

ПОКАЗНИКИ СКЛАДНОЇ ЗОРОВО-МОТОРНОЇ РЕАКЦІЇ ВИБОРУ ЯК ПРОЯВИ НЕЙРОКОГНІТИВНОЇ АДАПТАЦІЇ ДО ШВИДКІСНО-СИЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

*М. Федьків^{1,2}, Л. Вовканич²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна

²Львівський державний університет фізичної культури
імені Івана Боберського
вул. Костюшка, 11, Львів 79007, Україна
e-mail: maria.fedkiv@lnu.edu.ua

Метою дослідження було виявити особливості сенсомоторних реакцій у осіб із тривалою адаптацією до швидкісно-силових навантажень на прикладі спортсменів-каратистів. У роботі проаналізовано показники складної зорово-моторної реакції вибору (ЗМРВ, реакція Go/No-Go) у тренуваних і нетренуваних осіб для оцінки швидкісних характеристик реакції та точності й варіабельності рефлекторної відповіді. Дослідження проводили за допомогою серії тестів складної ЗМРВ (60, 90 і 120 стимулів) з використанням комплексу «Діагност–1м», що давали змогу реєструвати загальний час виконання завдання, мінімальний час експозиції стимулу, час виходу на мінімальну експозицію, середній час моторної реакції, варіабельність і точність рефлекторної відповіді. Отримані результати показали, що у спортсменів-каратистів усі часові параметри реакції були достовірно кращими, ніж у нетренуваних учасників. Це свідчить про більш ефективну взаємодію сенсорних і моторних структур центральної нервової системи та про підвищену швидкість обробки зорових сигналів. Виявлено, що тренувані особи швидше адаптуються до змінних умов подання стимулів і зберігають стабільність моторних відповідей навіть за збільшення кількості подразників, тоді як у нетренуваних осіб спостерігається тенденція до зростання середнього часу реакції, ймовірно, внаслідок розвитку центральної втоми. Показники варіабельності латентних періодів не мали статистично значущих відмінностей між групами, що свідчить про схожий рівень стабільності сенсомоторних процесів. Основні відмінності пов'язані з підвищеною швидкістю реагування у спортсменів, що, ймовірно, є наслідком тривалої нейрофізіологічної адаптації до інтенсивних швидкісно-силових тренувань. Отримані дані підтверджують, що систематичні заняття карате формують ефективніші механізми когнітивного й моторного контролю, які забезпечують високу швидкість і стійкість сенсомоторних реакцій.

Ключові слова: фізичні навантаження, центральна нервова система, зорово-моторна реакція вибору, нейропластичність, когнітивні функції

Збереження високого рівня когнітивних функцій є ключовою передумовою ефективною освітньої, професійної та спортивної діяльності людини. Саме когнітивні процеси забезпечують сприйняття, інтеграцію, обробку інформації, формування поведінкових стратегій і прийняття рішень [15, 21, 24]. Їхня ефективність визначає точність, швидкість і стабільність сенсомоторних реакцій, а також здатність організму адаптувати

моторні відповіді до змін умов середовища. Одними з найчутливіших індикаторів швидкості й ефективності когнітивних процесів є показники сенсомоторної реакції, яка поєднує сприйняття сенсорної інформації з її нейронною обробкою та формуванням моторної відповіді [6]. Саме тому методики аналізу простих [2, 4, 27] і складних [1, 7, 26] сенсомоторних реакцій широко застосовують для оцінки когнітивних процесів, що лежать в основі адаптації до фізичних навантажень.

Серед тестів складних зорово-моторних реакцій особливе значення має завдання типу Go/No-Go (GNG), яке допомагає оцінити рівень інгібіторного контролю, точність реагування та загальний рівень когнітивних процесів [16, 29]. На відміну від простої зорово-моторної реакції, тест GNG потребує не лише швидкої обробки сенсорного сигналу, але й активного гальмування відповіді на один зі стимулів в умовах вибору, що підвищує його інформативність під час оцінювання функціонального стану центральної нервової системи (ЦНС) та її адаптаційних можливостей.

З позицій нейрофізіології виконання GNG-завдань супроводжується активацією нижньої лобної закрутки (the inferior frontal gyrus, IFG), передньої додаткової моторної зони (pre-supplementary motor area, pre-SMA) та передньої поясної кори (anterior cingulate cortex, ACC), які формують основні ланки механізмів гальмування поведінкових реакцій (behavioral inhibitory control, BIC) [16, 29]. Зміни у параметрах GNG-тесту під час адаптації до фізичних навантажень можуть свідчити про функціональні перебудови нейронних мереж, що відображають прояви нейропластичності – здатності мозку адаптуватися до нових умов шляхом перебудови синаптичних зв'язків [25]. Нейропластичність є центральним механізмом адаптації ЦНС до впливу навантаження і охоплює як швидкі функціональні зміни (модуляція збудливості кори головного мозку), так і повільні структурні процеси, зокрема, синаптогенез та нейрогенез [25]. Вони відбуваються за участю нейротрофічних факторів (BDNF, IGF-1, VEGF), що регулюють пластичність, сприяють утворенню нових зв'язків і підтримують когнітивні функції [8].

Сучасні дослідження свідчать, що фізична активність суттєво впливає на процеси нейропластичності, сприяючи підвищенню рівня нейротрофічних факторів, покращуючи кровопостачання мозку, активуючи механізми синаптичної пластичності, а отже, створюючи умови для підвищення ефективності когнітивних процесів [8, 9, 12]. Навіть короткотривале тренування може позитивно впливати на виконавчі функції, а систематичні заняття здатні суттєво підвищувати ефективність когнітивних процесів і їхню стабільність в умовах психоемоційного навантаження [27].

Низка досліджень демонструє, що характер фізичних вправ визначає специфіку впливу на ЦНС. Так, динамічні, статичні та силові навантаження активують різні нейронні мережі й механізми регуляції рухової активності, що формує різні типи когнітивної відповіді [12]. Тому перспективною моделлю для аналізу впливу фізичних навантажень на когнітивні функції є карате. У карате переважають швидко-силові компоненти фізичної підготовки, які стимулюють одночасно моторні та когнітивні процеси, сприяючи розвиткові комплексної адаптації. У тренувальній і змагальній діяльності каратистів поєднуються швидкі вибухові рухи з високими вимогами до точності координації, концентрації уваги, просторової орієнтації та гальмування рефлекторних реакцій [10, 13]. Реалізація бойових дій у карате потребує миттєвої інтеграції сенсорної інформації, ухвалення рішень у режимі реального часу та ефективного гальмування надлишкових моторних імпульсів. Такий вид активності створює оптимальні умови для формування сенсомоторної адаптації, що включає вдосконалення швидкості й точності рухових реакцій, підвищення стійкості уваги, оптимізацію нейром'язової координації [18, 23].

Дані експериментальних досліджень свідчать, що систематичні заняття карате пов'язані зі структурними змінами мозку, зокрема, зі збільшенням об'єму сірої речовини у лобових і скроневих ділянках, відповідальних за когнітивний контроль і сенсомоторну інтеграцію [11]. Ці зміни супроводжуються посиленням ефективності нейронних мереж, залучених до регуляції уваги, моторного планування та гальмування дій [18, 29].

Попри наявність окремих праць, присвячених впливу фізичної активності на когнітивні функції, нейрокогнітивні аспекти адаптації у спортсменів, що спеціалізуються у швидкісно-силових видах спорту, залишаються недостатньо вивченими. Більшість досліджень стосується дітей або людей старшого віку [17, 22], а у висококваліфікованих спортсменів тривалі адаптаційні зміни ЦНС залишаються малодослідженими [4; 12]. Водночас для досягнення високих результатів у спорті здатність спортсмена швидко інтегрувати сенсорну інформацію, приймати рішення й гальмувати неадекватні рухи є визначальною [27]. Саме тому дослідження Go/No-Go реакцій у каратистів обґрунтоване і науково доцільне – воно дає змогу виявити специфічні нейрофізіологічні прояви адаптації до швидкісно-силових навантажень, оцінити рівень когнітивного контролю та встановити зв'язок між когнітивними й моторними компонентами тренувального процесу.

Метою дослідження було виявити характерні особливості показників реакції Go/No-Go у спортсменів-каратистів як моделі для аналізу нейрокогнітивної адаптації до швидкісно-силових фізичних навантажень.

Методи й організація досліджень

Досліджуваними були студенти ЛДУФК імені Івана Боберського чоловічої статі. До групи тренуваних (Т) належали 23 спортсмени-каратисти стилю кіокушинкай (напряма куміте) високої спортивної кваліфікації (чорний пояс, I розряд, кандидати у майстри спорту), віком $19,13 \pm 2,20$ року, зі стажем занять понад 5 років. До групи нетренованих (НТ) належали 23 студенти, які не дотримувалися режиму регулярної фізичної активності. Середній вік у групі становив $17,70 \pm 0,63$ року. Усі учасники мали нормальний або скоригований до норми зір, а також нормальний кольоровий зір. Жоден з учасників не повідомляв про наявність неврологічних захворювань. Усі учасники дослідження надали письмову інформовану згоду на участь у дослідженні. Дослідження проводили відповідно до положень Гельсінської декларації щодо етичних принципів наукових досліджень за участю людини [28]. Дослідження було схвалено Етичним комітетом Львівського державного університету фізичної культури імені Івана Боберського (протокол № 29/2025 від 29 червня 2025 р.).

Обстеження проводили у першій половині дня за умови відсутності сторонніх подразників та за комфортної температури довкілля. Перед основним етапом учасники проходили інструктаж і тренувальні серії зі швидкістю подання стимулів 40 і 50 за хвилину, що забезпечувало концентрацію уваги, адаптацію до ритму сигналів і зниження орієнтувальної реакції [19]. Далі виконували завдання на складну зорово-моторну реакцію вибору (ЗМРВ) у режимі зворотного зв'язку з використанням апаратно-програмного комплексу «Діагност-1м». Було проведено три тести із поступовим збільшенням кількості стимулів – РВ2-3₆₀, РВ2-3₉₀ та РВ2-3₁₂₀ (60, 90 і 120 стимулів відповідно). Згідно з інструкцією, учасники мали натискати на кнопку правою рукою під час появи квадрата, лівою рукою – під час появи кола, а у разі появи трикутника (гальмівний сигнал) мали утримуватися від відповіді. Використовували режим зворотного зв'язку: тривалість подання стимулу зменшувалася після правильної відповіді та збільшувалася після помилкової. Початковий час експозиції становив 0,9 с і варіював у межах від 0,9 до 0,02 с, а міжстимульний інтервал 0,2 с залишався сталим [20].

У процесі виконання тестів ЗМРВ реєстрували загальні показники: час виконання тесту, тобто тривалість проходження завдання від першого до останнього стимулу; мінімальний час експозиції (мс), час виходу на мінімальну експозицію (с та кількість стимулів). Додатково аналізували мінімальний (Mmin) і максимальний (Mmax) латентний час реакції, середнє значення латентного часу реакції (M) та показники варіабельності сенсомоторних реакцій – середньоквадратичне відхилення (δ) і коефіцієнт варіації (Cv, %). Також враховували відсоток помилок і середній час моторної відповіді (Mmp, мс).

Отримані показники аналізували загальноприйнятими методами статистики з використанням математичних і статистичних функцій програми «Origin 2018». Нормальність розподілу даних аналізували тестом Шапіро–Вілка. Достовірність різниці між двома групами характеризували за допомогою t-критерію Стюдента. Для аналізу статистичної значущості впливу кількості стимулів на показники ЗМРВ під час усіх трьох тестів використовували однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA).

Результати і їхнє обговорення

Під час дослідження центральної нервової системи (ЦНС) тренованих і нетренованих осіб ми виявили певні відмінності між цими двома групами (табл. 1).

Таблиця 1

Основні показники виконання тестів РВ2-3 із різною кількістю стимулів (60, 90, 120) у групах тренованих (Т, $M \pm \sigma$, $n=23$) і нетренованих (НТ, $M \pm \sigma$, $n=23$) осіб

Показник	Група	РВ2-3 ₆₀	РВ2-3 ₉₀	РВ2-3 ₁₂₀
Час виконання тесту, с	Т	33,74±1,71	47,04±3,76	61,30±5,04
	НТ	35,17±3,54*	50,70±5,47**	64,70±5,30*
Мінімальний час експозиції, мс	Т	214,78±42,31	158,26±61,47	166,35±55,39
	НТ	213,64±56,70	207,83±71,03**	167,83±44,21
Час виходу на мінім. експозицію, с	Т	24,48±6,97	32,09±8,96	34,41±9,78
	НТ	28,74±7,26*	38,04±13,26*	45,30±14,91**
Час виходу на мінім. експозицію, стимули	Т	41,91±13,06	58,52±19,19	65,96±22,60
	НТ	48,41±9,86*	63,00±22,79	79,91±27,66*
Mmin, мс	Т	155,74±65,87	60,66±25,11	52,55±35,35
	НТ	158,19±72,78	106,67±72,15**	81,02±54,96*
Mmax, мс	Т	495,19±44,59	503,33±50,79	519,75±64,40
	НТ	528,97±74,84*	541,06±93,34*	561,92±92,58*
M, мс	Т	345,38±31,13	301,84±23,86	298,93±26,76
	НТ	335,51±32,10	319,71±34,17*	314,31±31,14*
δ , мс	Т	91,47±21,47	101,01±18,84	103,84±19,32
	НТ	87,95±18,86	97,70±21,74	103,07±20,66
Cv, %	Т	26,44±5,59	33,25±6,71	34,77±6,34
	НТ	26,32±5,46	30,65±6,56	33,43±6,95
Помилки, %	Т	19,17±1,59	33,39±2,27	49,48±2,47
	НТ	18,96±1,89	34,57±1,90*	49,61±2,43
Mmp, мс	Т	116,38±14,35	114,63±12,02	115,06±14,01
	НТ	182,34±101,70**	176,75±108,89**	234,79±153,44***

Примітка: Рівень достовірності різниці між групами: *** – $P < 0,001$; ** – $P < 0,01$; * – $P < 0,05$

Зокрема, у пробі PB2-3₆₀ для групи тренуваних були характерні менший час виконання проби (на 4 %, $P < 0,05$) та час і кількість подразників, необхідних для виходу на мінімальну експозицію (на 14 % та 13 % відповідно, $P < 0,05$). Це може вказувати на швидші процеси термінової адаптації нервових центрів до диференціювання умовних подразників. Під час виконання проби PB2-3₆₀ у групі тренуваних осіб виявлено менший максимальний час реакції (Mмакс, на 6 %, $p < 0,05$) та нижчі середні значення моторної реакції (Mмр, на 34 %, $P < 0,01$). Інші середні значення, зокрема, мінімальний час реакції (Mмін), середнє значення латентного періоду реакції (M) та показники варіабельності відповідей (m , δ , Cv) між групами достовірно не відрізнялись.

Вивчення параметрів виконання проби PB2-3₉₀ виявляє низку закономірностей, схожих з результатами попереднього тесту PB2-3₆₀. Зокрема, як і у попередньому тесті, тренувані особи демонструють менший час виконання (на 7 %, $P < 0,01$) та швидший вихід на мінімальну експозицію (на 16 %, $p < 0,05$). Водночас у цьому тесті для групи тренуваних осіб характерний менший мінімальний час експозиції (на 24 %, $P < 0,01$). Різниця тривалості виходу на мінімальну експозицію за кількістю сигналів не досягає статистично значущого рівня.

Під час виконання тесту PB2-3₉₀ у групі тренуваних осіб виявлено нижчі значення Mмін і Mмакс (на 43 та 7 %, $P < 0,01$ та $p < 0,05$), менше значення M і Mмр (на 6 % та 35 %, $P < 0,01$ та $P < 0,05$). Значення варіабельності латентних періодів реакцій у двох групах були аналогічними, а кількість помилок – на 3 % більша ($P < 0,05$) у нетренованих осіб. Таким чином, загальні параметри виконання тесту вказують на швидшу й точнішу диференціацію подразників і швидше реагування у групі тренуваних осіб.

Дослідження результатів виконання досліджуваними тесту PB2-3₁₂₀ засвідчує наявність певних відмінностей між групами тренуваних і нетренованих осіб. Зокрема, час виконання тесту тренуваними особами був на 5 % коротшим ($P < 0,05$). Вони також на 24 % швидше ($P < 0,01$) досягали мінімального латентного періоду реакції, витрачаючи для цього на 17 % менше ($P < 0,05$) спроб. За результатами виконання тесту виявлено, що Mмін, Mмакс, Mмр і M тренуваних осіб були меншими на 35 %, 8 %, 51 % та 5 % відповідно ($P < 0,05$). Водночас не виявлено статистично значущих відмінностей у варіабельності показників латентних періодів реакції та кількості помилок у цих двох групах.

Використання кількох проб із різною кількістю подразників (PB2-3₆₀, PB2-3₉₀ та PB2-3₁₂₀) дає змогу визначити наявність і закономірності змін показників складної зорово-моторної реакції вибору в цих умовах особами з різним рівнем фізичної підготовленості. Аналіз впливу фактора кількості подразників на параметри ЗМРВ здійснювали з використанням однофакторного дисперсійного аналізу (табл. 2).

Встановлено, зокрема, що час виходу на мінімальну експозицію зростає зі збільшенням кількості подразників. Оскільки при цьому знижуються показники M та Mмін, то можна припустити, що початкової кількості подразників (60) недостатньо для досягнення мінімального латентного періоду реакції, лише триваліша робота у режимі зворотного зв'язку дає змогу досягти максимальної швидкості аналізу інформації. Прикметно при цьому, що показник Mмр практично не змінювався у тренуваних осіб і зростав за умови 120 подразників у осіб нетренованих. Отож, тривалість моторного компонента латентного періоду ЗМРВ перебуває на мініальному рівні вже під час першого тесту. Можливо, під час третього тесту цей показник у нетренованих починає збільшуватися внаслідок розвитку втоми. Також очевидно, що у всіх трьох тестах параметр Mмр є нижчим у тренуваних осіб.

Таблиця 2

Результати ANOVA показників ЗМРВ під час виконання серії тестів
(PB2-3₆₀, PB2-3₉₀ та PB2-3₁₂₀)

Показник	Треновані		Нетреновані	
	F (F _{сп})	P	F (F _{сп})	P
Час виконання тесту	308,77 (3,14)	< 0,01	260,61 (3,14)	< 0,01
Мінімальний час експозиції, мс	7,46 (3,14)	< 0,01	2,81 (3,14)	0,070
Час виходу на мінім. експозицію, с	8,29 (3,14)	< 0,01	10,54 (3,14)	< 0,01
Час виходу на мінім. експозицію, сигнали	9,96 (3,14)	< 0,01	13,17 (3,14)	< 0,01
Мінімальний час реакції	36,53 (3,14)	< 0,01	7,88 (3,14)	< 0,01
Максимальний час реакції	1,95 (3,14)	0,150	0,83 (3,14)	0,437
М, мс	19,75 (3,14)	< 0,01	3,01 (3,14)	0,056
δ, мс	2,43 (3,14)	0,095	3,23 (3,14)	< 0,05
Помилки, к-ть, %	1153,49 (3,14)	< 0,01	1237,82 (3,14)	< 0,01
Ммр	0,105 (3,14)	0,900	1,45 (3,14)	0,242

Цікавим також є той факт, що зменшення Ммін і М у тренованих осіб під час переходу від PB2-3₆₀ до PB2-3₉₀ було більш вираженим у тренованих осіб, а у наступному тесті (PB₁₂₀) ці показники змінились уже незначно. У нетренованих осіб зміни показників Ммін і М є більш поступовими, вони відбуваються упродовж усієї серії тестів. Це може свідчити, що адаптація до виконання ЗМРВ у тренованих осіб відбувається швидше, а параметри реакції, за винятком першого тесту, виявляються кращими, ніж у нетренованих осіб.

Отримані нами результати підтверджують наявність суттєвих відмінностей між тренованими спортсменами-однборцями та нетренованими особами під час виконання зорово-моторної реакції вибору (ЗМРВ, GNG). У всіх серіях тестів (PB2-3₆₀, PB2-3₉₀, PB2-3₁₂₀) треновані учасники демонстрували коротший час виконання завдань, швидший вихід на мінімальну експозицію та нижчі середні значення моторної відповіді (Ммр). Це вказує на більш ефективні механізми обробки інформації у центральній нервовій системі та швидше формування відповідей. Зокрема, зменшення Ммакс і Ммр у тренованих осіб можна інтерпретувати як прояв кращої сенсомоторної координації, що формується у процесі систематичних фізичних навантажень. Отримані результати узгоджуються з попередніми дослідженнями, під час яких встановлено, що досвідчених спортсменів характеризують швидша обробка візуальної інформації, вища точність у прогнозуванні подій і краща реакція на динамічні ситуації [14]. Наші результати схожі з даними інших авторів [3, 7], які підтвердили зв'язок між адаптацією до тривалих тренувань і нижчими середніми значеннями латентного часу реакції. Романенко та співавт. [26] також відзначають, що в однборців вибір техніко-тактичних дій визначається здатністю оперативно реагувати на мінливу ситуацію поєдинку, часто за умов обманливих рухів суперника. Реакції типу GNG моделюють ці умови, даючи спортсменам змогу реагувати лише на релевантні стимули і пригнічувати реакцію на хибні, що відображає рівень когнітивного та моторного контролю.

Динаміка змін у обох групах між серіями тестів також має суттєве значення. У тренованих осіб значне зниження мінімального часу реакції (Ммін) і середнього латентного періоду (М) спостерігалось вже під час переходу від PB2-3₆₀ до PB2-3₉₀, тоді як у нетренованих поступові зрушення відбувалися протягом усіх трьох проб. Це

може свідчити про більш ефективну адаптацію сенсомоторних і когнітивних центрів у тренованих осіб до умов змінної стимуляції. Водночас зростання Мвр у нетренованих учасників у пробі PB2-3₁₂₀, ймовірно, відображав розвиток центральної втоми за умов тривалого сенсорного навантаження, тоді як у спортсменів цей показник залишався стабільним.

В основі виявлених нами особливостей показників GNG спортсменів можуть лежати викликані багаторічними тренуваннями нейропластичні перебудови у структурах мозку, відповідальних за контроль рухів. Такі припущення підтверджує підвищення у елітних спортсменів-каратистів об'єму сірої речовини у нижній і верхній скроневоїх ділянках, потиличній і премоторній корі та верхньому скроневому полюсі, а також збільшення об'єму білої речовини у хвостатому ядрі, гіпоталамусі й сосочкових тілах [11]. Відомо, що завдання типу GNG, які потребують точного моторного контролю та вибіркового пригнічення рухових реакцій, пов'язані з активністю нижньої лобової закрутки (IFG) та передньої додаткової моторної зони кори (preSMA) [16]. Ці структури мають функціональні й анатомічні зв'язки з премоторною корою, скроневиими ділянками, хвостатим ядром і потиличною корою, формуючи складні нейронні мережі, що беруть участь в ухваленні рішень, плануванні рухів та контролі рухової активності.

Аналіз усіх трьох проб показує, що збільшення кількості подразників (від 60 до 120) подовжує час виходу на мінімальну експозицію. Це закономірно, адже зростає складність завдання і навантаження на ЦНС. Проте лише триваліші серії (90 і 120 стимулів) дають змогу досягти максимальної швидкості аналізу інформації. Характерно, що у тренованих осіб зменшення М та Ммін було більш вираженим уже на другому етапі (PB2-3₉₀), тоді як у нетренованих ці показники продовжували поступово покращуватись і на PB₁₂₀. Ці результати можна пояснити більш ефективним функціонуванням мережі множинних вимог (multiple demand network, MDN) [5], куди залучають лобно-острівцево-тім'яні ділянки головного мозку. У діяльності MDN важливу роль відіграє preSMA та лобова кора (передня та задня латеральна ділянки) [5].

Варіабельність латентних періодів (m , δ , Cv) не продемонструвала суттєвих відмінностей між групами, що вказує на збереження відносної стабільності реагування як у тренованих, так і у нетренованих. Це свідчить, що ключовим результатом адаптації є не стабільність, а підвищення швидкості реакції та збереження її точності.

У результаті дослідження встановлено, що у спортсменів-каратистів показники складної зорово-моторної реакції вибору суттєво кращі, ніж у нетренованих осіб. Треновані учасники характеризуються коротшим часом реакції, швидшим виходом на мінімальну експозицію та збереженням стабільності моторної відповіді навіть за умов збільшення кількості стимулів. Це свідчить про більш ефективну сенсомоторну інтеграцію та вищу стійкість нервових процесів до тривалого сенсорного навантаження. Водночас показники варіабельності латентних періодів не виявили значущих відмінностей між групами, що свідчить про подібний рівень стабільності реакцій. Виявлені відмінності пов'язані переважно зі швидкісними характеристиками та збереженням точності реагування. Отримані результати підтверджують, що тривала адаптація до швидкісно-силових навантажень сприяє формуванню ефективніших механізмів когнітивного та моторного контролю. Це забезпечує підвищену швидкість реагування, точність дій і здатність зберігати працездатність за умов інтенсивної стимуляції.

Дослідження виконані у рамках науково-дослідної теми кафедри анатомії та фізіології ЛДУФК імені Івана Боберського "Морфологічні та функціональні прояви адаптації організму людини до фізичних навантажень різної інтенсивності".

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боднар І., Дух Т., Вовканич Л., Кіндзер Б. Швидкість сенсомоторних реакцій та когнітивних процесів у студентів вищих навчальних закладів гуманітарних спеціальностей // Фіз. акт. здор. спорт. 2012. Т. 4. № 10. С. 3–9.
2. Вовканич Л., Дунець-Лесько А., Пенчук А., Качмар П. Особливості сенсомоторних реакцій спортсменів різних спортивних спеціалізацій // Фіз. акт. здор. спорт. 2015. Т. 20. № 2. С. 17–26.
3. Лизогуб В., Пустовалов В., Супрунович В., Коваль Ю. Аналіз нейродинамічних функцій футболістів прем'єр- та першої ліги України // Спорт. вісн. Придніп. 2015. № 3. С. 241–244. http://nbuv.gov.ua/UJRN/svp_2015_3_49
4. Мирошниченко Є., Тропін Ю., Коваленко Ю. Модельні характеристики психофізіологічних показників кваліфікованих кікбоксерів // Слобожан. наук.-спорт. вісн. 2020. Т. 5. № 79. С. 20–26. <https://doi.org/10.15391/snsv.2020-5.003>
5. Aziz-Safaie T., Müller V. I., Langner R. et al. The effect of task complexity on the neural network for response inhibition: An ALE meta-analysis // *Neurosci Biobehav Rev.* 2024. Article 105544. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105544>
6. Babushkin V., Jamil M. H., Park W., Eid M. Sensorimotor skill communication: A literature review // *IEEE Access.* 2021. Vol. 9. P. 75132–75149. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3081449>
7. Baibikov M. Investigation of the relationship between the levels of manifestation of complex sensorimotor reactions of taekwondo athletes // *Sci. J. Natl. Pedagog. Dragomanov Univ. Ser. 15 Sci. Pedagog. Probl. Phys. Cult. (Phys. Cult.).* 2024. Vol. 6. N 179. P. 26–33. [https://doi.org/10.31392/udu-nc.series15.2024.6\(179\).05](https://doi.org/10.31392/udu-nc.series15.2024.6(179).05)
8. Behrad S., Dezfuli S. A. T., Yazdani R. et al. The effect of physical exercise on circulating neurotrophic factors in healthy aged subjects: A meta-analysis and meta-regression // *Exp. Gerontol.* 2024. Vol. 196. Article 112579. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2024.112579>
9. Bonanni R., Cariati I., Tarantino U. et al. Physical exercise and health: A focus on its protective role in neurodegenerative diseases // *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2022. Vol. 7. N 2. P. 38. <https://doi.org/10.3390/jfmk7020038>
10. Chaabène H., Hachana Y., Franchini E. et al. Physical and physiological profile of elite karate athletes // *Sports Med.* 2012. Vol. 42. N 10. P. 829–843. doi:10.1007/bf03262297
11. Duru A. D., Balcioglu T. H. Functional and structural plasticity of brain in elite karate athletes // *J. Healthc. Eng.* 2018. P. 1–8. <https://doi.org/10.1155/2018/8310975>
12. Dwojaczny B., Bejtka M., Iermakov S. et al. Effects of karate training on cognitive functions in young athletes // *J. Phys. Educ. Sport.* 2021. Vol. 21. N 5. P. 2473–2479. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.05333>
13. Franchini E. Energy system contributions during olympic combat sports: a narrative review // *Metabol.* 2023. Vol. 13. N 2. P. 297. doi:10.3390/metabo13020297.
14. Gao D., Hu B., Yuan T. et al. Exploring the relationship between motor visual proficiency and performance metrics in elite skeet shooters: An in-depth analysis // *PLOS One.* 2025. Vol. 20. N 6. Article e0325351. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0325351>
15. Heckner M. K., Cieslik E. C., Eickhoff S. B. et al. The aging brain and executive functions revisited: Implications from meta-analytic and functional-connectivity evidence // *J. Cogn. Neurosci.* 2021. Vol. 33. N. 9. N. 1716–1752. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01616
16. Hori M., Kojima S., Onishi H. Cross-Modal transfer effects of the go/no-go training with visual stimuli // *Brain Behav.* 2025. Vol. 15. N 2. <https://doi.org/10.1002/brb3.70309>

17. *Ivaščenko T., Ivaščenko J.* Effects of sensomotor communication system based exercises on static balance and self-esteem in 7-12 years old karate pupils // *Cent. Eur. J. Sport Sci. Med.* 2023. Vol. 44. P. 27–37. <https://doi.org/10.18276/cej.2023.4-03>
18. *Lei Y., Perez M. A.* Cerebellar contribution to sensorimotor adaptation deficits in humans with spinal cord injury // *Scientific Reports.* 2021. Vol. 11. N 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77543-8>
19. *Lizohub V., Chernenko N., Kozhemyako T.* et al. Дослідження функціональних резервів розумової працездатності // *Lesya Ukr. East. Eur. Natl. Univ. Sci. Bull. Ser. Biol. Sci.* 2019. Vol. 8. N 381. P. 102–107. <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2018-381-102-107>
20. *Makarenko M. V., Lizohub V. S., Kharchenko D. M.* Processing of visual-auditory information of varying degrees of complexity in people with different properties of the main nervous processes // *Cherkasy Univ. Bull. Biol. Sci. Ser.* 2018. N 1. P. 92–104. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-1-92-104>
21. *Morra S., Howard S. J., Loaiza V. M.* Working memory and executive functions: Theoretical advances // *J. Cogn.* 2025. Vol. 8. N 1. <https://doi.org/10.5334/joc.424>
22. *Mustafa H., Harrison A., Sun Y.* et al. Five weeks of Yuishinkai karate training improves balance and neuromuscular function in older adults: A preliminary study // *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2022. Vol. 14. N 1. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00458-6>
23. *Piepiora P. A.* The health effects of karate training: A review of 21st century research // *Healthcare.* 2025. Vol. 13. N 2. P. 118. <https://doi.org/10.3390/healthcare13020118>
24. *Prince J. B., Davis H., Tan J., Muller-Townsend K.* et al. Cognitive and neuroscientific perspectives of healthy ageing // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2024. Article 105649. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105649>
25. *Revelo Herrera S. G., Leon-Rojas J. E.* The effect of aerobic exercise in neuroplasticity, learning, and cognition: a systematic review // *Cureus.* 2024. Vol. 16. N 2. Article e54021. <https://doi.org/10.7759/cureus.54021>
26. *Romanenko V., Piatysotska S., Podrigalo L.* et al. Methodology for evaluating the “Go/No-Go” reaction in martial arts // *J. Phys. Educ. Sport.* 2024. Vol. 24. N 12. P. 2139–2146. <https://doi.org/10.7752/jpes.2024.12312>
27. *Shlonska O., Borysova O., Fedorchuk S.* et al. Sensorimotor reaction indicators as measures of specialized training in qualified volleyball players across different roles // *J. Phys. Educ. Sport.* 2025. Vol. 25. N 7. P. 1465–1475. <https://doi.org/10.7752/jpes.2025.07163>
28. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects // *Jama.* 2013. Vol. 310. N 20. P. 2191–2194. doi:10.1001/jama.2013.281053
29. *Zhao S., Yuan R., Gao W.* et al. Neural substrates of behavioral inhibitory control during the two-choice oddball task: functional neuroimaging evidence // *Psychoradiology.* 2023. Vol. 3. Article kkad012. <https://doi.org/10.1093/psyrad/kkad012>

Стаття надійшла до редакції 30.10.25

доопрацьована 01.12.25

прийнята до друку 04.12.25

**INDICATORS OF COMPLEX CHOICE VISUAL-MOTOR REACTION
AS MANIFESTATIONS OF NEUROCOGNITIVE ADAPTATION
TO SPEED-STRENGTH LOADS*****M. Fedkiv^{1,2}, L. Vovkanych²**¹*Ivan Franko National University of Lviv**4, Hrushevskyyi St., Lviv 79005, Ukraine*²*Ivan Boberskyi Lviv State University of Physical Culture**11, Kostyushko St., Lviv 79007**e-mail: maria.fedkiv@lnu.edu.ua*

The aim of this study was to identify the specific features of sensorimotor reactions in individuals with long-term adaptation to speed-strength physical loads, using karate athletes as a model. The parameters of a complex visual-motor choice reaction (Go/No-Go test) were analyzed in trained and untrained participants to assess reaction speed, response accuracy, and variability. The study employed a series of complex visual-motor reaction tests (60, 90, and 120 stimuli) using the «Diagnost-1m» hardware-software system, which allowed for the registration of total task completion time, minimal stimulus exposure duration, time to reach minimal exposure, mean motor reaction time, as well as the variability and accuracy of reflex responses. The results revealed that karate athletes demonstrated significantly better temporal parameters of the reaction compared with untrained participants, indicating more efficient interaction between sensory and motor structures of the central nervous system and enhanced visual signal processing speed. Trained individuals adapted more rapidly to changing stimulus presentation conditions and maintained stable motor responses even as the number of stimuli increased, whereas untrained participants exhibited a tendency toward prolonged reaction times, likely due to central fatigue. The variability of latent periods did not differ significantly between groups, suggesting a similar level of stability in sensorimotor processes. The main differences were associated with higher reaction speed among athletes, which is likely a consequence of long-term neurophysiological adaptation to intensive speed-strength training. The findings confirm that systematic karate practice promotes more efficient mechanisms of cognitive and motor control, ensuring high speed and stability of sensorimotor responses.

Keywords: physical exercise, central nervous system, visual-motor choice reaction, neuroplasticity, cognitive functions