

Володимир Сергійович Лизогуб

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

v_lizogub@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3001-138X>

Олександр Олександрович Безкопильний

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

aleksbez1981@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7207-7590>

Юлія Віталіївна Коваль

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

uyula0077@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7160-5240>

АСИМЕТРИЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПЕРЕРОБКИ ОБРАЗНОЇ ТА ВЕРБАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В РЕЖИМІ GO/NO-GO/GO

Анотація. Дослідження присвячене проблемі функціональної асиметрії нейронних мереж та їх перетворення із статичного тестування із закритим циклом (Closed loop system) у динамічний стрес-тест (Dynamic stress-test). У юнаків 16-17 років прагнули надати докази наявності функціональної асиметрії нейронних мереж у динамічному тесті з поступово зростаючою швидкістю пред'явлення сигналів та реакції лівою (goL) та правою (goR) рукою, а також гальмівного сигналу (no-go). Дослідження проведене на 45 юнаках 16-17 років з використанням комп'ютерної системи «Діагност-ІМ». Доведено, що функціональна асиметрія нейронних мереж, а також часові характеристики диференціювання у парадигмі goL/no-go/goR знаходяться у залежності від модальності (образних чи вербальних) сигналів та швидкості їх пред'явлення. У юнаків 16-17 років швидкість виконання завдання goL/no-go/goR була вища на образні, ніж на вербальні сигнали. Для вербальних сигналів виявлено статистично значуще переважання лівопівкульної функціональної асиметрії тільки на швидкості 30 та 60 сигн./хв., тоді як для образних сигналів така асиметрія нейронних мереж була відсутня. В разі підвищення швидкості виконання завдання до 90 та 120 сигн./хв для образних і вербальних сигналів асиметрія нейронних мереж також була відсутня. Дослідження надає додаткову інформацію стосовно асиметрії нейронних мереж, що лежать в основі процесів збудження та гальмування. Оговорюється питання участі різних механізмів переробки інформації у режимі go/no-go/go.

Ключові слова: асиметрія; парадигма go/no-go/go; швидкість реакції; модальність сигналів.

Вітчизняні та зарубіжні науковці встановили закономірності асиметрії нейронних мереж у людей за різних умов діяльності [1, 2]. Найчастіше для дослідження асиметрії використовували методику пред'явлення інформації у режимі двохстимульного тесту go/no-go [3]. Основна наукова проблема полягає у механізмах гальмівного контролю та здатності мозку пригнічувати імпульсивні реакції на користь цілеспрямованої дії [4]. Вважається, що нейронний компонент завдання go/no-go у когнітивній нейронауці відображає не тільки саме гальмування, скільки відстеження конфлікту між очікуваною реакцією («go») та необхідністю зупинитися («no-go»). Тому тести із завданням go/no-go використовували і у клінічних дослідженнях [5]. Дефіцит когнітивного контролю та гальмівна дисфункція, зокрема, пов'язані з такими клінічними станами, як синдром дефіциту уваги [6], черепно-мозкова травма [7] та шизофренія [8]. В цих дослідженнях прагнули зрозуміти механізми когнітивних дисфункцій та з'ясувати роль асиметрії неронних мереж [9].

Модель більш складних інформаційних завдань з переробки інформації різної складності, що вимагає постійного переключення процесів уваги, нейронних мереж лівої та правої півкулі мозку та обробки сигналів у пам'яті Макаренком М. В. [10] був

запропонований трьохстимульний тест диференціювання інформації в режимі goL/no-go/goR. Було показано, що диференціювання сигналів у режимі goL/no-go/goR включає не тільки збудливі сигнали go, на які треба діяти, але і гальмівні no-go, на які реагувати не потрібно [10, 11]. У такому разі ми маємо ситуацію, коли обидва сигнали конкурують один з одним. Успішність працюючої функціональної системи діяльності буде визначатися швидкістю руху процесів збудження по нейронній мережі, які змагаються із швидкістю гальмування. Необхідно зазначити і те, що переробка інформації у режимі goL/no-go/goR, крім збудливого та гальмівного процесу вимагає від обстежуваного ще і швидкого переключення збудження з сигналів для лівої руки на руховий акт правою рукою і, навпаки [10]. Є всі підстави думати, що запропонована трьохстимульна парадигма реагування на сигнали різної модальності та побудови програми рухової відповіді буде формувати різні нейронні мережі та проявляти особливості взаємодії між ними. Дослідження показують, що при переробці вербальної інформації кількість помилок для лівої руки (goL) може бути вищою, ніж для правої (goR), особливо при високій швидкості подачі сигналів (60–90 за хв.) [12]. Отже, підвищення темпу подачі сигналів веде до зростання кількості помилок через формування упередженої відповіді, коли у нейронних мережах мозку починає автоматично формуватись реакція на наступний стимул [12].

Питання на які ми звернули увагу стосуються, переважно, функціональної асиметрії нейронних мереж які характерні для закритого циклу тестування. Тоді як процес перетворення функціональної нейронної мережі із статичного типу тестування у динамічний стрес-тест, коли сигнали різної модальності та складності будуть пред'являтися у режимі з поступовим зростанням швидкості покищо не досліджений. Залишаються відкритими та нез'ясованими питання функціональної асиметрії нейронних мереж за умови диференціювання сигналів різної модальності у режимі goL/no-go/goR. У попередніх роботах нами було встановлено, що переробка складної інформації різної модальності у режимі диференціювання goL/no-go/goR характеризується різними функціональними перебудовами у взаємодії нейронних мереж мозку. Тому постала проблема дослідити особливості функціональної асиметрії нейронних мереж мозкової діяльності за умови переробки поступово зростаючої швидкості інформації в парадигмі goL/no-go/goR, що є актуальним для біологічної та медичної науки.

Підсумовуючи результати аналізу досліджуваної проблеми необхідно звернути увагу на те, що в разі дослідження асиметрії нейронних мереж використовуються зорові сигнали які проходять відбір та різні перетворення у сенсорній, вербальній, перцептивно-моторній, логічній, часових та просторових підсистемах і оперативної пам'яті [13]. Показано, що ці підсистеми мають чітку півкулеву латералізацію [12]. Відомо, що просторова підсистема більш латералізована до нейронної мережі правої півкулі, тоді як вербальна – до лівої [12, 13]. Результати асиметрії та взаємодії обох нейронних мереж при обробці різних типів інформації залишається мало дослідженими. Тому у дослідженні ми намагались надати докази наявності чи відсутності латералізації та взаємодії нейронних мереж у динамічному тесті з поступовим зростанням швидкості диференціювання сигналів різної модальності у режимі goL/no-go/goR.

Мета роботи – з'ясувати особливості функціональної асиметрії нейронних мереж за умови переробки інформації різної модальності у режимі диференціювання goL/no-go/goR.

Методика дослідження. У 46 юнаків 16-17 років (середній вік $16,4 \pm 1,1$ роки) на комп'ютерному пристрої «Діагност-1М» в «оптимальному режимі» провели дослідження часових характеристик реакції диференціювання двох з трьох подразників у трьохстимульний парадигмі goL/no-go/goR [3, 11]. Обстежувані виконували 2 експериментальні завдання. Перше завдання складалось з визначення часу реакції у режимі goL/no-go/goR на геометричні фігури окремо для лівої та правої руки. Ми використали нейрофізіологічний тест з випадковим і рівноваріантним (по 33 %) пред'явленням стимулів Go (відповідь потрібна) і кондиціонуючий стимул no-go (відповідь не потрібна). Обстежуваному

пропонували на появу фігури «квадрат» швидко натиснути пальцем правої руки на праву кнопку (goR). Поява фігури «коло» вимагала швидкої реакції лівою рукою на ліву кнопку (goL). На трикутник – гальмівний сигнал обстежуваний не натискав на кнопки (no-go). Тест був спрямований на визначення швидкості часових характеристик реакції goL/no-go/goR під час поступового підвищення швидкості пред'явлення образних сигналів від 30 до 60, 90 і 120 сигналів за 1 хвилину.

Друге завдання було побудоване як і перше, але були пред'явлені вербальні сигнали. Обстежуваний, у відповідності до інструкції, виконував завдання у режимі goL/no-go/goR. При появі на екрані різних слів з значеннями «тварин» обстежуваний швидко натискав пальцем правої руки на праву кнопку (goR), на види «рослини» – лівою рукою на ліву кнопку (goL), а при пред'явленні «предметів» – гальмівний подразник – не натискав жодної із кнопок (no-go). Тест був спрямований на визначення швидкості часових характеристик реакції goL/no-go/goR під час поступового підвищення швидкості пред'явлення вербальних сигналів від 30 до 60, 90 і 120 сигналів за 1 хвилину.

Усього обстежувані послідовно виконували два тести. Порядок подачі сигналів варіювався і був випадковим. Експозиція і паузи між сусідніми сигналами змінювались у межах 0,5–1,9 с. Час пред'явлення кожної серії був незмінний і тривав 30 секунд. Визначали середній час швидкості реакції goL/no-go/goR для правої та лівої руки, окремо на фігури і вербальні сигнали. Статистичний аналіз даних проводився з використанням програм Statgraphics, Microsoft Excel.

Результати дослідження та їх обговорення. У юнаків 16-17 років під час переробки інформації у трьохстимульному режимі goL/no-go/goR визначали показники, що характеризують швидкісні реакції диференціювання на пред'явлення образних і вербальних сигналів під час поступового підвищення швидкості пред'явлення інформації в режимі «нав'язаного ритму» від 30 до 60, 90 і 120 сигналів за хвилину. За результатами, які ми отримали під час поступового підвищення швидкості (від 30 до 120 подр/хв) пред'явлення та диференціювання фігур у режимі goL/no-go/goR виявили загальну закономірність – швидкість реакції підвищувалась, а час реакції зменшувався (табл. 1).

Таблиця 1.

Швидкість реакції (Me (Q₂₅ – Q₇₅) мс. для лівої і правої руки під час поступового підвищення швидкості пред'явлення геометричних фігур та слів в режимі goL/no-go/goR

Вид сигналу	Час реакції, (Me(Q ₂₅ – Q ₇₅) мс.			
	Фігури		Слова	
	goL	goR	goL	goR
Рука/ швидкість подр/хв				
30	321,7 [371,7; 409,1]	318,5 [371,7; 409,7]	580,0 [567,2; 601,8] #	534,2 [243,5; 283,4]
60	272,3 [261,2; 283,7] *	263,6 [254,1; 272,5] *	504,6 [496,2; 519,3]* #	474,5 [456,5; 489,1] *
90	244,6 [236,1; 251,2] *	247,5 [236,2; 256,8]	387,7 [371,7; 409,7]	379,4 [378,6; 413,9] *
120	234,6 [227,5; 242,3]	236,9 [263,5; 282,7]	327,9 [313,5; 341,7] *	325,4 [314,3; 338,9] *

Примітка: * – статистична значущість різниць швидкості реакцій на різних швидкостях та # – пред'явлення образних і вербальних сигналів для лівої та правої руки

Моторна відповідь на сигнали goR коротші, що свідчить про активізацію роботи лівої півкулі. Під час переробки вербальної інформації у режимі goL/no-go/goR на

швидкості 90 і 120 сигн./хв не виявили статистично значущої різниці у швидкості реакції для лівої та правої руки ($p > 0,05$). Детальний аналіз показав, що сенсомоторні реакції правою рукою здійснювалися швидше, ніж лівою. Така закономірність зберігалася на швидкості пред'явлення 30 і 60 сигн./хв. На швидкості 90 та 120 сигн./хв. рухова відповідь правої руки збігалася з реакцією лівої руки, або була на 5,4 мс більшою. Разом зі скороченням часу сенсомоторної реакції спостерігали і зменшення групової варіабельності значень, на що вказували показники σ та CV, що може свідчити про вищий рівень організації нейронної мережі.

Отже, наведені результати свідчать про залежність асиметрії нейронних мереж та часу сенсомоторної реакції від швидкості пред'явлення інформації та модальності сигналів. Підвищення швидкості пред'явлення геометричних фігур скорочує час сенсомоторної реакції і нівелює асиметрію та латералізацію півкуль. У взаємодії нейронних мереж лівої та правої півкулі під час диференціювання образних сигналів у режимі goL/no-go/goR асиметрія та латералізація нейронних мереж була відсутня. У разі пред'явлення вербальної інформації ми виявили різні варіанти асиметрії нейронних мереж у залежності від швидкості пред'явлення та модальності інформації. На низькій швидкості від 30 і до 60 сигналів за хвилину мали справу з вираженою асиметрією нейронних мереж лівої та правої півкулі мозку. Оскільки швидкість реакції для правої руки була вища, то треба думати, що у цьому разі ми маємо справу з домінантою лівопівкулевою нейронною мережею і інтерференцією нейронною мережею у правій півкулі. Вразі, коли навантаження зростало до максимальної швидкості пред'явлення подразників у темпі 90 та 120 сигналів за хвилину домінантний стан та асиметрії нейронних мереж мозку змінювався на узгоджену їх взаємодію. Це підтверджується тим, що були відсутні статистично значущі різниці для швидкості реакцій лівої – goL та правої goR руки ($p > 0,05$).

В результаті аналізу дослідження можна констатувати, що тестування у статичному навантаженні пред'являє високі вимоги до швидкісних характеристик перцептивно-моторних нейронних мереж і їх часових характеристик. Тоді як у тесті з вербальними сигналами в організації функціональної системи діяльності крім часових характеристик підвищуються вимоги до просторових властивостей нейронних мереж мозку. Зазначимо, що у динамічному тесті з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення інформації у режимі goL/no-go/goR ми маємо справу з інтегрованою взаємодією часових, і просторових властивостей нейронних мереж. З літератури частково відомі механізми обробки інформації у нейронних мережах мозку в режимі go/no-go, що описує складність взаємодії різних ділянок мозку. Для успішного виконання завдання мозок залучає розгалужену мережу фронтальних та тим'яних областей. Праву нижню лобову звивину вважають ключовим центром гальмівного контролю [5]. Вона відповідає за зупинку вже підготовленої моторної програми. Тоді як премоторна область відіграє критичну роль у виборі між дією goL чи goR та утриманням no-go від неї [14]. Вважають, пошкодження цієї зони призводять до великої кількості помилкових натискань. Дорсолатеральна префронтальна мережа кори приймає участь і підтримує робочу пам'ять та правила виконання завдання, тиснути goL лише на слова «тварини» чи goR на «рослини». Нейронні структури передньої поясної кори моніторять конфлікти між бажанням натиснути goL/goR та необхідністю зупинити no-go, а також реєструє помилкові реакції [5]. Субталамічне ядро виконує роль «швидкого гальма». Воно отримує сигнали від кори напряду, що дозволяє миттєво зупинити всі моторні процеси у критичній ситуації. Між неронною мережею кори та базальними гангліями, встановлюється взаємодія, що дозволяє вибирати потрібний руховий акт або пригнічувати його [15]. Треба думати, що в разі прийняття рішення у нейронних системах мозку виникає конкуренція для реакції go яка активується одним типом дофамінових рецепторів, які посилюють збуджувальні сигнали до кори, що полегшує виконання дії [16]. В разі появи сигналу no-go активуються інші рецептори, що пригнічують небажану реакцію. Вважають, що пригнічення реакції no-go є більш сильнішим сигналом, ніж виконання go. Потрібний більш потужний

сигнал від нейронних мереж кори, щоб подолати природній активаційний бар'єр [17].

Отже, ми показали, що під час обробки інформації у режимі goL/no-go/goR у нейронних мережах виникають складні механізми просторової та часової взаємодії від реакції активації одних нейронних мереж до гальмування інших. Детальний аналіз наших результатів показав, що кілька областей мозку утворюють нейронну мережу когнітивного контролю, необхідну для виконання завдання goL/no-go/goR. З ускладненням завдання шляхом підвищення темпу подання сигналів та переходу від образних до реакції на вербальні сигнали, зростає взаємодія до максимальної синхронізації нейромереж лівої та правої півкулі на швидкості 90 та 120 сигн./хв. до десинхронізації активності та появи функціональної асиметрії на швидкості 30-60 сигналів за хвилину.

Таким чином, у цьому дослідженні ми надали додаткові докази взаємодії різних нейронних мереж у динамічному тесті з поступовим зростанням швидкості диференціювання сигналів різної модальності у режимі goL/no-go/goR. Результати можуть бути використані для прогностичної оцінки можливостей діяльності людини в умовах складних інформаційних навантажень та сприяти кращому розумінню не лише дисфункціональних схем, що лежать в основі нейромережових розладів, а й надати уявлення про засоби та тип реабілітації, який може бути ефективним для усунення дисфункцій.

Висновки

1. Доведено, що у юнаків 16–17 років за умови переробки інформації у парадигмі goL/no-go/goR функціональна асиметрія нейронних мереж мозку, а також швидкісні сенсомоторні реакції знаходяться в залежності від модальності сигналів та швидкості пред'явлення сигналів.

2. Швидкість виконання завдань була вища на образні, ніж на вербальні сигнали. Для вербальних сигналів виявлено переважання лівопівкулевої функціональної асиметрії тільки на швидкості пред'явлення 30 та 60 сигн./хв. Швидкісні характеристики рухових реакцій були вищі для правої руки goR, ніж лівої goL.

3. У юнаків асиметрія нейронних мереж відсутня за умови пред'явлення вербальних сигналів на високій швидкості (90 та 120 сигн./хв) і слабо виражена для завдань з використанням фігур.

4. Результати та методика дослідження можуть бути використані для прогностичної оцінки можливостей діяльності людини в умовах складних інформаційних навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Baddeley A. Working memory // *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Series III, Sciences de la vie.* – 1998. – Vol. 321, № 2-3. – P. 167-173.
2. Куценко Т. В., Наседкін Д. Б. Виконання комбінованого тесту із завданнями Струпа, Поффенберга, Сперрі у нав'язаному та довільному режимах // *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки.* – 2018. – № 1. – С. 62-69. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-1-62-69>
3. Макаренко М. В. Основи професійного відбору військових спеціалістів та методики вивчення індивідуальних психофізіологічних відмінностей між людьми. – К. : Ін-т фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України, 2006. – 395 с.
4. Acharya U. R., Oh S. L., Hagiwara Y., Tan J. H., Adeli H., Subha D. P. Automated EEG-based screening of depression using deep convolutional neural network // *Computer Methods and Programs in Biomedicine.* – 2018. – Vol. 161. – P. 103-113. с. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.04.012>
5. Criaud M., Boulinguez P. Have we been asking the right questions when assessing response inhibition in go/no-go tasks with fMRI? A meta-analysis and critical review // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews.* – 2013. – Vol. 37, № 1. – P. 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.11.003>
6. Casey B. J., Trainor R. J., Orendi J. L., Schubert A. B., Nystrom L. E., Giedd J. N., Castellanos F. X., Haxby J. V., Noll D. C., Cohen J. D., Forman S. D., Dahl R. E., Rapoport J. L. A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task // *Journal of Cognitive Neuroscience.* – 1997. – Vol. 9. – P. 835-847.
7. Dockree P. M., Robertson I. H. Electrophysiological markers of cognitive deficits in traumatic brain injury: a review // *International Journal of Psychophysiology.* – 2011. – Vol. 82, № 1. – P. 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.01.004>

8. Carter C. S., MacDonald A. W., Ross L. L., Stenger V. A. Anterior cingulate cortex activity and impaired self-monitoring of performance in patients with schizophrenia: an event-related fMRI study // *American Journal of Psychiatry*. – 2001. – Vol. 158, № 9. – P. 1423-1428. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.158.9.1423>
9. Motes M. A., Spence J. S., Yeatman K., Jones P. M., Luttrell M., O'Hair R., Shakal S., DeLaRosa B. L., To W., Vanneste S., Kraut M. A., Hart J. High-Definition Transcranial Direct Current Stimulation to Improve Verbal Retrieval Deficits in Chronic Traumatic Brain Injury // *Journal of Neurotrauma*. – 2020. – Vol. 37, № 1. – P. 170-177. <https://doi.org/10.1089/neu.2018.6331>
10. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Безкопильний О. П. Методичні вказівки до практикуму з диференціальної психофізіології та фізіології вищої нервової діяльності людини // Мін-во оборони України, Мін-во освіти і науки України. – К. – Черкаси, 2014. – 102 с.
11. Лизогуб В. С., Хоменко С. М., Пустовалов Т. В., Кожемяко Т. В. Нейродинамічні основи програмування у спорті : монографія. – Черкаси : ФОП Гордієнко Є. І., 2025.
12. Lyzohub V. S., Chernenko N. P., Kozhemiako T. V., Palabiyik A. A., Bezcopylna S. V. Age peculiarities of interaction of motor and cognitive brain systems while processing information of different modality and complexity // *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. – 2019. – Vol. 10, № 3. – P. 288-294. <https://doi.org/10.15421/021944>
13. Куценко Т. В., Наседкін Д. Б. Виконання комбінованого тесту із завданнями Струпа, Поффенберга, Сперрі у нав'язаному та довільному режимах // *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*. – 2018. – № 1. – С. 62-69. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-1-62-69>
14. Mostofsky S. H., Simmonds D. J. Response inhibition and response selection: two sides of the same coin // *Journal of Cognitive Neuroscience*. – 2008. – Vol. 20, № 5. – P. 751-761. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20500>
15. Klimesch W. α -band oscillations, attention, and controlled access to stored information // *Trends in Cognitive Sciences*. – 2012. – Vol. 16, № 12. – P. 606-617. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>
16. Ieracitano C., Mammone N., Hussain A., Morabito F. C. A novel multi-modal machine learning based approach for automatic classification of EEG recordings in dementia // *Neural Networks*. – 2020. – Vol. 123. – P. 176-190. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.12.006>
17. Kirmizi-Alsan E., Bayraktaroglu A., Hurvit H., Keskin Y., Emre M., Demiralp T. Comparative analysis of event-related potentials during go/nogo and CPT: decomposition of electrophysiological markers of response inhibition and sustained attention // *Brain Research*. – 2006. – Vol. 1104, № 1. – P. 114-128 <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.05.086>

REFERENCES

1. Baddeley, A. (1998). Working memory. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Series III, Sciences de la Vie*, 321(2-3), 167-173.
2. Kutsenko, T. V., & Nasedkin, D. B. (2018). Performing a combined test with Stroop, Poffenberger, and Sperry tasks in imposed and voluntary modes. *Bulletin of Cherkasy University. Biological Sciences Series*, 1, 62-69. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-1-62-69>
3. Makarenko, M. V. (2006). *Fundamentals of professional selection of military specialists and methods for studying individual psychophysiological differences among people*. Kyiv: Bohomolets Institute of Physiology, NAS of Ukraine.
4. Acharya, U. R., Oh, S. L., Hagiwara, Y., Tan, J. H., Adeli, H., & Subha, D. P. (2018). Automated EEG-based screening of depression using deep convolutional neural network. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 161, 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.04.005>
5. Criaud, M., & Boulinguez, P. (2013). Have we been asking the right questions when assessing response inhibition in go/no-go tasks with fMRI? A meta-analysis and critical review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(1), 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.11.003>
6. Casey, B. J., Trainor, R. J., Orendi, J. L., Schubert, A. B., Nystrom, L. E., Giedd, J. N., Castellanos, F. X., Haxby, J. V., Noll, D. C., Cohen, J. D., Forman, S. D., Dahl, R. E., & Rapoport, J. L. (1997). A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 835-847.
7. Dockree, P. M., & Robertson, I. H. (2011). Electrophysiological markers of cognitive deficits in traumatic brain injury: A review. *International Journal of Psychophysiology*, 82(1), 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.01.004>
8. Carter, C. S., MacDonald, A. W., Ross, L. L., & Stenger, V. A. (2001). Anterior cingulate cortex activity and impaired self-monitoring of performance in patients with schizophrenia: An event-related fMRI study. *American Journal of Psychiatry*, 158(9), 1423-1428. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.158.9.1423>
9. Motes, M. A., Spence, J. S., Yeatman, K., Jones, P. M., Luttrell, M., O'Hair, R., Shakal, S., DeLaRosa, B. L., To, W., Vanneste, S., Kraut, M. A., & Hart, J. (2020). High-definition transcranial direct current stimulation to improve verbal retrieval deficits in chronic traumatic brain injury. *Journal of Neurotrauma*, 37(1), 170-177. <https://doi.org/10.1089/neu.2018.6331>

10. Makarenko, M. V., Lyzohub, V. S., & Bezcopylnyi, O. P. (2014). *Methodical guidelines for practical training in differential psychophysiology and physiology of higher nervous activity of humans*. Kyiv–Cherkasy: Ministry of Defense of Ukraine & Ministry of Education and Science of Ukraine.
11. Lyzohub, V. S., Khomenko, S. M., Pustovalov, T. V., & Kozhemiako, T. V. (2025). *Neurodynamic foundations of programming in sport* [Monograph]. FOP Hordiienko Ye. I.
12. Lyzohub, V. S., Chernenko, N. P., Kozhemiako, T. V., Palabiyik, A. A., & Bezcopylna, S. V. (2019). Age peculiarities of interaction of motor and cognitive brain systems while processing information of different modality and complexity. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10(3), 288–294. <https://doi.org/10.15421/021944>
13. Kutsenko, T. V., & Nasedkin, D. B. (2018). Performing a combined test with Stroop, Poffenberger, and Sperry tasks in imposed and voluntary modes. *Bulletin of Cherkasy University. Biological Sciences Series, 1*, 62–69. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-1-62-69>
14. Mostofsky, S. H., & Simmonds, D. J. (2008). Response inhibition and response selection: Two sides of the same coin. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(5), 751–761. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20500>
15. Klimesch, W. (2012). α -band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(12), 606–617. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>
16. Ieracitano, C., Mammone, N., Hussain, A., & Morabito, F. C. (2020). A novel multi-modal machine learning based approach for automatic classification of EEG recordings in dementia. *Neural Networks*, 123, 176–190. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.12.006>
17. Kirmizi-Alsan, E., Bayraktaroglu, A., Hurvit, H., Keskin, Y., Emre, M., & Demiralp, T. (2006). Comparative analysis of event-related potentials during go/nogo and CPT: Decomposition of electrophysiological markers of response inhibition and sustained attention. *Brain Research*, 1104(1), 114–128. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.05.086>

Lyzohub V. S., Bezcopylnuy O.O., Koval Y. V.

ASYMMETRY OF THE NEURAL NETWORK OF PROCESSING VISUAL AND VERBAL INFORMATION IN THE GO/NO-GO/GO MODE

Introduction. The study is devoted to the problem of functional asymmetry of neural networks and their transformation from static closed loop testing (Closed loop system) to dynamic stress-test (Dynamic stress-test).

Purpose. In young men aged 16-17, we sought to provide evidence of the presence of functional asymmetry of neural networks in a dynamic test with gradually increasing speed of presentation of signals and reactions with the left (goL) and right (goR) hands, as well as a no-go signal.

Methods. The study was conducted on 45 young men aged 16-17 using the computer system "Diagnost-1M".

Results. It was proven that the functional asymmetry of neural networks, as well as the temporal characteristics of differentiation in the goL/no-go/goR paradigm, depend on the modality (figurative or verbal) of signals and the speed of their presentation. In 16-17 year old boys, the speed of performing the goL/no-go/goR task was higher for figurative than for verbal signals. For verbal signals, a statistically significant predominance of left-hemisphere functional asymmetry was found only at speeds of 30 and 60 signals/min, while for figurative signals such asymmetry of neural networks was absent. When the task speed was increased to 90 and 120 signals/min for figurative and verbal signals, the asymmetry of neural networks was also absent.

Conclusions. The study provides additional information regarding the asymmetry of neural networks underlying the processes of excitation and inhibition. The question of the participation of different information processing mechanisms in the go/no-go/go mode is discussed.

Keywords: asymmetry; go/no-go/go paradigm; reaction speed; signal modality.

Надійшла до редакції / Received: 12.03.2026

Схвалено до друку / Accepted: 11.05.2026