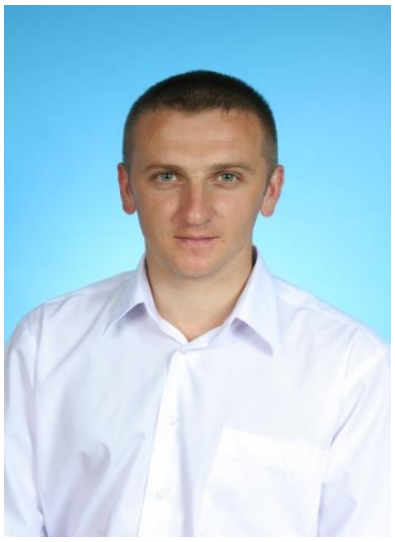
УДК 796.015.6.012.12

КУЙБІДА Віктор,
кандидат біологічних наук,
доктор історичних наук, професор кафедри
природничих дисциплін і методики навчання,
декан факультету фізичної культури,
спорту і здоров'я Університету
Григорія Сковороди в Переяславі
(м. Переяслав, Україна)
Viktor_kuybida@ukr.net
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5865-1306



КОХАНЕЦЬ Петро,
кандидат наук з фізичної культури і спорту,
доцент кафедри спортивних ігор,
заступник декана факультету фізичної
культури, спорту і здоров'я
Університету Григорія Сковороди в Переяславі
(м. Переяслав, Україна)
kohanetz@ukr.net
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0795-3141

ГЕНЕЗИС ТА ЕВОЛЮЦІЯ КОНЦЕПЦІЙ ІНТЕНСИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ У СИСТЕМІ ПІДГОТОВКИ НА ВИТРИВАЛІСТЬ

Розглянуто еволюцію парадигм розвитку витривалості: від класичної моделі безперервного навантаження до обґрунтування сучасних високоінтенсивних інтервальних методик. Питання розвитку загальної витривалості займає центральне місце в теорії фізичного виховання та методиці здоров'язбережувальних технологій упродовж кінця XX – початку XXI ст. Історично домінуючою парадигмою упродовж попереднього століття був метод безперервного навантаження низької та помірної потужності. Ця модель базувалася на екстенсивному накопиченні об'ємів, що вважалося єдиним безпечним шляхом адаптації серцево-судинної, м'язової та інших систем організму. Проте фундаментальні дослідження в галузі біохімії, фізіології, генетики м'язової діяльності змусили переглянути ці погляди. У формуванні наукового підґрунтя витривалості піонерську роль відіграла українська дослідниця-біохімік Ольга Чепінога. Ще у 1939–1940 рр. вона представила перші

у світі докази того, що тренування викликає мітохондріальний біогенез у скелетних м'язах. Її праці щодо активності дегідрогеназ під час тренування та втоми заклали фундамент для розуміння того, як фізичне навантаження трансформує енергетичний потенціал клітини на молекулярному рівні, однак її наукова спадщина досліджена недостатньо. Традиційна методологія методики безперервного навантаження розглядається через призму класичної фізіології, зокрема: розширення порожнин серця та розвиток капілярної сітки. Водночас сучасні високоінтенсивні інтервальні методики, що базуються на коротких спалахах фізичної активності (85–95% від максимальної частоти серцевого скорочення), активують ті ж самі молекулярні сигнальні шляхи, що й багатогодинні тренування. Ключовою перевагою високоінтенсивних інтервальних навантажень є часова ефективність та потужний метаболічний відгук, що робить їх ідеальними для зміцнення здоров'я широких верств населення. Ретроспективний аналіз зазначеної проблеми показує зміну вектора досліджень: від вивчення механічного накопичення об'єму до аналізу клітинних адаптацій, витоки яких лежать у працях представників української біохімічної школи. Стаття обґрунтовує необхідність синтезу історичного досвіду «базової витривалості» з інноваційними протоколами високої інтенсивності для створення безпечних та ефективних оздоровчих програм. Обрану тему визначено нами як мету оглядового дослідження. Пошук літератури здійснено на основі ключових слів в електронних базах даних PubMed та SPORTDiscus.

Ключові слова: *еволюція, високоінтенсивне інтервальне тренування, витривалість, мітохондрії, максимальне споживання кисню.*

GENESIS AND EVOLUTION OF CONCEPTS OF INTENSIVE LOAD IN THE ENDURANCE TRAINING SYSTEM

The evolution of endurance development paradigms is considered: from the classical model of continuous load to the justification of modern high-intensity interval methods. The issue of developing general endurance occupies a central place in the theory of physical education and the methodology of health-saving technologies during the late 20th and early 21st centuries. Historically, the dominant paradigm during the previous century was the method of continuous load of low and moderate power. This model was based on extensive accumulation of volumes, which was considered the only safe way to adapt the cardiovascular, muscular and other systems of the body. However, fundamental research in the field of biochemistry, physiology, and genetics of muscle activity forced to reconsider these views. The Ukrainian biochemist Olga Chepinoga played a pioneering role in the formation of the scientific basis of endurance. Back in 1939–1940, she presented the world's first evidence that training induces mitochondrial biogenesis in skeletal muscle. Her work on the activity of dehydrogenases during training and fatigue laid the foundation for understanding how physical activity transforms the energy potential of the cell at the molecular level, but

her scientific legacy has not been sufficiently studied. The traditional methodology of the continuous load technique is viewed through the prism of classical physiology, in particular: expansion of the heart chambers and development of the capillary network. At the same time, modern high-intensity interval techniques, based on short bursts of physical activity (85–95% of the maximum heart rate), activate the same molecular signaling pathways as many hours of training. The key advantage of high-intensity interval training is its time efficiency and powerful metabolic response, which makes it ideal for improving the health of a wide range of populations. A retrospective analysis of the above problem shows a change in the vector of research: from the study of mechanical volume accumulation to the analysis of cellular adaptations, the origins of which lie in the works of representatives of the Ukrainian biochemical school. The article justifies the need to synthesize the historical experience of «basic endurance» with innovative high-intensity protocols to create safe and effective health programs. We have defined the selected topic as the goal of the review study. The literature search was carried out based on keywords in the electronic databases PubMed and SPORTDiscus.

Keywords*: evolution, high-intensity interval training, endurance, mitochondria, maximum oxygen consumption.*

Постановка проблеми. Упродовж початку XXI ст. отримано значні наукові досягнення у галузі фізіології та біохімії фізичних вправ, які призводять до зміцнення здоров’я та покращення спортивних результатів. Капіляри скелетних м'язів та мітохондрії разом відіграють важливу роль у доставці кисню та поживних речовин до клітин, а також у виробництві енергії для них. Об'єднані дані численних спостережень створили широко прийняту догму про те, що повторні сеанси фізичних вправ можуть змінювати вміст цих структур [24]. Підвищена серцево-судинна фізична форма та рівень витривалості покращують стан здоров’я і знижують смертність. Високоінтенсивне інтервальне навантаження є одним з найкращих методів підвищення ̇VO2max та витривалості для провідних спортсменів та для широкого загалу. Цей спосіб тренування виник кілька десятиліть тому як відповідь на потребу в нових методах тренувань для спортивних змагань високої інтенсивності.

Усталеною парадигмою XX ст. щодо нарощування витривалості був метод безперервного навантаження низької та помірної потужності. Зазначена модель базувалася на кількісному накопиченні об'єму фізичної активності. Вона вважалася єдиною ефективною методикою і безпечним шляхом адаптації серцево-судинної, м'язової систем організму до формування витривалості. Однак чимало ключових результатів дослідження та ролі дослідників, які заклали фундамент для сучасного розуміння теорії і методики формування витривалості, залишаються невідомими. У цьому огляді ми зупинилися на деяких історичних відкриттях XX–XXI ст., які вплинули на поточні уявлення про адаптацію організму до фізичної активності високої інтенсивності.

Аналіз наукових публікацій. Пошук наукових публікацій здійснено на основі ключових слів в електронних базах даних PubMed та SPORTDiscus. Пошукові терміни стосовно історії дослідження теорії та методики рухової активності різної потужності та тривалості, механізму й особливостей впливу високоінтенсивних інтервальних навантажень вводили в різних комбінаціях, використовуючи списки літератури в оригінальних наукових статтях та оглядах. Аналізу особливостей історії становлення, розвитку та сучасного стану вчення про генезис концепцій інтенсивного навантаження у системі підготовки на витривалість було присвячено низку робіт. Поміж них варто відзначити статті історичного, фізіологічного, біохімічного, методичного спрямування.

На сьогодні в галузі дослідження різних аспектів теорії і методики тренування високоінтенсивними інтервальними методиками працюють десятки лабораторій і сотні дослідників. У запропонованій статті із 33 літературних джерел 4 роботи побачили світ в останні 5 років. Отже, проблема вивчення історії становлення, розвитку, сьогодення концепцій інтенсивного навантаження в системі підготовки на витривалість в медичній та спортивній практиці має не лише теоретичне, а й практичне значення. На сьогодні процес становлення і

розвитку зазначеної галузі є актуальною проблемою сучасної історії науки, бології, медицини та спорту. Обрану тему студіювання визначено метою оглядової статті, яка потребує подальшого вивчення.

Виклад основного матеріалу. У 1920-х рр. легендарний бігун «Літаючий Фінн» Пааво Нурмі почав впроваджувати «інтервальні тренування» до свого щорічного тренувального циклу [6; 33]. Проблеми впливу тривалості роботи на ефективність м'язової роботи в людей розглянуто Г. П. Кроуденом в 1934 р. [12]. Однак роботи української біохімкині Ольги Чепіноги [9-10] слід вважати першим студіюванням впливу скорочення м’язів на функцію мітохондріального дихання в історичному контексті.

В електронному архіві бібліотеки Інституту біохімії ім. Палладіна Національної академії наук України у Києві зберігаються друковані копії Українського біохімічного журналу за 1939–1940 рр. У 1939 р. згадана українська дослідниця опублікувала статті: «Дегідрогенази м'язової тканини під час тренування та втоми. Повідомлення I: сукцинатдегідрогеназа» та «Дегідрогенази м'язової тканини під час тренування та втоми. Повідомлення II: α-гліцерофосфатдегідрогеназа» з доказами мітохондріального біогенезу, індукованого тренуваннями [9-10].

Рукопис Г. Р. Хірна та В. В. Вайніо на сьогодні є найдавнішим відомим дослідженням, опублікованим англійською мовою, із посиланням на статті українки 1939 р. Невдовзі після цього науковий доробок О. Чепіноги зник з поля зору англомовних науковців. Інтенсивне застосування англійської мови в історії науки і техніки поховало іншомовні наукові публікації. До того ж, політична напруженість між країнами упродовж XX ст. і труднощі з доступом до робіт в інших країнах прискорили міжнародне забуття піонерських статей О. Чепіноги [5; 17]. Слід зазначити, що її роботи залишалися не перекладеними англійською мовою досить тривалий час.

У ранніх протоколах використовували середню швидкість або швидкість, яка відповідає особистому найкращому часу на дистанції замість максимальної аеробної здатності як орієнтир. Показник максимального споживання кисню VO2max, запроваджений лауреатом Нобелівської премії Арчібальдом Вівіаном Гіллом, набув широкого поширення лише після Другої світової війни. До того ж в 1949 р. Гуннар Стрьом описав незначну модифікацію методу визначення молочної кислоти Семюела Баркера та Вільяма Саммерсона [31].

Інтервальному тренуванню притаманні повторні короткі або тривалі періоди досить високої інтенсивності, що чергуються з періодами відновлення. У скандинавській спортивній спільноті «природне» інтервальне тренування набуло популярності й отримало назву *фартлек*. Ця методика була формалізована Йостою Хольмером у 1937 р. Загальна назва методу тренування походить від шведського *fartlek* «гра швидкостей». Спочатку зазначений метод використовували для бігунів по пересіченій місцевості. У 1950-х рр. різні методи інтервального тренування проникли в кілька європейських програм спортивної підготовки. Зазначена система тренувань стала відомою, тому що чотириразовий олімпійський чемпіон Еміль Затопек та інші видатні бігуни, такі як Гордон Пірі або Зігфрід Германн та ін., ефективно використовували фартлек для своїх тренувань [4].

Піонерські наукові роботи, в яких детально описували високоінтенсивні інтервальні тренування, були опубліковані наприкінці 191950-х та на початку 60-х рр. Гансом Роскаммом та ін. [27]. Групою шведських дослідників у складі Ірми Остренд, Пер-Олоф Остранда, Еріка Хохви Крістенсена, Рун Хедмана було виявлено, що важке тренування, розділене на короткі періоди роботи та відпочинку (тривалістю 0,5 або 1 хвилину), перетворювалося на субмаксимальне навантаження на кровообіг та дихання і добре переносилося упродовж 1 години. При довших періодах (тривалістю 2 або 3 хвилини) робоча продуктивність

наближалася до верхньої межі і виконувалася лише з максимальним напруженням [2]. Зафіксовано хронологічні зміни різних функцій, таких як частота серцевих скорочень, легенева вентиляція тощо, що відповідають за транспорт кисню [3].

У цей період Джон О. Холлозі студіював особливості біохімічної адаптації в м'язах і впливу фізичних вправ на поглинання кисню мітохондріями та активність дихальних ферментів у скелетних м'язах, опублікувавши роботу «Біохімічна адаптація в м'язах. Вплив фізичних вправ на поглинання кисню мітохондріями та активність дихальних ферментів у скелетних м'язах» [19]. Дослідження високоінтенсивних тренувань і змін аеробної потужності привернули повну увагу дослідників США в 1970-х рр. Їх стаття була опублікована в журналі *Medicine and Science in Sports* в 1973 р. [13].

Скелетні м'язи адаптуються до вправ на витривалість у процесі бігу на довгі дистанції під час зростання інтенсивності аеробного метаболізму. При цьому зростає здатність мітохондріальної фракції м'язів окислювати піруват та довголанцюгові жирні кислоти. В основі збільшення спроможності отримувати енергію шляхом дихання знаходиться зростання рівня певних мітохондріальних ферментів. До них належать ферменти, які беруть участь в окисленні жирних кислот, циклу лимонної кислоти, компоненти дихального ланцюга, окислення сукцинату та НАДН до кисню. Збільшення розміру та кількості мітохондрій відповідає за збільшення вмісту мітохондріальних білків. Концентрація деяких мітохондріальних ферментів збільшується в 2 рази, інших – лише на 35–60%. Водночас рівень мітохондріальної альфа-гліцерофосфатдегідрогенази, креатинфосфокінази та аденілаткінази, взагалі не зростає. В результаті цих та інших біохімічних адаптацій, викликаних фізичними вправами, скелетні м’язи за своїм ферментним патерном стають більше схожими на серцевий м’яз [18].

Було зроблено висновок, що програми інтервального тренування з низькою та високою потужністю викликають подібні зміни в максимальному аеробному та анаеробному метаболізмі. Фізіологічні та/або біохімічні зміни, відповідальні за зниження вироблення молочної кислоти під час важких, але субмаксимальних навантажень, викликаються програмою з низькою потужністю [14]. Перше дослідження стосовно збільшення щільності капілярів скелетних м'язів під час тренувань було опубліковано в 1975 р. Пером Андерсеном в роботі «Щільність капілярів у скелетних м'язах людини» [1]. Показано, що зміни аеробної потужності та субмаксимальної частоти серцевих скорочень у жінок не залежать від частоти, дистанції та інтенсивності високоінтенсивних інтервальних тренувальних програм [22]. Підтверджено концепцію специфічності метаболічної адаптації до аеробного тренування. З'ясовано, що локальна адаптація в скелетних м'язах значно сприяє покращенню VO2 max, а біг може призвести до загальної тренувальної адаптації максимальної та субмаксимальної частоти серцевих скорочень [23].

Високоінтенсивні фізичні вправи є фундаментальним інструментом для покращення змагальних результатів. Неможливо досягти необхідної фізіологічної межі спортивних результатів під час змагань без навантаження опорно-рухової та серцево-судинної систем енергійними тренуваннями. Ще у 1986 р. Кокс та його колеги показали, що після семи тижнів роботи з інтенсивністю 90% або вище фізичні вправи викликали зміни морфології лівого шлуночка у людей, які раніше вели малорухливий спосіб життя [11]. Доведено, що звичайні постійні пропорції між складовими мітохондріального дихального ланцюга та матриксними ферментами не є обов'язковими. Мітохондріальні матриксні ферменти та складові дихального ланцюга можуть бути включені до мітохондрій незалежно і співвідношення між ними можуть змінюватися в широких межах [8].

Виокремлено три ключові чинники, що відображають інтегровану реакцію фізіологічної адаптації до фізичної активності. Вони були остаточно сформульовані та об'єднані в єдину модель у середні та наприкінці 1980-х рр. Найціннішою роботою у цій галузі вважається стаття Майкла Джойнера, опублікована у 1991 р. Натомість дослідження окремих компонентів адаптації до фізичного навантаження тривали з 1970-х рр. Короткий контекст цих трьох показників залишається актуальним і понині. Зокрема це: VO2max (аеробна здатність) – активно досліджувалася з 1920-х (Арчібальд Гілл і Гартлі Луптон), але стала стандартом у 1960-1970-х рр.; економічність руху – прийнята фокусом досліджень у 1970-1980-х рр. для пояснення різниці між атлетами з однаковим VO2max; часткове використання (%VO2max) – пов'язане з поняттям лактатного порогу, яке набуло популярності у 1980-х рр. Поточна концепція полягає в тому, що VO2max встановлює верхню межу аеробного метаболізму, тоді як поріг лактату крові пов'язаний з часткою VO2max, яку можна підтримувати у змагальних заходах на дистанції понад 3000 м. Показник *економія бігу* взаємопов'язаний з VO2max та порогом лактату крові та визначає фактичну швидкість бігу на рівні лактатного порогу. Вона, як правило, є швидкістю, подібною (або трохи повільнішою) за ту, що підтримуються окремими бігунами в марафоні. Різноманітні комбінації цих змінних в елітних бігунів призводять до розрахункового часу бігу, який значно швидший за поточний світовий рекорд того періоду (2:06:50). Найшвидший час марафону, передбачений цією моделлю, становить 1:57:58 у гіпотетичного суб'єкта з VO2max 84 мл/кг/хв, лактатним порогом 85% від VO2max та винятковою економічністю бігу [20; 29]. На сьогодні світовий рекорд марафонського бігу з результатом 1:59:30 встановив кенієць Сабастьян Саве 26 квітня 2026 р. в Лондоні.

З’ясовано, що відносно високі середні значення VO2max для різних груп тріатлоністів значно вищі за показники, зареєстровані для нетренованих осіб. На

довгих дистанціях та в елітніших тріатлоністів VO2max гірше корелює з результатами, ніж на коротких. Фізіологічні адаптації, що сприяють покращенню VO2max, відбуваються центрально – в серцево-судинній системі й зосереджені на збільшенні максимального серцевого викиду. Периферійні адаптації проявляються в метаболічних системах, зосереджених навколо збільшення артеріовенозної різниці O2 (середній показник O2). Хоча високий VO2max в людей важливий для продуктивності в тріатлоні, вихід енергії має підтримуватися упродовж тривалого часу, і це робить економію руху також дуже важливою. Тріатлоністи з неплавальним попереднім досвідом виграють від покращення техніки плавання, а не від зосередження тренувань виключно на дистанції. Економія руху в плаванні, велоспорті та бігу корелює з порівнянними результатами у змаганнях. Тренування для покращення економії плавання можна проводити без попередніх фізичних вправ, але у тренуваннях для покращення економії велоспорту та бігу необхідно враховувати багатомодальний характер тріатлону [25; 30].

Дослідженнями на початку XXI ст. показано, що кардіореспіраторна фізична підготовка є вагомим фактором, що визначає частоту захворюваності та смертності. У спортсменів та неспортивних людей виявлено, що високоінтенсивне інтервальне тренування перевершує безперервне тренування помірної інтенсивності у покращенні кардіореспіраторної фізичної підготовленості [33]. Високоінтенсивне інтервальне тренування є ефективною за часом стратегією для підвищення окислювальної здатності скелетних м'язів та індукції специфічних метаболічних адаптацій під час фізичних навантажень, порівнянних з традиційними класичними програмами на витривалість [7]. Всього шість сеансів високоінтенсивного тренування упродовж 2 тижнів або загалом лише приблизно 15 хвилин дуже інтенсивних вправ (приблизно 600 кДж) можуть збільшити окислювальну здатність скелетних м'язів та

витривалість, а також змінити метаболічний контроль під час аеробних вправ [16]. Високоінтенсивне інтервальне тренування є кращим методом порівняно з аеробними тренуваннями для покращення різноманітних фізіологічних функцій [21].

Упродовж останнього десятиліття метод тренування під назвою *«тренування з ультракоротким темпом»* став ефективним способом покращення та індикації результатів. Типове тренування з ультракоротким темпом зазвичай складається з коротких, дистанційних підходів (15–100 м) з короткими періодами відпочинку (15–25 секунд) та досить високими обсягами (до 5–10 × дистанції цільової події) та виконується з субмаксимальною або максимальною інтенсивністю. Традиційний підхід становить 20 × 50 м у темпі 200 м з інтервалами 20 секунд між ними [26; 28]. Згідно з експериментальними результатами, комплекс плавання ультракоротке тренування з біговим темпом, що складається з 20 × 25 м у темпі 100 м, викликає специфічніші реакції в кінематичних характеристиках, біомаркерах, частоті серцевих скорочень та швидкості сприйнятого напруження порівняно з комплексом високоінтенсивного інтервального тренування 5 × 50 м [26].

З нашої точки зору усі різновиди високоінтенсивних інтервальних тренувань можна розділити на дві основні групи: I) субмаксимального та II) максимального інтервального навантаження. Навантаження I групи характеризується високою інтенсивністю з відносно більшим обсягом, 3–5 хвилин з «майже максимальним» зусиллям (~80–90% потужності), розділена періодами відпочинку (але можна знайти протоколи з використанням сеансів тривалістю більше 5 хвилин). В іншій групі – вправи виконують «на повну потужність» або «до виснаження. У цьому випадку спринт рідко перевищує часовий інтервал 30 секунд, а інтенсивність тренування називається *«супрамаксимальною»*. Рівні пікової потужності під час тренування мають

перевищувати значення потужності, зафіксоване під час˙VO2max. Обидві групи зазвичай пов'язані з безперервними циклічними рухами, такими як біг, їзда на велосипеді та веслування. Зазначені тренування можуть викликати зміни морфології типу волокон, збільшення їх площі у швидких волокнах.

Висновки. Інтенсивне застосування англійської мови в історії науки і техніки, політична напруженість між країнами початку і середини XX ст. затемнили частину вагомих здобутків українських дослідників і практиків теорії і методики фізичної культури та спорту, які сьогодні потребують активного відновлення і популяризації. З нашої точки зору, усі різновиди високоінтенсивних інтервальних тренувань можна розділити на дві основні групи – субмаксимального та максимального інтервального навантаження. У сучасних умовах в царині наукового забезпечення спортивної практики суттєво розширено теоретичні основи та методику інтенсивних тренувань з метою покращення спортивних результатів та здоров’я.

Список використаних джерел та літератури

1. Andersen, P. (1975). Capillary density in skeletal muscle of man. *Acta Physiol Scand.* 95, 203–205. URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/127508.
2. Astrand, I., Astrand, P. O., Christensen, E. H., & Hedman, R. (1960). Intermittent muscular work. *Acta Physiol Scand.* 48, 448–53. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1960.tb01879.x
3. Astrand, I., Astrand, P. O., Christensen, E. H., & Hedman, R. (1960). Adaptation of blood circulation and respiration to heavy muscular work. *Acta Physiologica Scandinavica*. 50, 254–258. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1960.tb00179.x
4. Billat, L. V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med.* 31(1), 13-31. DOI: https://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00002.
5. Botella, J., Motanova, E. S., & Bishop, D. J. (2022). Muscle contraction and mitochondrial biogenesis – a brief historical reappraisal. *Acta Physiol*. 235(1), e13813. DOI: https://doi.org/10.1111/apha.13813.

6. Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med.* 43(5), 313–38. DOI: https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x.

7. Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol.* 586(1), 151–60. DOI: https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.142109.

8. Cartier, L. J., Ohira, Y., Chen, M., Cuddihee, R. W., & Holloszy, J. O. (1986). Perturbation of mitochondrial composition in muscle by iron deficiency. Implications regarding regulation of mitochondrial assembly. *J Biol Chem.* 261(29), 1327–1332. PMID. 3020053.

9. Чепінога, О. (1939). Дегідрогенази м'язової тканини під час тренування та втоми. Повідомлення I: сукцинатдегідрогеназа. *Укр Біохім. Журнал*. XIV, 5–14. PMID. 35782463.

10. Чепінога, О. (1939). Дегідрогенази м'язової тканини під час тренування та втоми. Повідомлення II: α-гліцерофосфатдегідрогеназа. *Укр Біохім. Журнал*. XIV, 15–29. [Google Scholar].

11. Cox, M. L., Bennett, J. B., & Dudley, G. A. (1985). Exercise training-induced alterations of cardiac morphology. *J Appl Physiol.* 61(3), 926–931. DOI: https://doi.org/10.1152/jappl.1986.61.3.926.

12. Crowden, G. P. (1934). The effect of duration of work on the efficiency of muscular work in man. *J Physiol.* 80(4), 394–408. DOI: https://doi.org/10.1113/jphysiol.1934.sp003100.

13. Fox, E. L., Bartels, R. L., Billings, C. E., Mathews, D. K., Bason, R., & Webb W. M. (1973). Intensity and distance of interval training programs and changes in aerobic power. *Med Sci Sports.* 5(1), 18–22. PMID. 4721844.

14. Fox, E. L., Bartels, R. L., Klinzing, J., & Ragg, K. (1977). Metabolic responses to interval training programs of high and low power output. *Med Sci Sports.* 9(3), 191–196. PMID. 593083.

15. García-De Frutos, J. M., Orquín-Castrillón, F. J., Marcos-Pardo, P. J., Rubio-Arias, J. Á., & Martínez-Rodríguez, A. (2021). Acute Effects of Work Rest Interval Duration of 3 HIIT Protocols on Cycling Power in Trained Young Adults. *Int J Environ Res Public Health.* 18(8), 4225. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph18084225.

16. Gibala, M. J., & McGee, S. L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev.* 36(2), 58–63. DOI: https://doi.org/10.1097/JES.0b013e318168ec1f.

17. Hearn, G. R., & Wainio, W. W. (1956). Succinic dehydrogenase activity of the heart and skeletal muscle of exercised rats. *Am J Physiol.* 185(2), 348–50. DOI: https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1956.185.2.348.

18. Holloszy, J. O. (1975). Adaptation of skeletal muscle to endurance exercise. *Med Sci Sports.* 7(3), 155–164. PMID. 173969.

19. Holloszy, J. O. (1967). Biochemical adaptations in muscle. Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *J Biol Chem.* 242(9), 2278-2282. PMID. 4290225.

20. Joyner, M. J. (1991). Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *J Appl Physiol.* 70(2), 683–687. DOI: https://doi.org/10.1152/jappl.1991.70.2.683.

21. Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports.* 2, 1–10. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x.

22. Lesmes, G. R., Fox, E. L., Stevens, C., & Otto, R. (1978). Metabolic responses of females to high intensity interval training of different frequencies. *Med Sci Sports.* 10(4), 229–32. PMID. 750838.

23. McArdle, W. D., Margel, J.R., Delio, D.J., Toner, M., & Chase, J. M. (1978). Specificity of run training on VO2 max and heart rate cganges during running and swimming. *Med Sci Sports.* 10(1), 16–20. PMID. 672546.

24. Mølmen, K. S., Almquist, N. W., & Skattebo, Ø. (2025). Effects of Exercise Training on Mitochondrial and Capillary Growth in Human Skeletal Muscle: A Systematic Review and Meta-Regression. *Sports Med.* 55(1), 115–144. DOI: https://doi.org/10.1007/s40279-024-02120-2.

25. O'Toole, M. L., & Douglas, P. S. (1995). Applied physiology of triathlon. *Sports Med.* 19(4), 251–67. DOI: https://doi.org/10.2165/00007256-199519040-00003.

26. Papadimitriou, K., Kabasakalis, A., Papadopoulos, A., Mavridis, G., & Tsalis G. (2023). Comparison of Ultra-Short Race Pace and High-Intensity Interval Training in Age Group Competitive Swimmers. *Sports (Basel).* 11(9), 186. DOI: https://doi.org/10.3390/sports11090186.

27. Roskamm, H., Reindell, H., & Keul, J. (1962). Physiological basis of different training methods. *Sportarzt Ver Sportmed*. 13, 109–123 PMID. 14494120.

28. Rushall, B. S. (2023). Understanding a USRPT Set. Swim. *Sci. Bull.* 45, 1–4. https://surl.li/isfyds.

29. Sjödin, B., & Svedenhag, J. (1985). Applied physiology of marathon running. *Sports Med.* 2(2), 83–99. DOI: https://doi.org/10.2165/00007256-198502020-00002.

30. Sleivert, G. G., & Rowlands, D. S. (1996). Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports Med.* 22(1), 8–18. DOI: https://doi.org/10.2165/00007256-199622010-00002.

31. Strom, G. (1949). The influence of anoxia on lactate utilization in man after prolonged muscular work. *Acta Physiol Scand*. 17(4), 440–51. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1949.tb00589.x.

32. Torma, F., Gombos, Z., Jokai, M., Takeda, M., Mimura, T., & Radak Z. (2019). High intensity interval training and molecular adaptive response of skeletal muscle. *Sports Med Health Sci.* 1(1), 24–32. DOI: https://doi.org/10.1016/j.s.

33. Weston, K. S., Wisløff, U., & Coombes, J. S. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 48(16), 1227–1234. DOI: https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092576.