінний від нормального, для множинного порівняння груп було використано ранговий дисперсійний аналіз Фрідмана. Всі величини ефектів часткової ета в квадраті (partial eta squared, η_p^2) були розраховані з використанням ANOVA. Критичний рівень значущості при перевірці статистичних гіпотез приймався рівним $p=0,05$. ЛП реакцій аналізувались 2×2 повторними вимірюваннями ANOVA з факторами: Рука (ліва проти правої), Тип відповіді («так» проти «ні»). Для порівняння двох залежних вибірок було застосовано критерій Вілкоксона (критерій T). Критичний рівень значущості при перевірці статистичних гіпотез приймався рівним $p=0,05$.

Результати та їх обговорення

За абсолютними значеннями ЛП реакцій і КП групи правшів і лівшів між собою не відрізнялись, що свідчить про однакову ефективність виконання завдання.

За аналізом ЛП реакцій виявленій ефект взаємодії між Типом відповіді («так» проти «ні») і Рукою (права проти лівої), $F(1, 62)=22,971$, $p=,00001$, $\eta_p^2 = 0,270$ (рис.1). За критерієм Вілкоксона, всі показники ЛП реакцій відрізняються між собою.

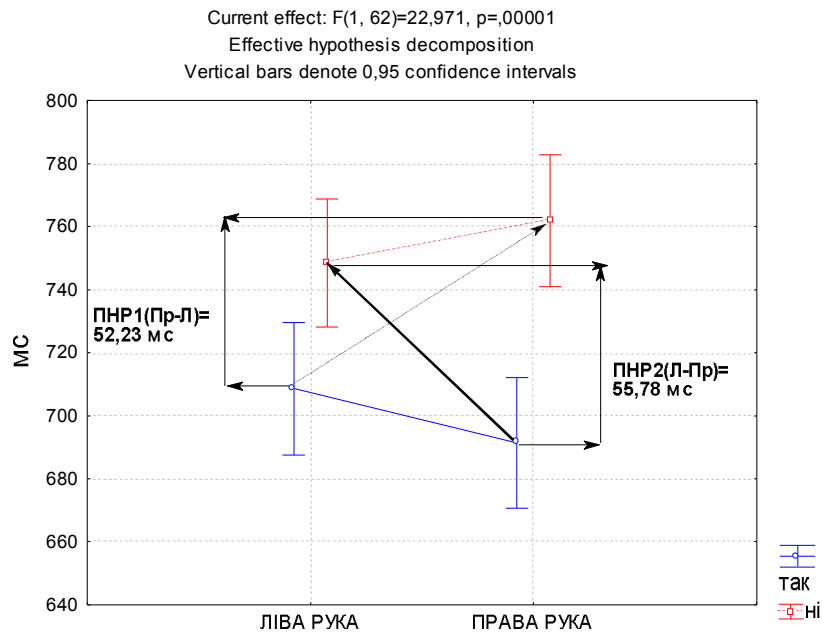


Рис.1. Аналіз ANOVA ЛП реакції лівої і правої рук на збіг кольору слова і його семантичного значення (відповідь «так») та розбіжність (відповідь «ні») по групі вцілому ($n=64$). Ефект взаємодії факторів Рука (ліва проти правої) і Тип відповіді («так» проти «ні»), $F(1, 62)=22,971$, $p=,00001$, $\eta_p^2 = 0,270$.

Примітки: На рис. вказані середні значення і стандартна похибка. ПНР1 (Pr-L) – перенесення інформації із правої півкулі в ліву, ПНР2 (L-Pr) – перенесення інформації із лівої півкулі в праву. Вказана різниця середніх значень. Перехрещені стрілки: стрілка із тонкою лінією – перенесення інформації із правої півкулі в ліву (ПНР1), стрілка із жирною лінією – перенесення інформації із лівої півкулі в праву (ПНР2).

Ефект взаємодії між Типом відповіді («так» проти «ні») і Рукою (права проти лівої) та групою (правші проти лівшів) не значущий – $F(1, 62)=,26866$, $p=,60608$, (рис.2), а це означає, що мозок правшів і лівшів при вирішенні завдань цього тесту працює за однаковим механізмом.

Отже, при бімануальному реагуванні на складні подразники із врахуванням просторової ознаки відповіді «так» надаються швидше, ніж відповіді «ні», як правою, так і лівою рукою, як у правшів, так і у лівшів. Відповіді «так» надавати легше, оскільки по-перше, збіг кольору слова і його семантичного значення не викликає когнітивного дисонансу (ефекту Струпа), а тому не напружує систему уваги, а, по-друге, відповідати потрібно іпсилатеральною до сторони пред'явлення стимулу рукою, що теж легше, ніж здійснювати додаткове ментальне перенесення інформації на іншу сторону у просторовій карті мозку.

Порівняння ЛП однойменних відповідей обох рук показує, що відповіді «так» надаються швидше правою рукою, а відповіді «ні» – лівою як у правшів, так і у лівшів (рис.1-2). Внаслідок цього різниця латентних періодів реакції між «так» і «ні» для лівої

руки менша, ніж для правої (рис.3), що справедливо як для правшів, так і для лівшів. Найімовірнішим поясненням є легше перенесення інформації із лівої півкулі у праву, ніж навпаки. Якщо уявити, що центральний процесор (метаконтроль) здійснюється лівою півкулею, то і реагування правої руки буде швидшим, ніж лівої. У випадку простого завдання (відповіді «так») час перенесення команди із однієї півкулі в іншу буде мінімальним. Ми отримало різницю між «так» для лівої і правої рук за медіаною 17,41 мс, за середнім значенням 12,50 мс.

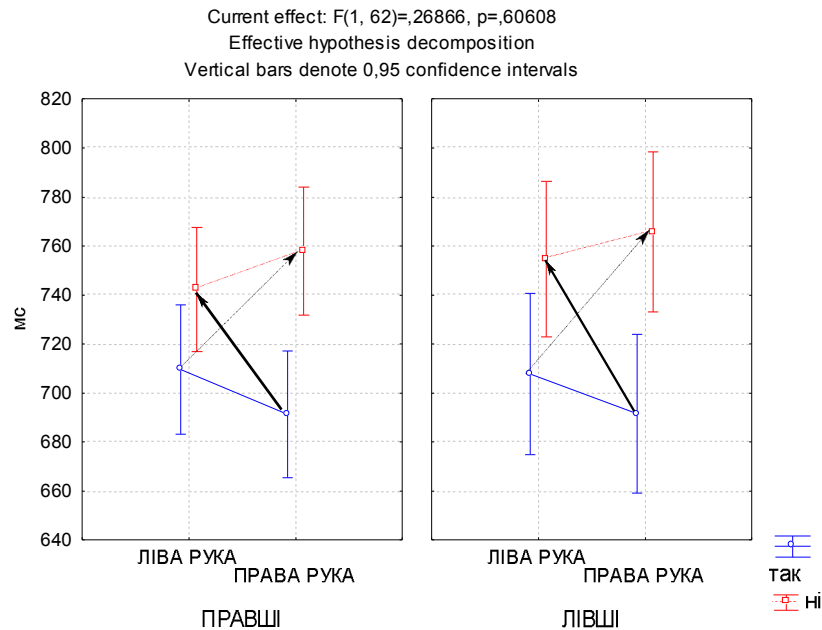


Рис.2. Аналіз ANOVA ЛП реакції лівої і правої рук на збіг кольору слова і його семантичного значення (відповідь «так») та розбіжність (відповідь «ні») для правшів ($n=39$) і лівшів ($n=25$). Ефект взаємодії факторів Рука (ліва проти правої) і Тип відповіді («так» проти «ні»), $F(1, 62)=,26866, p=,60608$.

Примітки: як на рис. 1

У класичному дослідженні із відповідями простого часу реакції ПНР становить приблизно 3 мс, але в завданнях із складними вибором час ПНР більший, як і у нашому дослідженні, оскільки він відображає не лише час інтеркалозального передавання інформації, але і складну обробку стимулів в асоціативних ділянках кори.

Коли завдання ускладнюється (відповідь «ні» потребує сильнішого залучення ресурсів уваги внаслідок конфлікту між семантичним значенням слова і кольором, яким воно написано, та включення просторової карти для передавання команди протилежній руці), подовжується і час реакції. Якби передавання інформації із однієї півкулі в іншу було «рівноправним», «однотипні» («так-так», «ні-ні») ЛП реакцій були б однаковими. Але ми маємо коротші відповіді «ні» лівою рукою, ніж правою. Це можливо пояснити, лише припустивши, що команди із лівої півкулі в праву передаються легше, ніж в протилежному напрямку – із правої в ліву.

Розрахунок часу міжпівкульного перенесення інформації (ПНР) (різниця між «ні» для однієї руки і «так» для протилежної: у випадку розбіжності команда завжди передається іншій руці) показав, що цей час приблизно однаковий як в напрямку із лівої півкулі в праву, так і навпаки (рис.1, рис.3, табл. 1), і становить за медіанами 55,5 – 56 мс. Вочевидь, він включає як власне час калозального перенесення, так і обробки в центрах системи уваги та асоціативних рухових ділянках кори.

Перенесення інформації із правої півкулі в ліву (ПНР1) (різниця між «ні» для правої руки і «так» для лівої) за середніми значеннями становить – 52,23 мс, із лівої півкулі в праву (ПНР2) (різниця між «ні» для лівої руки і «так» для правої) – 55,78 мс, а за медіанами 56,00 мс та 55,50 мс відповідно, тобто, відмінність мінімальна, що вказує на механізм синхронізації міжпівкульної взаємодії. Ліва півкуля активує праву, права – навпаки, пригальмовує роботу лівої, а результатом є узгоджена роботу мозку.

Відмінність між середніми значеннями ПНР2 і ПНР1 (так би мовити, друга похідна) дорівнює 3,55 мс, що лежить в межах калозальної затримки для простої реакції.

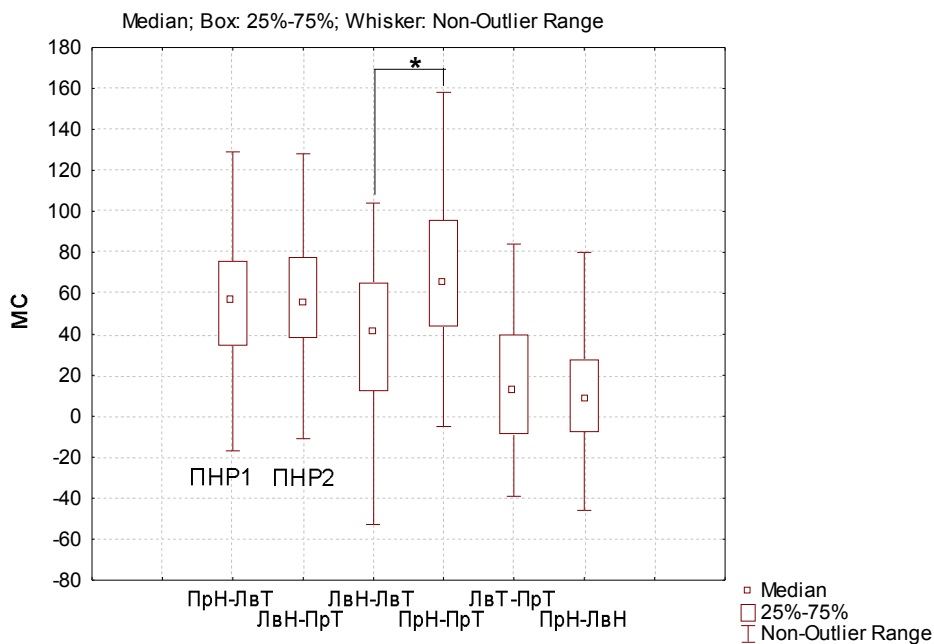


Рис.3. Різниця середніх значень латентних періодів реакцій правої і лівої руки по групі вцілому (n=64).

Примітки: ПНР1 (Пр-Л) – перенесення інформації із правої півкулі в ліву, ПНР2 (Л-Пр)- перенесення інформації із лівої півкулі в праву ПрН – права «ні», ПрТ – права «так», ЛвН – ліва «ні», ЛвТ - ліва «так», * - $p < 0,00001$.

За даними літератури, для правої півкулі час доступу до обох рук майже однаковий (ПНР=2 мс), для лівої півкулі цей час майже втричі довший для лівої, ніж для правої руки (ПНР=5.8 мс). Іншими словами, калозальне передавання із правої у ліву півкулю швидше, ніж із лівої у праву. Але, ймовірно, це стосується лише простих завдань. За отриманими нами результатами, у випадку виконання складних завдань спостерігається протилежний ефект – ліва півкуля активує праву. Зазвичай час калозального передавання є швидшим із неспеціалізованої до спеціалізованої для даного завдання півкулі, тобто, в залежності від типу завдання, напрям швидшого передавання може змінюватись [10]. За Косслін [10], для виконання швидких точних рухів потрібен унілатеральний контроль, який посилає команди до обох частин тіла. Деракшан [11] вважає, що рухи недомінантної частини тіла є двопівкульним явищем, за якого команди походять від доміантної півкулі і передаються на недомінантну. На противагу до цього, рухи доміантної частини тіла є функцією однієї, доміантної півкулі [3, 6].

Таблиця 1

Статистичні показники усіх можливих варіантів різниці латентних періодів реакції правої і лівої руки

	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Lower - Quartile	Upper - Quartile	Std.Dev.
ПрН-ЛвТ (ПНР1 (Пр-Л))	64	52,23	56,00	-39,0	129,00	34,50	75,50	33,15
ЛвН-ПрТ (ПНР2 (Л-Пр))	64	55,78	55,50	-46,0	139,00	38,50	77,50	31,56
ЛвН-ЛвТ	64	38,37	40,50	-53,0	104,00	12,50	65,00	34,83
ПрН-ПрТ	64	69,64	65,50	-5,0	158,00	44,00	95,50	35,56
ЛвТ-ПрТ	64	17,41	12,50	-39,0	84,00	-8,50	39,50	32,69
ПрН-ЛвН	64	13,86	8,50	-46,0	110,00	-7,50	27,50	31,53

Примітки: ПрН – права рука «ні», ПрТ – права рука «так», ЛвН – ліва рука «ні», ЛвТ - ліва рука «так». ПНР1 (Пр-Л) – перенесення інформації із правої півкулі в ліву, ПНР2 (Л-Пр)- перенесення інформації із лівої півкулі в праву. Виділені **жирним** показники відрізняються між собою як за непараметричним (критерій Вілкоксона) ($p < 0,00001$), так і параметричним аналізом (критерій Стьюдента) ($p < 0,000004$).

За аналізом КП виявлений ефект взаємодії між Рукою (права проти лівої) і Групою («правші» проти «лівші») $F(1, 62) = 7,7864$, $p = 0,00699$, $\eta_p^2 = 0,112$ (рис.4). У лівші різниця у КП, допущених правою і лівою рукою, більша, ніж у правші.

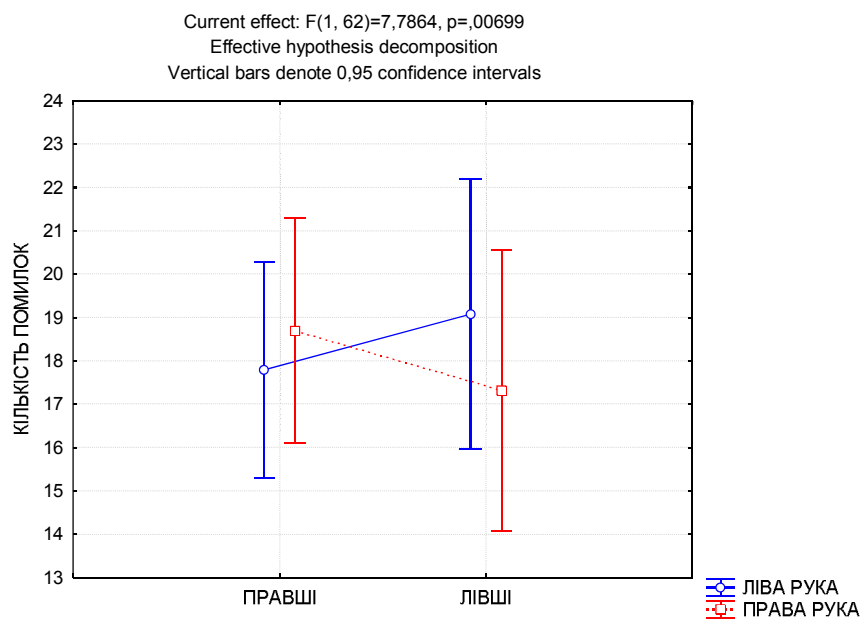


Рис.4. Аналіз ANOVA кількості помилок. Ефект взаємодії між Рукою (права проти лівої) і Групою («правші» проти «лівші») $F(1, 62) = 7,7864$, $p = 0,00699$, $\eta_p^2 = 0,112$.

Аналіз ANOVA, проведений окремо для групи лівші, виявив більшу КП для лівої руки у порівнянні з правою - $F(1, 24) = 5,3169$, $p = 0,03007$, $\eta_p^2 = 0,181$.

У правші різниця між КП «так» і «ні» виявлена лише для правої руки, тоді як у лівші – для обох рук (рис.5). У випадку відповідей «ні» допускається більша КП, що і зрозуміло у зв'язку із більшою складністю цього завдання.

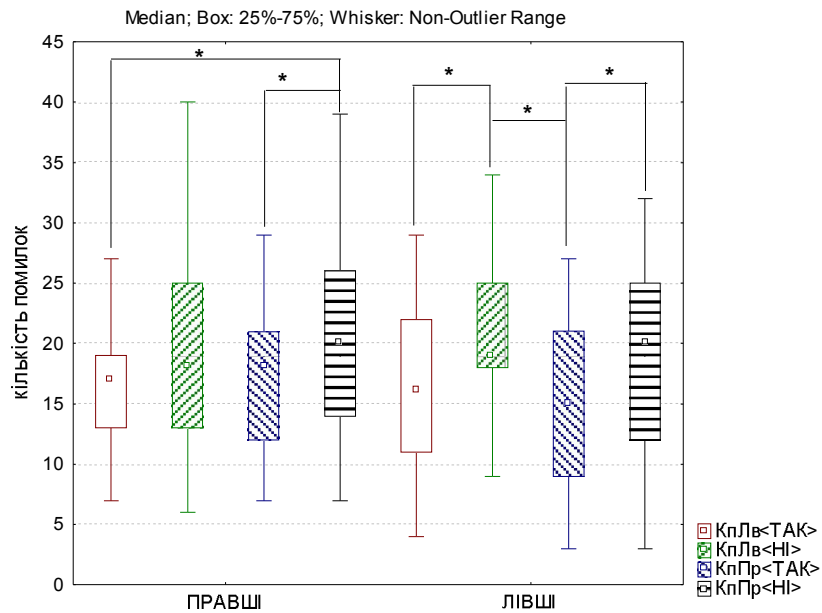


Рис.5. Кількість помилок лівої і правої рук на збіг кольору слова і його семантичного значення (відповідь «так») та розбіжність (відповідь «ні») у групах правшів і лівшів. Примітки: * - $p < 0,004$.

Менша КП при відповідях «ні» для правшів спостерігається при перенесенні інформації із лівої півкулі до правої (ПНР2-КП) (різниця між «ні» для лівої руки і «так» для правої руки), тоді як для лівшів – навпаки – із правої півкулі до лівої (ПНР1-КП) (різниця між «ні» для правої руки і «так» для лівої руки) (рис.6).

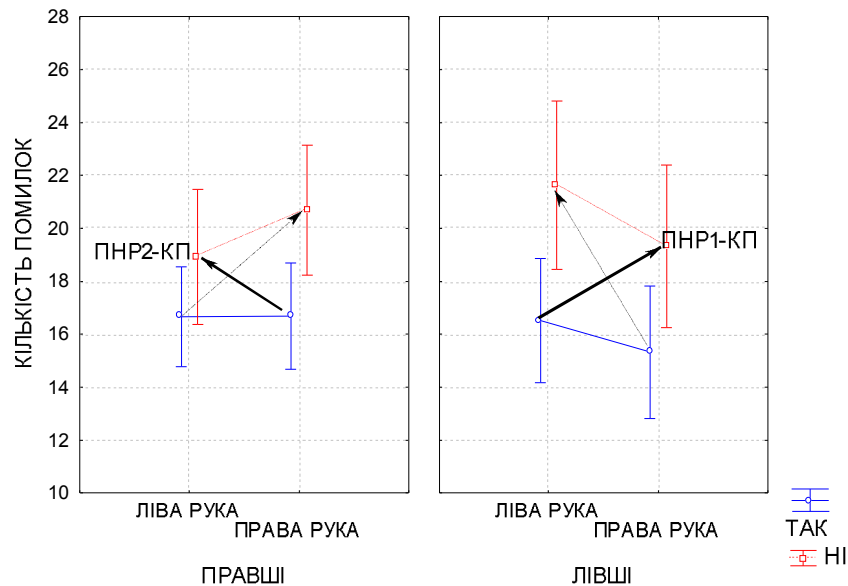


Рис 6. Кількість помилок (КП) у правшів і лівшів. Для правшів менша КП спостерігається при перенесенні інформації із лівої півкулі до правої (ПНР2-КП) (різниця між «ні» для лівої руки і «так» для правої руки), тоді як для лівшів – навпаки – із правої півкулі до лівої (ПНР1-КП) (різниця між «ні» для правої руки і «так» для лівої руки).

Примітки: Жирними стрілками вказане перенесення інформації (ПНР1-2-КП) із кращим виконанням завдання (меншою КП).

Цікаво, що, якщо за ЛП реакцій ПНР, які полегшують обробленні інформації, у лівшів і правшів односпрямовані – із лівої півкулі в праву (рис. 2), то за КП – спрямовані протилежно – у правшів – із лівої півкулі в праву, а у лівшів – із правої в ліву (рис. 6). ПНР за ЛП, ймовірно, відображають домінування моторного центру, тоді як за КП – складніші процеси, в які залучені вищі центри уваги і прийняття рішень. Як це не парадоксально звучить, але отримані нами результати вказують, що рухові когнітивні центри (руховий метаконтроль) і у правшів, і у лівшів знаходяться в лівій півкулі, а центри контролю уваги (метаконтроль помилок) у правшів – у лівій півкулі, а у лівшів – в правій. Отримані результати узгоджуються із даними літератури про унікальну спеціалізацію перцептивно-моторного оброблення в системі ліва півкуля/права рука незалежно від рукості [6].

Висновки

При виконанні тесту не отримано відмінностей латентних періодів (ЛП) сенсомоторних реакцій і кількості помилок (КП) для правшів і лівшів, що свідчить про однакову ефективність виконання завдань обстежуваними обох груп.

Порівняння ЛП одноіменних відповідей обох рук показало, що відповіді «так» надаються швидше правою рукою, а відповіді «ні» - лівою як у правшів, так і у лівшів. Внаслідок цього різниця ЛП реакції між «так» і «ні» для лівої руки менша, ніж для правої, як для правшів, так і для лівшів. Найімовірнішим поясненням є легше перенесення інформації із лівої півкулі у праву, ніж у зворотному напрямку, а, отже, домінування лівої півкулі при виконанні даного типу когнітивного завдання і тотожність його розміщення у лівій півкулі як у правшів, так і у лівшів.

Перенесення інформації із однієї півкулі в іншу (різниця між «так» для однієї руки і «ні» для іншої) відрізняється для двох напрямків лише на час калозальної затримки (3,55 мс), що вказує на механізм міжпівкульної синхронізації.

При наданні відповідей «так» КП менша, ніж при відповідях «ні», але у правшів ці відмінності сягають рівня статистичної значущості лише для правої руки, тоді як у лівшів – для обох рук. Менша КП при відповідях «ні» для правшів спостерігається при перенесенні інформації із лівої півкулі до правої, тоді як для лівшів – навпаки – із правої півкулі до лівої. Отримані результати вказують на те, що метаконтроль рухів і у правшів, і у лівшів знаходиться в лівій півкулі, а метаконтроль помилок у правшів розміщений у лівій півкулі, а у лівшів – в правій.

Література

1. Pellicano A. Interhemispheric vs. stimulus-response spatial compatibility effects in bimanual reaction times to lateralized visual stimuli / Barna V., Nicoletti R., Rubichi S., Marzi C. A //Front. Psychol. – 2013. – V.4 (362). - [https://doi: 10.3389/fpsyg.2013.00362](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00362).
2. Marzi C. A. Asymmetry of interhemispheric communication //Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science. – 2010. – V. 1(3). – P. 433–438.
3. Gut M. Brain correlates of right-handedness / Urbanik A, Forsberg L, Binder M. et al. // Acta Neurobiol Exp (Wars). – 2007. -67(1).- P.43-51.
4. Grefkes C. Dynamic intra- and interhemispheric interactions during unilateral and bilateral hand movements assessed with fMRI and DCM / Eickhoff S.B., Nowak D.A., Dafotakis M, Fink G.R. //Neuroimage. – 2008. – 41(4). –P.1382-94.
5. Boulinguez Ph. Manual asymmetries in reaching movement control. I: study of left-handers / Velayand J., Nougier Vincent //Cortex. – 2001. – 37. – P.123-138.
6. Lavrysen A. Hemispheric asymmetries in goal-directed hand movements are independent of hand preference / Heremans E., Peeters R. et al. //NeuroImage. – 2012. – 62. – P.1815–1824.
7. MacLeod C. M. Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review //Psychological Bulletin. - 1991. – 109. – P. 163–203
8. Куценко Т. Оцінка функціональної асиметрії мозку за латентними періодами сенсомоторних реакцій людини / Куценко Т., Філімонова Н., Костенко С. // Вісн. Київ. ун-ту. Проблеми регуляції фізіологічних функцій. – 2007. – Вип. 12. – С.14-16.

9. Костенко С.С. Оцінка діяльності першої та другої сигнальних систем людини / Костенко С.С., Локтева Р.К. // Вісн. Київ. ун-ту. Біологія. – 2000. – Вип. 32. – С. 31-34.
10. Kosslyn S.M. Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: A computational approach. // *Psychol Rev.* – 1987. – 94(2). – P. 148–175.
11. Derakhshan I. Bimanual simultaneous movements and hemispheric dominance: Timing of events reveals hard-wired circuitry for action, speech, and imagination// *Psychology Research and Behavior Management.* - 2008. – 1. – P. 1–9.

References

1. Pellicano A., Barna V., Nicoletti R., Rubichi S., Marzi C. A. (2013). Interhemispheric vs. stimulus-response spatial compatibility effects in bimanual reaction times to lateralized visual stimuli. *Front. Psychol.*, 4, 362. [https://doi: 10.3389/fpsyg.2013.00362](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00362).
2. Marzi C. A. (2010). Asymmetry of interhemispheric communication. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1, 3, 433–438.
3. Gut M., Urbanik A, Forsberg L, Binder M. at all. (2007). Brain correlates of right-handedness. *Acta Neurobiol Exp (Wars)*, 67, 1, 43-51.
4. Grefkes C., Eickhoff S.B., Nowak D.A., Dafotakis M, Fink G.R. (2008). Dynamic intra- and interhemispheric interactions during unilateral and bilateral hand movements assessed with fMRI and DCM. *NeuroImage*, 41, 4, 1382-94.
5. Boulinguez Ph., Velayand J., Nougier Vincent (2001). Manual asymmetries in reaching movement control. I: study of left-handers. *Cortex*, 37, 123-138.
6. Lavrysen A., Heremans E., Peeters R. all. (2012). Hemispheric asymmetries in goal-directed hand movements are independent of hand preference. *NeuroImage*, 62, 1815–1824.
7. MacLeod C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109, 163–203.
8. Kutsenko T., Filimonova N., Kostenko S. (2007). Assessment of functional brain asymmetry by latent periods of human sensorimotor reactions. *Visnyk Kyivskogo universytetu, Problemy reguliatsii fiziologichnykh funktsii (The Bulletin of Kyiv University, Problems of regulation of physiological functions)*, 12, 14-16.
9. Kostenko, S.S., & Loktieva R.K. (2000). Assessment of first and second signal systems activity in humans. *Visnyk Kyivskogo universytetu, Biologiya (The Bulletin of Kyiv University, Biology)*, 32, 31-34.
10. Kosslyn S.M. (1987). Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: A computational approach. *Psychol Rev.*, 94, 2, 148–175.
11. Derakhshan I. (2008). Bimanual simultaneous movements and hemispheric dominance: Timing of events reveals hard-wired circuitry for action, speech, and imagination. *Psychology Research and Behavior Management*, 1, 1–9.

Summary. *Kutsenko T. Interhemispheric transfer of information in performance of complex Stroop test involving spatial properties by right- and left-handers.*

Introduction. *Interhemispheric interaction is important for the integration of perception and motor control of two body parts. Over the past 20 years behavioral and electrophysiological studies have shown that callosal transfer of a number of behavioral and cognitive processes is asymmetric. The functional significance and neural basis of this asymmetry is still investigated. Most movements people performed with the assistance of both hands, and coordination/synchronization of their interaction is very important. The mechanisms of this interaction are still scarcely explored.* **Purpose.** *The aim of research was to study the bimanual reactions in performance of complex Stroop test involving spatial properties.*

Methods. *The study involved 64 students of educational-scientific center "Institute of Biology and Medicine" of both genders – 39 right-handed and 25 left-handed. Stimuli (the word "Green" or "Red" written in relevant or irrelevant color) were exposed on the right or left from the center of the screen. In the case of congruence the word and its semantic meaning should press one button by the ipsilateral hand ("yes"), while in the case of mismatch – the other button by the contralateral one ("no").*

Results. *Latent period (LP) of reactions and mistakes quantity (MQ) in right-handers and left-handers are the same. The answer "yes" is faster than answers "no" for both right and left hands either of right- or left-handers. Comparison LP of similar responses of both hands showed that answer "yes" is faster for the right hand and answer "no" – for the left one for both right- and left-handers, so that the difference in LP between "yes" and "no" for the left hand is shorter than for the right one. This*

points out to easily transfer of information from the left hemisphere to the right one than in the opposite direction. The transfer of information from one hemisphere to the other (the difference between "yes" for one hand and "no" for the other) is different for two directions only by callosal delay time (3.55 ms), indicating on interhemispheric synchronization mechanism. With answers "yes" MQ is less than with answers "no." Lesser MQ of answers "no" for right-handers occurs when transferring information from the left to the right hemisphere, while for left-handers – on the contrary – from the right hemisphere to the left one.

Conclusion. *The results point out that the motor metacontrol for both right- and left-handers is situated in the left hemisphere, while metacontrol of errors for right-handers is in the left hemisphere and for left-handers - in the right one.*

Keywords: *bimanual reactions, complex Stroop test with spatial properties, interhemispheric transfer, interhemispheric synchronization, right-handers, left-handers.*

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Одержано редакцією 15.01.2017

Прийнято до публікації 15.05.2017