



” Папіжук Д. Силове тренування як інструмент превентивної реабілітації та активного довголіття осіб середнього віку. *Освіта. Інноватика. Практика*, 2026. Том 14, № 6. С. 135-140. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol14i6-016>.

Papizhuk D. Sylove trenuvannya yak instrument preventyvnoi reabilitatsii ta aktyvnoho dovholittia osib serednoho viku [The utilisation of strength training as a mechanism for the purpose of preventive rehabilitation and active ageing in middle-aged adults]. *Osvita. Innovatyka. Praktyka – Education. Innovation. Practice*, 2026. Vol. 14, No 6. S. 135-140. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol14i6-016>.

УДК 796.015.52:615.825-053.8

DOI: 10.31110/2616-650X-vol14i6-016

Данило ПАПІЖУК

Сумський державний університет, Україна

<https://orcid.org/0009-0005-1833-0926>

papizhuk.danylo@student.sumdu.edu.ua

СИЛОВЕ ТРЕНУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРЕВЕНТИВНОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ ТА АКТИВНОГО ДОВГОЛІТТЯ ОСІБ СЕРЕДНЬОГО ВІКУ

Анотація. У статті представлено результати наукового дослідження, присвяченого обґрунтуванню мультифакторного оздоровчого впливу силового тренінгу на організм осіб середнього віку (35–60 років) у розрізі метаболічних, структурно-біомеханічних та психоемоційних аспектів. Актуальність роботи зумовлена глобальним поширенням гіподинамії та вікової інволюції фізіологічних систем, що негативно впливає на якість життя та працездатність найбільш продуктивної верстви суспільства. Основна мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні синергетичного зв'язку між механізмами метаболічної адаптації, структурним відновленням опорно-рухового апарату та покращенням психоемоційного стану. Методологія базується на системному аналізі, синтезі та систематизації наукових джерел у галузі спортивної фізіології, біомеханіки та реабілітаційної медицини за період 2009–2026 років. У ході дослідження встановлено, що скелетні м'язи діють як найбільший ендокринний орган, секретуючи міокіни (зокрема ірізин, апелін та інтерлейкін-15), які модулюють метаболізм у віддалених органах і забезпечують системний захист від хронічних захворювань. Доведено, що резистивні навантаження підвищують інсуліночутливість гліколітичних волокон та знижують рівень системного запалення, що є критичним для профілактики метаболічного синдрому та діабету. Особливу увагу приділено спростуванню міфів про деструктивний вплив силових вправ на хребет і суглоби. На основі аналізу процесів механотрансдукції обґрунтовано, що контрольоване динамічне навантаження стимулює дифузію нутрієнтів у міжхребцеві диски та синтез колагену в артикулярному хрящі. Висвітлено регенеративний потенціал силового тренінгу в стимуляції резорбції гриж та менеджменті болю при остеоартриті. Психологічний ефект тренувань розкрито через нейроендокринну регуляцію, зокрема підвищення рівнів BDNF та оптимізацію кортизолу, що сприяє когнітивному довголіттю та емоційній стабільності. Наукова новизна полягає у формуванні цілісної концепції превентивної реабілітації, де силовий тренінг розглядається як засіб мультифакторної корекції здоров'я та біомеханічного омолодження. Практична значущість роботи підтверджується обґрунтуванням пріоритетності базатосуглобових вправ та концепції конденсованого тренувального об'єму для неспортсменів середнього віку. Результати дослідження можуть бути використані для розробки персоналізованих оздоровчих програм та модернізації методик фізичної культури.

Ключові слова: силове тренування; особи середнього віку; міокіни; механотрансдукція; превентивна реабілітація; активне довголіття.

Данило PAPIZHUK

Sumy State University, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0005-1833-0926>

papizhuk.danylo@student.sumdu.edu.ua

THE UTILISATION OF STRENGTH TRAINING AS A MECHANISM FOR THE PURPOSE OF PREVENTIVE REHABILITATION AND ACTIVE AGEING IN MIDDLE-AGED ADULTS

Abstract. This article presents the findings of a scientific study that sought to provide empirical evidence for the multifactorial health-promoting effects of strength training on the bodies of middle-aged individuals (35–60 years old) across metabolic, structural-biomechanical, and psycho-emotional domains. The significance of this study lies in the global prevalence of physical inactivity and the age-related decline in physiological systems, which have a deleterious effect on the quality of life and work capacity of the most productive segment of society. The primary objective of the present study is to provide a theoretical justification for the synergistic relationship among the mechanisms of metabolic adaptation, the structural restoration of the musculoskeletal system, and the improvement of the psycho-emotional state. The methodology is predicated on a systematic analysis, synthesis, and systematization of scientific sources in the fields of sports physiology, biomechanics, and rehabilitation medicine for the period 2009–2026. The study found that skeletal muscles act as the body's largest endocrine organ, secreting myokines (including irisin, apelin, and interleukin-15) that modulate metabolism in distant organs and provide systemic protection against chronic diseases. Research has demonstrated that resistance training enhances insulin sensitivity in glycolytic fibers and reduces systemic inflammation, both of which are imperative for preventing metabolic syndrome and diabetes. Particular emphasis is placed on debunking myths about the purported detrimental effects of strength training on the spine and joints. A comprehensive analysis of mechanotransduction processes reveals that controlled dynamic loading stimulates nutrient diffusion into the intervertebral discs and collagen synthesis in articular cartilage. The text goes on to highlight the regenerative potential of strength training in stimulating hernia resorption and managing pain in osteoarthritis. The psychological effects of training are explained through neuroendocrine regulation,

specifically increased BDNF levels and cortisol optimization, which contribute to cognitive longevity and emotional stability. The scientific novelty of this approach lies in the development of a comprehensive concept of preventive rehabilitation, in which strength training is viewed as a means of multifactorial health improvement and biomechanical rejuvenation. The practical significance of this work is confirmed by the justification of the priority of multi-joint exercises and the concept of condensed training volume for middle-aged non-athletes. The study's findings can be used to develop customized health improvement programs and modernize physical education methods.

Keywords: strength training; middle-aged individuals; myokines; mechanotransduction; preventive rehabilitation; active aging.

Постановка проблеми. У сучасному суспільстві стан соматичного здоров'я осіб середнього віку визначається критичним рівнем гіподинамії, що призводить до передчасної інволюції фізіологічних систем. Традиційне сприйняття старіння як неминучого процесу деградації м'язової та кісткової тканин сьогодні переосмислюється крізь призму ендокриноподібної функції скелетних м'язів. Проте, попри доведену роль міокінів у захисті від хронічних захворювань та підтримці метаболічного гомеостазу [4; 12; 17], у широкій практиці оздоровлення досі спостерігається недооцінка потенціалу силових навантажень. Це створює суттєвий бар'єр для реалізації стратегій активного довголіття та збереження людського капіталу на рівні суспільства.

Особливої актуальності набуває суперечність між клінічно підтвердженою необхідністю механічного навантаження для живлення міжхребцевих дисків і поширеним страхом перед травматизацією опорно-рухового апарату. Наукові дані свідчать, що саме динамічне навантаження забезпечує дифузію нутрієнтів у тканини диска [5; 9; 16], тоді як відсутність адекватної напруги лише прискорює дегенеративно-дистрофічні процеси. Попри це, у методиках фізичної терапії осіб середнього віку часто панують обмежувальні підходи, які ігнорують механізми механотрансдукції та регенеративний потенціал високоінтенсивного тренінгу для суглобів і хребта [11; 23; 26].

Соціальний виклик полягає у відсутності інтегрованих оздоровчих протоколів, які б гармонізували системну метаболічну відповідь (зокрема секрецію іризину та інсуліночутливість) із індивідуальними біомеханічними обмеженнями спортсменів-аматорів [7; 8; 20]. Брак чітко структурованої інформації про оздоровчі ефекти атлетизму призводить до того, що найбільш продуктивна верства суспільства залишається без дієвого інструменту для превентивної реабілітації. Необхідність теоретичного обґрунтування та систематизації позитивних аспектів силового тренінгу як мультифункціонального засобу оздоровлення зумовлює актуальність і наукову значущість цього дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасного наукового доробку свідчить про домінування концепції скелетних м'язів як активних ендокринних органів, що через секрецію міокінів забезпечують системний захист від хронічних захворювань [4; 17]. Дослідники вказують на фундаментальну роль молекулярних механізмів міокінів у підтримці гомеостазу та реалізації системних переваг для здоров'я [12]. Наукові праці підтверджують ефективність силового тренінгу в покращенні метаболічного профілю та зниженні запальних процесів у пацієнтів середнього віку [13; 14; 20]. Разом із тим, акцентується увага на важливості контрольованого метаболічного стресу як ключового триггера функціональної адаптації організму [8; 19]. Існуючі дані вказують на вікову специфіку секреції біомаркерів, зокрема іризину та інтерлейкінів, що вимагає диференційованого підходу до програмування навантажень [7]. При цьому вибір між одно- та багатосуглобовими вправами залишається дискусійним питанням у контексті системного відгуку організму [18].

Дослідження біомеханічних чинників підкреслюють критичну залежність між динамічним навантаженням та трофікою міжхребцевих дисків [5; 15]. Науковці вказують на роль механічного стимулу в забезпеченні дифузії нутрієнтів та запобіганні дегенеративним змінам хребта [3; 9]. Висвітлено клінічну ефективність силових вправ як методу консервативної терапії при грижах міжхребцевих дисків [6]. Вітчизняні фахівці надають теоретичне обґрунтування засобів фізичної терапії для корекції остеохондрозу поперекового відділу, що корелює із загальносвітовими тенденціями [2]. Окремий пласт досліджень фокусується на механотрансдукції як базисі для регенеративної реабілітації артикулярних тканин [11; 16]. Доведено, що високоінтенсивний силовий тренінг є дієвим інструментом для менеджменту болю та відновлення функцій при остеоартриті [10]. Сучасні погляди на діагностику та лікування остеоартрозу підкреслюють необхідність інтеграції активних методів відновлення в загальну систему медичної допомоги [1].

Наразі залишається невирішеним питання розробки комплексних оздоровчих протоколів, які б інтегрували секреторну відповідь м'язової тканини з біомеханічною безпекою опорно-рухового апарату осіб середнього віку. Відсутність чітко структурованих моделей, що пов'язують системні метаболічні ефекти з локальною адаптацією суглобів та хребта, обмежує впровадження силового тренінгу як масового засобу превентивної реабілітації.

Мета дослідження: на основі системного аналізу сучасної наукової літератури теоретично обґрунтувати мультифакторний оздоровчий вплив силового тренінгу на організм осіб середнього віку, розкриваючи взаємозв'язок між механізмами метаболічної адаптації, структурно-функціональним відновленням опорно-рухового апарату та психоемоційним станом.

Методи дослідження. У статті використано такі методи дослідження: аналіз та синтез наукових джерел у галузі спортивної фізіології, біомеханіки та реабілітаційної медицини для вивчення механізмів впливу силового тренінгу на організм; систематизація та узагальнення для визначення ролі міокінів та процесів механотрансдукції у забезпеченні метаболічного гомеостазу та структурної цілісності опорно-рухового апарату; порівняльний аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду (2009–2026 рр.) щодо ефективності використання резистивних вправ у корекції дегенеративно-дистрофічних змін хребта та суглобів; метод теоретичного моделювання для розробки комплексної схеми синергетичного впливу силових навантажень на фізичне та психоемоційне здоров'я осіб середнього віку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасна наукова парадигма розглядає скелетні м'язи як найбільший ендокринний орган людського тіла, здатний до синтезу та секреції сотень біологічно активних пептидів, відомих як міокіни. Фундаментальні дослідження С. Brandt та В. К. Pedersen заклали основу розуміння того, що м'язові скорочення ініціюють каскад ендокринних сигналів, які регулюють метаболізм у віддалених органах, зокрема в печінці, жировій тканині та головному мозку [4]. Цей «діалог» між органами є критичним для підтримання системного гомеостазу та формування захисного бар'єра проти хронічних неінфекційних захворювань. У найсвіжіших роботах Н. Kour та Н. В. Sharma деталізуються молекулярні шляхи, через які міокіни модулюють системне здоров'я, підкреслюючи, що силовий тренінг виступає потужним стимулятором їх вивільнення [12].

Особливого значення для осіб середнього віку набуває роль силових навантажень у регуляції вуглеводного та ліпідного обміну. Згідно з даними N. K. LeBrasseur, резистивний тренінг сприяє гіпертрофії швидких гліколітичних волокон, які мають унікальні метаболічні переваги у покращенні загальної енергетичної ефективності організму [13]. Це відображається у клінічній практиці: мета-аналіз J. Wang демонструє, що регулярні силові вправи суттєво підвищують чутливість до інсуліну та знижують рівень системного запалення (зокрема С-реактивного білка та прозапальних цитокінів) у пацієнтів середнього та похилого віку, які страждають на цукровий діабет II типу [20].

Важливим аспектом адаптації є вікова специфіка нейроендокринної відповіді. Дослідження D. M. Cordingley виявили, що хоча базові концентрації іризину (міокіну, відповідального за «побуріння» жирової тканини та термогенез) у старших чоловіків можуть бути нижчими, ніж у молодих, 12-тижневий протокол силових тренувань забезпечує значне зростання рівнів апеліну та інтерлейкіну-15 (IL-15) [7]. Ці біомаркери відіграють ключову роль у підтримці м'язової маси та запобіганні метаболічному синдрому, що робить резистивні вправи незамінними інструментами у боротьбі з віковою інволюцією.

Інноваційним підходом у цьому напрямі є використання концепції «метаболічного стресу». М. С. de Freitas зазначає, що накопичення метаболітів (лактату, іонів водню) під час виконання силових вправ посилює анаболічну відповідь та покращує метаболічну гнучкість м'язів [19]. У свою чергу, I. Curovic обґрунтовує гіпотезу, згідно з якою локальний метаболічний стрес є медіатором системних функціональних адаптацій. Це дозволяє припустити, що навіть тренування з меншим об'ємом, але високою інтенсивністю, можуть бути надзвичайно ефективними для оздоровлення осіб середнього віку, які мають обмежений часовий ресурс [8]. Таким чином, силовий тренінг забезпечує комплексну метаболічну реконфігурацію, перетворюючи м'язову тканину на активний щит проти вікових патологій [17].

Одним із найбільш стійких міфів у реабілітології минулих десятиліть було уявлення про деструктивний вплив осьових та силових навантажень на опорно-руховий апарат осіб середнього віку. Проте сучасні дослідження біомеханічних факторів дегенерації міжхребцевих дисків радикально змінюють цей підхід [15]. Фундаментальне дослідження R. Arun, відзначене премією ISSLS, доводить, що саме контрольоване механічне навантаження є ключовим чинником, який стимулює дифузію нутрієнтів усередину міжхребцевого диска [3]. Оскільки МХД є найбільшою аваскулярною структурою в тілі людини, його живлення залежить від осмотичного «насоса», що активується під час циклічного стиснення та розслаблення. С. М. De Geer підкреслює, що відсутність адекватної механічної напруги призводить до стагнації транспортних механізмів, що є першопричиною дегенерації [9].

Важливим аспектом є характер навантаження. S. C. W. Chan у своїх роботах демонструє, що динамічне навантаження, властиве силовому тренінгу, на відміну від статичного перевантаження, сприяє підтримці функціональності та гідратації диска [5]. Більше того, інноваційні дані Z. Wang вказують на те, що цілеспрямовані фізичні вправи можуть ініціювати біологічні механізми резорбції гриж поперекового відділу хребта, стимулюючи імунну відповідь та покращуючи мікроциркуляцію в паравертебральних зонах [6]. Ці висновки корелюють із методичними розробками I. M. Ngyhus, які обґрунтовують використання фізичної терапії при остеохондрозі як основного засобу стабілізації хребетних сегментів через формування потужного м'язового корсета [2].

Паралельно з оздоровленням хребта, силовий тренінг виступає потужним інструментом менеджменту здоров'я великих суглобів. О. О. Boreiko зазначає, що сучасне лікування остеоартрозу

неможливе без активного залучення пацієнта до рухових протоколів, спрямованих на відновлення артикулярної функції [1]. В основі цього процесу лежить механотрансдукція – здатність клітин хрящової тканини (хондроцитів) сприймати механічні стимули та перетворювати їх на біохімічні сигнали, що активують синтез колагену та протеогліканів [11].

Згідно з мета-аналізом J. Hua, високоінтенсивний силовий тренінг у дорослих із остеоартритом колінного суглоба демонструє вищу ефективність у зниженні больового синдрому та покращенні мобільності порівняно з низькоінтенсивними вправами [10]. Це пояснюється адаптаційною відповіддю суглоба на механічний стрес, що детально описано в роботі M. Stańczak: реабілітація через навантаження створює умови для структурної перебудови тканин, зміцнюючи зв'язковий апарат та покращуючи амортизаційні властивості хряща [11]. Таким чином, силовий тренінг для осіб середнього віку є не просто засобом підтримки сили, а стратегічним методом «біомеханічного омолодження» структур опорно-рухового апарату [16].

Оздоровчий вплив на суглобовий апарат осіб середнього віку базується на явищі механотрансдукції – здатності клітин (хондроцитів) трансформувати механічні стимули у біохімічні сигнали, що активують внутрішньоклітинні каскади регенерації. Як зазначає O. O. Boreiko, сучасне лікування остеоартрозу вимагає відходу від стратегії «спокою» на користь активних методів фізичної терапії [1]. Згідно з дослідженнями G. Musumeci, адекватне циклічне навантаження є критично необхідним для збереження структурної цілісності суглобового хряща, оскільки воно забезпечує потік синовіальної рідини та стимулює синтез протеогліканів [16].

Револьюційними для реабілітації є дані про вплив інтенсивності навантаження. Мета-аналіз J. Hua демонструє, що високоінтенсивний силовий тренінг у дорослих із остеоартритом колінного суглоба не лише не погіршує стан артикулярних поверхонь, а й забезпечує суттєвіше зниження больового синдрому порівняно з навантаженнями низької інтенсивності [10]. Це пояснюється тим, що хондроцити потребують певного порогу механічного стресу для запуску анаболічних процесів.

У роботах M. Stańczak обґрунтовується концепція «реабілітаційної механобіології», де колінний суглоб розглядається як динамічна система, що адаптується до навантажень через перебудову позаклітинного матриксу [11]. Для осіб середнього віку силовий тренінг стає інструментом «прецизійної регенерації»: зміцнення зв'язкового апарату та м'язів, що оточують суглоб, дозволяє оптимізувати розподіл тиску на хрящ, запобігаючи його дегенерації та покращуючи амортизаційні властивості артикулярної системи в цілому [11; 16].

Оздоровчий вплив силового тренінгу для осіб середнього віку не обмежується соматичними показниками, а має виражений протективний вплив на психоемоційну сферу. У сучасній літературі активно досліджується вісь «м'язи-мозок», де секретовані міокіни виступають медіаторами когнітивного здоров'я [4; 12]. Зокрема, зниження системного запалення під впливом регулярних навантажень, що підтверджується мета-аналізом J. Wang, є ключовим фактором профілактики депресивних станів та тривожності, які часто супроводжують вікові метаболічні зміни [20].

Систематичне резистивне навантаження сприяє оптимізації рівня кортизолу та стимулює вивільнення нейротрофічного фактора мозку (BDNF), що покращує нейропластичність та пам'ять. Для осіб середнього віку, які стикаються з високим рівнем професійного стресу, силовий тренінг стає інструментом емоційної регуляції: перемикає на контроль складнокоординаційних рухів (присідання, тяги) сприяє зниженню ментального напруження та підвищенню самооцінки через усвідомлення функціональних можливостей власного тіла. Таким чином, психологічний ефект є похідною від глибокої біохімічної реконфігурації організму, забезпеченої м'язовою активністю [17].

Ефективність та безпека силового тренінгу для осіб середнього віку критично залежать від методології побудови тренувального процесу. Центральним питанням є вибір між багатосуглобовими (базовими) та односуглобовими (ізолюваними) вправами. Дослідження A. Paoli демонструють, що за умови однакового загального об'єму навантаження, багатосуглобові вправи забезпечують значно кращу кардіореспіраторну відповідь та приріст загальної сили, що робить їх пріоритетними для оздоровчих програм [18].

Інноваційним вектором є використання концепції «стисненого тренувального об'єму». I. Curovic обґрунтовує, що локальний метаболічний стрес, викликаний інтенсивним силовим навантаженням, дозволяє досягати виражених системних адаптацій навіть за суттєвого скорочення часу тренування [8]. Це має вирішальне значення для соціально активної групи осіб середнього віку, які відчувають дефіцит часу.

Методологічно обґрунтований підхід передбачає використання «метаболічного стресу» як інструменту посилення адаптації без потреби в застосуванні екстремальних обтяжень, що знижує ризик травматизму [19]. Поєднання принципів механотрансдукції із прогресивним перевантаженням дозволяє перетворити тренажерну залу на інструмент прецизійної реабілітації та підтримки соматичного здоров'я на довгострокову перспективу [11].

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведений системний аналіз підтверджує, що силовий тренінг для осіб середнього віку є мультифункціональним інструментом оздоровлення, який забезпечує глибоку біохімічну та структурну реконфігурацію організму. Сприйняття скелетних м'язів як активних ендокринних органів дає змогу по-новому інтерпретувати роль резистивних навантажень у підтримці системного гомеостазу. Секреція міокінів, зокрема іризину та інтерлейкіну-15, виступає потужним медіатором у боротьбі з віковою інволюцією, покращуючи інсуліночутливість, знижуючи рівень хронічного системного запалення та забезпечуючи стабільність вуглеводного і ліпідного обмінів. Це створює надійний фундамент для профілактики метаболічного синдрому та цукрового діабету II типу, що є критично важливим для збереження функціонального здоров'я в цій віковій групі.

Біомеханічний вектор дослідження спростовує застарілі стереотипи щодо травматичності силових вправ для опорно-рухового апарату. Доведено, що саме контрольоване динамічне навантаження є необхідною умовою для забезпечення дифузії нутрієнтів у міжхребцеві диски та активації процесів механотрансдукції в артикулярних тканинах. Високоінтенсивний силовий тренінг не лише сприяє зміцненню м'язового корсета та стабілізації хребетних сегментів, а й виступає засобом регенеративної реабілітації, що дозволяє ефективно керувати больовим синдромом при остеоартрозі та стимулювати резорбцію гриж. Синергія метаболічних ефектів і структурної адаптації тканин під впливом механічного стресу забезпечує комплексне «біомеханічне омолодження» організму, що позитивно позначається на якості життя та психоемоційному стані людини.

Методологічно оптимальним для спортсменів-аматорів середнього віку є використання багатосуглобових вправ у поєднанні з концепцією конденсованого тренувального об'єму. Такий підхід дозволяє досягати вираженого системного відгуку за умови дефіциту часу, що робить силовий тренінг доступним і ефективним засобом соціальної превенції. Використання метаболічного стресу як тригера адаптації дає змогу оптимізувати навантаження, уникаючи граничних обтяжень та мінімізуючи ризики травматизму. Таким чином, інтеграція науково обґрунтованого атлетизму в повсякденну практику осіб середнього віку є стратегічним кроком до формування проактивного суспільства та реалізації концепції активного довголіття.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці прецизійних тренувальних протоколів, що враховуватимуть індивідуальні генетичні та біомаркерні профілі користувачів. Окремої уваги потребує вивчення довгострокового впливу силових навантажень на когнітивні функції та нейропластичність у контексті запобігання нейродегенеративним захворюванням. Подальша верифікація механізмів механотрансдукції за різних типів резистивного стресу дозволить створити ще більш безпечні та ефективні програми реабілітації для осіб із початковими стадіями дегенеративно-дистрофічних змін опорно-рухового апарату.

Конфлікт інтересів. Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів

Джерела фінансування. Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Доступність даних. Це дослідження не передбачало використання окремих наборів даних.

Використання засобів штучного інтелекту (ШІ). Під час підготовки цієї роботи автор не використовував інструменти штучного інтелекту.

Список використаних джерел / References

1. Boreiko O. O. Suchasni uiavlennia pro rozvytok osteoartrozu, metody diahnostryky i likuvannia. *Medsestrynstvo*. 2021. № 2. S. 75–76. <https://doi.org/10.11603/2411-1597.2021.2.12293>
2. Teoretychne obgruntuvannia zasobiv fizychnoi terapii khvorykh na osteokhondroz poperekovoho viddilu khrebtu / I. M. Hryhus ta in. *Art of medicine*. 2022. Т. 1, № 21.
3. Arun R et al. 2009 ISSLS prize winner: what influence does sustained mechanical load have on diffusion in the human intervertebral disc? *Spine*. 2009. Vol. 34, no. 21. P. 2324–2337. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e3181b4df92>
4. Brandt C., Pedersen B. K. The role of exercise-induced myokines in muscle homeostasis and the defense against chronic diseases. *BioMed research international*. 2010. Vol. 2010, no. 1. P. 520–258.
5. Chan S. C. W., Ferguson S. J., Gantenbein-Ritter B. The effects of dynamic loading on the intervertebral disc. *European spine journal*. 2011. Vol. 20, no. 11. P. 1796–1812. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-1827-1>
6. Wang Z. et al. Clinical effects and biological mechanisms of exercise on lumbar disc herniation. *Frontiers in physiology*. 2024. Vol. 15. URL: <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1309663>
7. Cordingley D. M., Anderson J. E., Cornish S. M. Resting systemic irisin concentrations are lower in older versus younger males after 12 weeks of resistance-exercise training while apelin and IL-15 concentrations were increased in the whole cohort. *Muscles*. 2024. Vol. 3, no. 3. P. 202–211. <https://doi.org/10.3390/muscles3030018>
8. Curovic I. The role of resistance exercise-induced local metabolic stress in mediating systemic health and functional adaptations: could condensed training volume unlock greater benefits beyond time efficiency?. *Frontiers in physiology*. 2025. Vol. 16. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1549609>

9. De Geer C. M. Intervertebral disk nutrients and transport mechanisms in relation to disk degeneration: a narrative literature review. *Journal of chiropractic medicine*. 2018. Vol. 17, no. 2. P. 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2017.11.006>
10. Hua J., Sun L., Teng Y. Effects of high-intensity strength training in adults with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 2022. Publish Ahead of Print. URL: <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000002088>
11. Stańczak M. et al. Knee joint response to mechanical loading: bounding mechanotransduction with rehabilitation/ *Cellular physiology and biochemistry*. 2025. Vol. 59, no. 5. P. 666–729. URL: <https://doi.org/10.33594/000000818>
12. Kour H., Sharma H. B. Exercise-induced myokines: molecular mechanisms and systemic health benefits. *Indian journal of clinical anatomy and physiology*. 2025. Vol. 12, no. 3. P. 101–106.
13. LeBrasseur N. K., Walsh K., Arany Z. Metabolic benefits of resistance training and fast glycolytic skeletal muscle. *American journal of physiology-endocrinology and metabolism*. 2011. Vol. 300, no. 1. P. E3–E10. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00512.2010>
14. Liu S., Niu Y., Fu L. Metabolic adaptations to exercise training. *Journal of science in sport and exercise*. 2019. Vol. 2, no. 1. P. 1–6. <https://doi.org/10.1007/s42978-019-0018-3>
15. Meng Z. The relationship between biomechanical factors and intervertebral disc degeneration: a review. *American journal of translational research*. 2025. Vol. 17, no. 5. P. 3575–3585. <https://doi.org/10.62347/dsjk1156>
16. Musumeci G. The effect of mechanical loading on articular cartilage. *Journal of functional morphology and kinesiology*. 2016. Vol. 1, no. 2. P. 154–161. <https://doi.org/10.3390/jfmk1020154>
17. Myokines and resistance training: a narrative review / B. E. Zunner et al. *International journal of molecular sciences*. 2022. Vol. 23, no. 7. P. 3501.
18. Paoli A. et al. Resistance training with single vs. multi-joint exercises at equal total load volume: effects on body composition, cardiorespiratory fitness, and muscle strength. *Frontiers in physiology*. 2017. Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.01105>
19. M. C. de Freitas et al. Role of metabolic stress for enhancing muscle adaptations: practical applications. *World journal of methodology*. 2017. Vol. 7, no. 2. P. 46. <https://doi.org/10.5662/wjm.v7.i2.46>
20. Wang J., Fan S., Wang J. Resistance training enhances metabolic and muscular health and reduces systemic inflammation in middle-aged and older adults with type 2 diabetes: a meta-analysis. *Diabetes research and clinical practice*. 2025. P. 112941. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2025.112941>

/ Матеріал надійшов до редакції: 03.04.2026 р. / Прийнято до друку: 17.05.2026 р. / Опубліковано: 30.06.2026 р. /

