

Високоінтенсивне інтервальне тренування в реабілітації хворих з постінсультними когнітивними порушеннями

УДК 615.825:616.831-005.1(045)

Р. О. Баннікова, О. О. Вороньков

Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

Резюме. Проблема мозкового інсульту надзвичайно актуальна у зв'язку з його поширеністю, високими показниками летальності та інвалідизації, що настає внаслідок рухових, мовленнєвих та когнітивних порушень, які впливають на мотивацію, адекватну поведінку та довгострокову якість життя. Реабілітація робить суттєвий вплив на відновлення функцій мозку і реорганізацію, особливо відносно рухових порушень. Тому є доцільним пошук шляхів для створення нових реабілітаційних програм, спрямованих на відновлення вихідного рівня соціального функціонування, збереження та покращення когнітивних функцій. Високоінтенсивне інтервальне тренування (ВІТ) сьогодні вважається багатообіцяючою стратегією покращення когнітивних функцій. *Мета.* Вивчення зарубіжного досвіду застосування високоінтенсивного інтервального тренування у стимулюванні процесів нейропластичності та покращенні когнітивних функцій після інсульту. *Методи.* Теоретичний аналіз, синтез та узагальнення даних спеціальної науково-методичної літератури. *Результати.* Потенційна роль ВІТ у реабілітації після інсульту підтверджується результатами його потужного нейрогенного ефекту, який може посилити когнітивні функції та нейропластичність. Використання ВІТ в комплексі засобів та методів фізичної терапії підвищує рівень нейротрофічного фактора (BDNF) у сировотці крові, що впливає на покращення когнітивних функцій мозку постінсультних хворих. Аналіз доступної науково-методичної літератури свідчить, що ВІТ може бути ефективним у стимулюванні процесів нейропластичності та когнітивних функцій, що дає підставу рекомендувати його застосування в системі реабілітації хворих після перенесеного інсульту.

Ключові слова: високоінтенсивне тренування, фізична терапія, інсульт, нейропластичність, когнітивні функції.

High-intensity interval training in the rehabilitation of patients with post-stroke cognitive impairment

R. O. Bannikova, O. O. Voronkov

National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

Abstract. The problem of cerebral stroke is extremely relevant due to its prevalence, high mortality rates, and disability resulting from motor, speech, and cognitive impairments that affect motivation, adequate behavior, and long-term quality of life. Rehabilitation has a significant impact on the restoration of brain functions and reorganization, especially in relation to motor disorders. Therefore, it seems appropriate to search for ways to create new rehabilitation programs aimed at restoring the initial level of social functioning, preserving, and improving cognitive functions. High-intensity interval training is currently considered a promising strategy for improving cognitive function. *Objective.* To study the foreign experience of using high-intensity interval training in stimulating neuroplasticity processes and improving cognitive functions after stroke. *Methods.* Theoretical analysis, synthesis and generalization of data of special scientific and methodical literature. *Results.* The potential role of HIIT in stroke rehabilitation is confirmed by the results of its powerful neurogenic effect, which can enhance cognitive function and neuroplasticity. The use of HIIT in the complex of physical therapy tools and methods

increases the level of brain-derived neurotrophic factor (BDNF) in the blood serum, which affects the improvement of brain cognitive function in post-stroke patients. The analysis of the available scientific and methodological literature shows that HIIT can be effective in stimulating neuroplasticity and cognitive functions, which gives reason to recommend its use in the rehabilitation of patients after stroke.

Keywords: high intensity physical training, physical therapy, stroke, neuroplasticity, cognitive functions.

Постановка проблеми. Відсутність фізичної активності є важливою проблемою в усьому світі: приблизно 27,5 % населення планети не дотримуються рекомендацій до фізичної активності (75–150 хв середньої та інтенсивної фізичної активності на тиждень). Недостатньо активні люди, піддаються більшому ризику розвитку таких неінфекційних хронічних захворювань, як серцево-судинні (інсульт та інфаркт), рак, хронічні респіраторні захворювання (хронічна обструктивна хвороба легень та астма) і діабет [7,12]. Фізична активність є корисною для первинної профілактики інсульту [28]. 75 % хворих після перенесеного інсульту мають ті чи інші порушення: зниження сили руки чи ноги, порушення мовлення, ковтання, зору, когнітивний дефіцит, з якими вони живуть решту свого життя [1].

У цілому когнітивні порушення різного ступеня вираженості відмічаються у 40–90 % пацієнтів, що перенесли інсульт, у перші два тижні захворювання, а поширеність постінсультної деменції в перші шість місяців становить від 5 до 40 % [15].

В основі розвитку когнітивної дисфункції знаходиться холінергічна недостатність, пов'язана з ураженням орбітофронтальної зони мозку, його стоволових структур та лімбічної системи, що супроводжується втратою пам'яті, порушенням запам'ятовування, спілкування, мовлення, сну. Когнітивні порушення, включаючи увагу, пам'ять, виконавчі функції та дефіцит обробки інформації, часто сприяють зниженню якості життя, зокрема подвоюючи ризик розвитку деменції [23]. Зниження когнітивних навичок також є сильним прогностичним фактором неможливості повернутися до роботи, тим самим збільшуючи соціально-економічний тягар інсульту [17]. Тому реабілітація у цьому випадку стає надзвичайно важливою для протидії когнітивним порушенням.

Для подолання холінергічної недостатності та відновлення когнітивних функцій необхідно посилити метаболічні процеси. На сьогодні добре відомий позитивний вплив фізичної активності (рухи, що здійснюються м'язами, які потребують енергії) і фізичних вправ (заплановані, структуровані та навмисні рухи) на функцію мозку та його метаболізм [6]. Існує велика кількість досліджень, які показують, що регулярна фізична

активність і вправи можуть покращити кардіореспіраторну систему організму, тим самим знижуючи ризик хронічних захворювань і смертності [19, 38]. На сьогодні безперервне тренування помірної інтенсивності є найбільш вивченим режимом застосування фізичних вправ, що може підвищити увагу, швидкість обробки інформації та наявну продуктивність пам'яті у пацієнтів з інсульту [22, 28].

Незважаючи на те що високоінтенсивне інтервальне тренування (ВІТ) вперше було описано німецьким кардіологом Хансом Рейнделлом у 1950-х роках як спосіб серцево-судинної реабілітації, його переважно використовували елітні спортсмени для аеробних тренувань [32]. Воно складається з чергування періодів інтенсивних аеробних вправ з періодами відновлення. Встановлено, що тренування ВІТ викликає більш виражене підвищення серцевого викиду та ударного об'єму, ніж тренування з вправами середньої інтенсивності (ВІІ). Згідно з даними Juneau et al., [16], ВІТ безпечні та добре переносяться без доказів пошкодження міокарда, значних аритмій або дисфункції лівого шлуночка.

Грунтуючись на попередніх доказах того, що ВІТ виявився ефективним методом тренування для покращення стану серцево-судинної системи, з'явився зростаючий інтерес до досліджень зв'язку між інтенсивним тренуванням і когнітивними функціями.

Роботу виконано відповідно до плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021–2025 рр. за темою 4.2 «Відновлення функціональних можливостей, діяльності та участі осіб різних нозологічних, професійних та вікових груп» (номер держреєстрації 0121U107926).

Мета дослідження — вивчення зарубіжного досвіду застосування високоінтенсивного інтервального тренування у стимулюванні процесів нейропластичності та когнітивних функцій у осіб після перенесеного інсульту.

Методи дослідження: теоретичний аналіз, синтез та узагальнення зарубіжних даних спеціальної науково-методичної літератури. Пошук проводили в базах даних MEDLINE, CINAHL, PEDro, PubMed Central та Scopus. Електронний пошук доповнено ручним пошуком.

Результати дослідження та їх обговорення. В процесі дослідження, присвяченого аналітичному огляду спеціальної науково-методичної літератури, встановлено, що для розробки ефективних методів постінсультної реабілітації необхідні знання з фундаментальних патогенетичних механізмів, що визначають функціонально-морфологічний та біохімічний стан мозку хворих в різні періоди інсульту. Відновлення втрачених унаслідок захворювання функцій обумовлене механізмами, пов'язаними зі структурною та функціональною реорганізацією центральної нервової системи (ЦНС), що позначається терміном «нейропластичність». Сучасні реабілітаційні втручання повинні бути спрямовані на посилення процесів нейропластичності мозку, яка передбачає відновлення та компенсацію втрачених функцій.

Згідно із сучасним поглядом, фізичні вправи пов'язують із покращенням пізнання і позитивним впливом як на функцію, так і на структуру мозку у людей похилого віку. Численні дослідження стверджують, що вправи на витривалість слід починати в перші тижні або місяці після інсульту, щоб сприяти більш ефективному довгостроковому функціональному відновленню [8]. Ризики аритмії або внутрішньомозкового крововиливу, ураження міокарда, систолічної дисфункції, нестабільної стенокардії та неконтрольованої гіпертензії можуть обмежити використання ВІТ протягом перших місяців (від 1 до 6 міс.) у осіб з інсультом [1,24]. Проте хворі з інсультом повинні виконувати тестування фізичного навантаження (на біговій доріжці або велоергометрі) з моніторингом електрокардіограми перед початком реабілітаційної сесії, щоб забезпечити їх безпеку під час тренування [8]. ВІТ протягом перших місяців після інсульту може бути доцільним для посилення як сенсомоторних, так і когнітивних функцій за умови, що воно має бути безпечним і можливим для постінсультних хворих. Проте важливо зазначити, що кількість занять на тиждень цих типів вправ залишається недостатньо вивченою.

Існують докази, що кілька потенційних молекулярних факторів можуть опосередковувати вплив ВІТ на процеси нейропластичності та когнітивні покращення. По-перше, скелетні м'язи здатні передавати сигнали іншим органам, таким як мозок, за допомогою багатьох речовин, що вивільняються під час тренування, серед яких лактат виділяється активними м'язами під час сеансу ВІТ, що досягається здоровими людьми та особами з інсультом [4, 5]. По-друге, підвищення концентрації лактату в крові часто корелює з підвищенням рівня сироваткового нейротрофічного фактора (BDNF) у сироватці крові, моторною

збудливістю кори головного мозку та моторним навчанням у здорових людей [37].

Новітні дані свідчать про потенційний вплив міокіну на нейропластичність після ВІТ, викликаного фізичними навантаженнями, на витривалість, домен 5 фібронектину III типу (FNDC5). Так, Boström et al. [2] в своїх дослідженнях спостерігали посилення експресії гена FNDC5 у скелетних м'язах і збільшення в сироватці крові його секретованої форми — іризину — після тривалих тренувань на витривалість у людей та щурів. Вважається, що сам іризин може перетинати гематоенцефалічний бар'єр (ГЕБ), щоб викликати зміни в експресії генів, або індукувати фактор Х. Зроблено висновок, що викликаний фізичними навантаженнями нейрогенез гіпокампа у дорослих був пов'язаний зі збільшенням генів FNDC5 і BDNF, таким чином покращуючи когнітивні функції.

Molteni et al. [25] було виявлено, що гени, пов'язані із системою гамма-аміномасляної кислоти (ГАМК), були знижені у щурів, які піддавалися 28-денному тренуванню на колесі. Дослідження Song et al. [34] показали, що зниження функції ГАМК може підвищити рівень BDNF, який опосередковує нейрогенез під час фізичних вправ. Згідно з попередніми результатами, отриманими Stavrinou et al. [35], транскраніальна магнітна стимуляція (ТМС) у дослідженнях на людях вказує на зниження синаптичних функцій ГАМК паралельно з покращенням консолідації рухової пам'яті після ВІТ.

Ряд нещодавніх досліджень також вказує на позитивний вплив ВІТ на когнітивні функції мозку [3, 4, 10, 14, 15, 21, 26, 29, 39], серед яких тільки в трьох дослідженнях [3, 14, 21] встановлено, що ВІТ має більший вплив на когнітивні функції, ніж ВІТ. У клінічних дослідженнях, проведених Pescatello et al. [30], було показано, що ВІТ більшою мірою знижує артеріальний тиск (АТ) порівняно зі ВІТ.

Таблиця 1 ілюструє вплив ВІТ на процеси нейропластичності та когнітивні функції після інсульту. Одноразове заняття ВІТ, як і 4-тижнева програма, підвищує рівень ендотеліального фактора росту судин (VEGF) та інсуліноподібного фактора росту 1 (IGF-1), а також рівень BDNF у сироватці крові, що корелює з вищими концентраціями лактату в крові порівняно з ВІТ, без супутньої відповіді на стрес кортизолом, який обмежує процеси нейропластичності [3, 4, 14]. Використання ВІТ сприяє збільшенню концентрації деяких біомаркерів (VEGF, IGF-1, BDNF) крові, які модулюють складну рухову поведінку, покращують набуття рухових навичок і

ТАБЛИЦЯ 1 – Опис протоколів аеробного тренування та його вплив на когнітивні функції у хворих з інсультом

Дослідження	Учасник	Тренування		Результат
		інтенсивність	тривалість	
Boyne et al., 2019 [4]	n = 16 Вік: 57,4 (37,7–72,1) року Терміни після інсульту: 6,5 (0,5–16,11) року	Бігова доріжка ВІТ: максимальна допустима швидкість 30 с високої інтенсивності і 60–30 с низької інтенсивності ВІТ сидячи на степпері: максимальна каденція з 50 % максимального опору ВСІ: 45 ± 5 % резерв ЧСС	25 хв·сеанс	Підвищення BDNF після ВІТ
Boyne et al., 2020 [3]	n = 16 Вік: 57,4 (37,7–72,1) року Терміни після інсульту: 6,5 (0,5–16,11) року	Бігова доріжка ВІТ: максимальна допустима швидкість 30 с високої інтенсивності і 60–30 с низької інтенсивності ВІТ сидячи на степпері: максимальна каденція з 50 % максимального опору ВСІ: 45 ± 5% резерв ЧСС	25 хв·сеанс	Підвищення VEGF, IGF-1 після ВІТ; Підвищення BDNF сироватки корелює з підвищенням лактатом у крові після ВІТ
Hsu et al., 2020 [14]	n = 28 Вік: ВІТ: 58,5 (49,8–67,2) року ВСІ: 53,1 (46,2–60,0) року Терміни після інсульту: 38,5 (19,1–57,9) міс.	Велоергометр ВІТ: 3 хв при 80 % VO ₂ пік з розділенням на 3 хв при 40 % VO ₂ пік Велоергометр ВСІ: 60 % VO ₂ пік	30 хв·сеанс	Підвищення VO ₂ пік після ВІТ > ВСІ; Підвищення BDNF після ВІТ
Pallesen et al., 2019 [29]	n = 30 Вік: ВІТ: 55 (50–60) років ВНІ: 50 (44–56) років Терміни після інсульту: 1–3 міс. після інциденту	Велоергометр ВІТ: 7 хв при 70 % з розділенням на 1хв при 60 % ВНІ: 40 %	50 хв·сеанс	Покращення швидкості обробки інформації та розподілу уваги

запам'ятовування [33]. В дослідженнях, проведених Hsu et al. [14], було виявлено підвищене використання O₂ в ураженій півкулі. Встановлено, що ВІТ індукує вищі концентрації дезоксигемоглобіну порівняно з ВСІ, що відображає збільшення системного та церебрального споживання O₂, проте когнітивного відновлення не виявлено [14].

У ряді досліджень продемонстровано багатообіцяючі ефекти ВІТ на когнітивні функції при нейродегенеративних захворюваннях. Так, у пацієнтів із середніми когнітивними порушеннями ВІТ у поєднанні з кетогенною дієтою (LCHF) та тренуванням пам'яті сприяло поверненню назад ранньої стадії втрати пам'яті [9]. Крім того, ВІТ зменшує депресію у людей з важкими психічними захворюваннями. В дослідженнях, проведених Korman et al [20], було встановлено, що ВІТ має більший вплив на зменшення депресії, ніж ВСІ.

Як інтенсивні, так і помірні вправи на витривалість мають помірний вплив на когнітивне відновлення [11, 36]. Вважається, що тренування на витривалість може діяти як потужний нейрогенний стимул, що посилює ефективність когнітивних завдань на пам'ять [18]. Дійсно, було повідомлено про більші когнітивні покращення та регуляцію сироваткового нейротрофічного фактора, коли тренування на витривалість поєднували з когнітивними завданнями [37]. Загалом, на людях дуже мало проведено досліджень із

вивчення комбінованого ефекту ВІТ і когнітивного тренування. За результатами проведеного дослідження Heisz et al. [13, 31], особи, які зазнали значного покращення фізичної форми від фізичних тренувань (тобто ті, хто добре реагував на фізичні вправи), мали збільшення сироваткових нейротрофічних факторів, нейротрофічного фактора мозку та інсуліноподібного фактора росту-1. Ці особи, які добре реагували на фізичні вправи, також мали кращу продуктивність пам'яті з високим ступенем інтерференції в результаті комбінованих вправ і когнітивного тренування порівняно з окремими вправами. Крім того, один сеанс ВІТ у поєднанні з руховою практикою може збільшити збереження навичок, що свідчить про потенційний його вплив на прискорення рухового навчання в осіб з інсультом [27]. Ініціювання ВІТ через транскраніальну стимуляцію постійним струмом може зменшити асиметрію збудливості кори після інсульту, яка, як відомо, пов'язана з меншими функціональними порушеннями, які не спостерігаються під час виконання ВІТ окремо [27].

Таким чином, морфофункціональною основою відновлення втрачених функцій є реалізація механізмів нейропластичності з допомогою функціональної реорганізації центральної нервової системи в результаті застосування спеціалізованих стимуляційних і тренувальних методик різних модальностей, спрямованих на відновлення пацієнтів після інсульту.

Тому, по-перше, ВІТ слід включати в реабілітацію після інсульту через його сприятливий вплив на процеси нейропластичності. Клінічну роль нейропластичності, що спостерігається в кожній півкулі, необхідно з'ясувати шляхом більш частого поєднання клітинних/молекулярних вимірювань і поведінкових тестів.

По-друге, хоча і було виявлено значне покращення первинних результатів у тих, хто переніс інсульт, після аеробних вправ високої інтенсивності порівняно із загальними вправами низької чи середньої інтенсивності, цей результат не надає достатніх доказів на підтримку того, що аеробні вправи можуть покращити когнітивні функції під час інсульту тих, хто вижив, через невелику кількість зарубіжних досліджень з цього питання.

Підсумовуючи результати аналізу джерел сучасної науково-методичної літератури, можна констатувати, що ВІТ може бути ефективним у

стимулюванні процесів нейропластичності та когнітивних функцій, що дає підставу рекомендувати його застосування в системі реабілітації хворих після перенесеного інсульту.

Висновки. Мозковий інсульт, що супроводжується когнітивними порушеннями, є на сьогодні однією з найбільш значущих медико-соціальних проблем з огляду на високу інвалідизацію і смертність, а також значні матеріальні витрати на лікування та реабілітацію пацієнтів. На жаль, питання постінсультної реабілітації пацієнтів з когнітивним дефіцитом у зарубіжній науково-методичній літературі висвітлено вкрай обмежено. Водночас, результати ряду досліджень останніх років свідчать про позитивний вплив ВІТ на нейропластичність та когнітивні функції постінсультних хворих. Проте, можливості та перспективи застосування ВІТ у системі реабілітації хворих після перенесеного інсульту вимагають проведення додаткових досліджень.

Література

1. Поліщук МС, Фломін ЮВ, Гуляев ДВ, Гуляева МВ. Сучасні принципи діагностики та лікування пацієнтів із гострим ішемічним інсультом та ТІА: навч. посіб. [Modern principles of diagnostics and treatment of patients with acute ischemic stroke and TIA: a study guide]. Київ: Видавець Д.В. Гуляев, 2018; 208 с.
2. Boström P, Wu J, Jedrychowski MP, Korde A, Ye L, Lo JC, Rasbach KA, Boström EA, Choi JH, Long JZ, et al. A PGC1- α -Dependent Myokine That Drives Brown-Fat-like Development of White Fat and Thermogenesis. *Nature*. 2012;481:463–468. doi: 10.1038/nature10777.
3. Boyne P, Meyrose C, Westover J, Whitesel D, Hatter K, Reisman DS, Carl D, Khoury JC, Gerson M, Kissela B, et al. Effects of Exercise Intensity on Acute Circulating Molecular Responses Poststroke. *Neurorehabil. Neural Repair*. 2020;34:222–234. doi: 10.1177/1545968319899915.
4. Boyne P, Meyrose C, Westover J, Whitesel D, Hatter K, et al. Exercise Intensity Affects Acute Neurotrophic and Neurophysiological Responses Poststroke. *Journal Appl. Physiol.* 2019;126:431–443. doi: 10.1152/japphysiol.00594.2018.
5. Boyne P, Scholl V, Doren S, Carl D, Billinger S A, Reisman DS, et al. Locomotor training intensity after stroke: Effects of interval type and mode. *Topics Stroke Rehabil.* 2020; 27(7):483-93.
6. Budde H, Schwarz R, Velasques B, Ribeiro P, Holzweg M, Machado S, Brazaitis M, Staack F, Wegner M. The need for differentiating between exercise, physical activity, and training. *Autoimmun. Rev.* 2016;15:110-111. doi: 10.1016/j.autrev.2015.09.004.
7. Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med.* 2020;54:1451-462. doi: 10.1136/bjsports-2020-102955.
8. Crozier J, Roig M, Eng JJ, MacKay-Lyons M, Fung J, Ploughman M, Bailey DM, Sweet SN, Giacomantonio N, Thiel A, et al. High-Intensity Interval Training After Stroke: An Opportunity to Promote Functional Recovery, Cardiovascular Health, and Neuroplasticity. *Neurorehabil. Neural Repair*. 2018;32:543-556. doi: 10.1177/1545968318766663.
9. Dahlgren K, Gibas KJ. Ketogenic Diet, High Intensity Interval Training (HIIT) and Memory Training in the Treatment of Mild Cognitive Impairment: A Case Study. *Diabetes Metab. Syndr. Clin. Res. Rev.* 2018;12:819-822. doi: 10.1016/j.dsx.2018.04.031.
10. Di Lorito C, Long A, Byrne A, et al. Exercise interventions for older adults: a systematic review of meta-analyses. *Journal Sport Health Sci.* 2021;10:29-47. doi: 10.1016/j.jshs.2020.06.003.
11. Eather N, Riley N, Miller A, Smith V, Poole A, Vincze L, Morgan PJ, Lubans DR. Efficacy and Feasibility of HIIT Training for University Students: The Uni-HIIT RCT. *Journal Sci. Med. Sport.* 2019;22:596-601. doi: 10.1016/j.jsams.2018.11.016.
12. Guthold R, Stevens GA, Riley LM, et al. Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants. *Lancet Glob Health.* 2018;6:e1077–e1086. doi: 10.1016/S2214-109X(18)30357-7.
13. Heisz JJ, Clark IB, Bonin K, Paolucci EM, Michalski B, Becker S, Fahnestock M. The Effects of Physical Exercise and Cognitive Training on Memory and Neurotrophic Factors. *Journal Cogn. Neurosci.* 2017;29:1895-1907. doi: 10.1162/jocn_a_01164.
14. Hsu C-C, Fu T-C, Huang S-C, Chen CP-C, Wang J-S. Increased Serum Brain-Derived Neurotrophic Factor with High-Intensity Interval Training in Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *Ann. Phys. Rehabil. Med.* 2020;S1877065720300889. doi: 10.1016/j.rehab.2020.03.010.
15. Jeon YK, Ha CH. The effect of exercise intensity on brain derived neurotrophic factor and memory in adolescents. *Environ. Health Prev. Med.* 2017;22:27. doi: 10.1186/s12199-017-0643-6.
16. Juneau M, Roy N, Nigam A, Tardif JC, Larivee L. Exercise above the ischemic threshold and serum markers of myocardial injury. *Can. Journal Cardiol.* 2009;25:e338–e341. doi: 10.1016/S0828-282X(09)70718-4.
17. Kauranen T, Turunen K, Laari S, Mustanoja S, Baumann P, Poutainen E. The Severity of Cognitive Deficits Predicts Return to Work after a First-Ever Ischaemic Stroke. *Journal. Neurol. Neurosurg. Psychiatr.* 2013;84:316-321. doi: 10.1136/jnnp-2012-302629.
18. Kobil T, Liu Q-R, Gandhi K, Mughal M, Shaham Y, van Praag H. Running Is the Neurogenic and Neurotrophic Stimulus in Environmental Enrichment. *Learn. Mem.* 2011;18:605-609. doi: 10.1101/lm.2283011.
19. Kodama S, Saito K, Tanaka S, Maki M, Yachi Y, Asumi M, Sugawara A, Totsuka K, Shimano H, Ohashi Y, et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: A meta-analysis. *JAMA.* 2009; 301:2024-2035. doi: 10.1001/jama.2009.681.
20. Korman N, Armour M, Chapman J, Rosenbaum S, Kisely S, Suetani S, Firth J, Siskind D. High Intensity Interval Training (HIIT) for People with Severe Mental Illness: A Systematic Review & Meta-Analysis of Intervention Studies—Considering Diverse Approaches for Mental and Physical Recovery. *Psychiatry Res.* 2020;284:112601. doi: 10.1016/j.psychres.2019.112601.
21. Kovacevic A, Fenesi B, Paolucci E, Heisz JJ. The effects of aerobic exercise intensity on memory in older adults. *Appl. Physiol. Nutr. Me-tab.* 2019 doi: 10.1139/apnm-2019-0495.

22. Kramer AF, Erickson KI, Colcombe SJ. Exercise, cognition, and the aging brain. *Journal Appl. Physiol.* (1985) 2006;101:1237-1242. doi: 10.1152/japplphysiol.00500.2006.
23. Marzolini S, Oh P, McIlroy W, Brooks D. The feasibility of cardiopulmonary exercise testing for prescribing exercise to people after stroke. *Stroke.* 2012 Apr;43(4):1075-81. doi: 10.1161/STROKEAHA.111.635128. Epub 2012 Feb 9. PMID: 22328554.
24. Marzolini S, Robertson AD, Oh P, Goodman JM, Corbett D, et al. Aerobic Training and Mobilization Early Post-Stroke: Cautions and Considerations. *Front. Neurol.* 2019;10:1187. doi: 10.3389/fneur.2019.01187.
25. Molteni R, Ying Z, Gómez-Pinilla F. Differential Effects of Acute and Chronic Exercise on Plasticity-Related Genes in the Rat Hippocampus Revealed by Microarray. *Eur. Journal Neurosci.* 2002;16:1107-1116. doi: 10.1046/j.1460-9568.2002.02158.x.
26. Moreau D, Kirk IJ, Waldie KE. High-intensity training enhances executive function in children in a randomized, placebo-controlled trial. *Elife.* 2017;6 doi: 10.7554/eLife.25062.
27. Nepveu J-F, Thiel A, Tang A, Fung J, Lundbye-Jensen J, et al. A Single Bout of High-Intensity Interval Training Improves Motor Skill Retention in Individuals With Stroke. *Neurorehabil. Neural Repair.* 2017; 31:726-735. doi: 10.1177/1545968317718269.
28. Oberlin LE, Waiwood AM, Cumming TB, Marsland AL, Bernhardt J, Erickson KI. Effects of Physical Activity on Post-Stroke Cognitive Function: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Stroke.* 2018;17:3093-3100.
29. Pallesen H, Bjerk M, Pedersen AR, Nielsen JF, Evald L. The Effects of High-Intensity Aerobic Exercise on Cognitive Performance After Stroke: A Pilot Randomised Controlled Trial. *Journal Cent. Nerv. Syst. Dis.* 2019;11 doi: 10.1177/1179573519843493.
30. Pescatello LS, MacDonald HV, Lamberti L, Johnson BT. Exercise for hypertension: a prescription update integrating existing recommendations with emerging research. *Curr. Hypertens. Rep.* 2015. 17:87. 10.1007/s11906-015-0600-y
31. Ploughman M, Eskes GA, Kelly LP, Kirkland MC, Devasahayam AJ, et al. Synergistic Benefits of Combined Aerobic and Cognitive Training on Fluid Intelligence and the Role of IGF-1 in Chronic Stroke. *Neurorehabil. Neural Repair.* 2019;33:199-212. doi: 10.1177/1545968319832605.
32. Reindell H, Roskamm H. Ein Beitrag zu den physiologischen Grundlagen des Intervall training unter besonderer Berücksichtigung des Kreilaufes. *Schweiz Z Sportmed.* 1959;7:1-8.
33. Skriver K, Roig M, Lundbye-Jensen J, Pingel J, Helge JW, et al. Acute Exercise Improves Motor Memory: Exploring Potential Biomarkers. *Neurobiol. Learn. Mem.* 2014;116:46-58. doi: 10.1016/j.nlm.2014.08.004.
34. Song J, Zhong C, Bonaguidi MA, Sun GJ, Hsu D, et al. Neuronal Circuitry Mechanism Regulating Adult Quiescent Neural Stem-Cell Fate Decision. *Nature.* 2012; 489:150-154. doi: 10.1038/nature11306.
35. Stavrinou EL, Coxon JP. High-Intensity Interval Exercise Promotes Motor Cortex Disinhibition and Early Motor Skill Consolidation. *Journal Cogn. Neurosci.* 2017;29:593-604. doi: 10.1162/jocn_a_01078.
36. Tang A, Eng J, Krassioukov A, Tsang T, Liu-Ambrose T. High- and Low-Intensity Exercise Do Not Improve Cognitive Function after Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Journal Rehabil. Med.* 2016;48: 841-846. doi: 10.2340/16501977-2163.
37. Taubert M, Villringer A, Lehmann N. Endurance Exercise as an "Endogenous" Neuro-Enhancement Strategy to Facilitate Motor Learning. *Front. Hum. Neurosci.* 2015;9:692. doi: 10.3389/fnhum.2015.00692.
38. Tremblay MS, Warburton DE, Janssen I, Paterson DH, Latimer AE, et al. New Canadian physical activity guidelines. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2011; 36:47-58. doi: 10.1139/H11-010.
39. Venckunas T, Snieckus A, Trinkunas E, Barauskiene N, Solianik R, et al. Interval Running Training Improves Cognitive Flexibility and Aerobic Power of Young Healthy Adults. *Journal Strength Cond. Res.* 2016;30:2114-2121. doi: 10.1519/JSC.0000000000001322.

sasha_voronkov@ukr.net
rymma.bannikova@gmail.com

Надійшла 16.04.2024