

КОРЕКЦІЙНА ПЕДАГОГІКА

УДК 376:612.7

DOI <https://doi.org/10.32782/2412-9208-2025-2-120-130>

PECULIARITIES OF MORPHO-FUNCTIONAL ADAPTATION OF THE MUSCULAR SYSTEM IN CHILDREN WITH DIFFERENT MUSCULOSKELETAL CONDITIONS AS A RESULT OF REHABILITATION PROGRAMS

ОСОБЛИВОСТІ МОРФО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ АДАПТАЦІЇ М'ЯЗОВОЇ СИСТЕМИ У ДІТЕЙ З РІЗНИМИ НОЗОЛОГІЯМИ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ ПІД ВПЛИВОМ РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ПРОГРАМ

Lidiia ILIUKHA,

Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor at the
Department of Anatomy,
Physiology and Physical
Rehabilitation,
Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi
National University
24, O. Dashkevycha Str., NK No. 2,
Cherkasy, 18001, Ukraine

ilyuhaliidiya@ukr.net

<http://orcid.org/0000-0001-9650-805X>

Лідія ІЛЮХА,

кандидат біологічних наук,
доцент кафедри анатомії, фізіології
та фізичної реабілітації,
Черкаський національний
університет імені Богдана
Хмельницького
вул. О. Дашкевича, 24, НК № 2,
м. Черкаси, 18001, Україна

Liliia YUKHYMENKO,

Doctor of Biological Sciences,
Professor at the Department of
Anatomy, Physiology and Physical
Rehabilitation,
Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi
National University
24, O. Dashkevycha Str., NK No. 2,
Cherkasy, 18001, Ukraine

liyukhimenko@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-4455-6233>

Лілія ЮХИМЕНКО,

доктор біологічних наук,
професор кафедри анатомії,
фізіології та фізичної реабілітації,
Черкаський національний
університет імені Богдана
Хмельницького
вул. О. Дашкевича, 24, НК № 2,
м. Черкаси, 18001, Україна

ABSTRACT

This article highlights the results of a critical analysis, systematization, and generalization of literature sources concerning the mechanisms and nature of morpho-functional adaptation of the muscular system depending on the primary nosology. The relevance of this problem lies in the urgent need to develop individualized and highly effective rehabilitation strategies for orthopedagogists and rehabilitation teachers. Understanding how muscles react to different types of loads under specific conditions, such as cerebral palsy, scoliosis, or post-injury states, makes it possible to optimize exercise programs, prevent unwanted side effects, and achieve lasting positive results. This research will also deepen our knowledge of the mechanisms of muscle tissue plasticity in childhood.

The aim of the study was to conduct a comprehensive review and critical evaluation of existing scientific research on the mechanisms and nature of morpho-functional adaptation of the muscular system depending on the primary nosology.

Based on the analysis of literature sources, it was established that the mechanisms and nature of adaptive changes differ significantly in pathologies such as cerebral palsy, scoliosis, and the consequences of injuries. It was found that in cerebral palsy (CP), muscular adaptation focuses on reducing spasticity, increasing functional strength, and improving neuro-muscular control. This requires influencing not only muscle tissue but also the central nervous system. Morphologically, changes in muscle architecture and a reduction in fibrosis are observed. In the case of scoliosis, the main tasks are the correction of muscular imbalance, strengthening of weakened muscles, increasing the endurance of spinal stabilizers, and retraining postural control. The goal of adaptation here is to restore symmetry and stabilization of the axial skeleton. For post-injury consequences, rehabilitation aims to eliminate atrophy caused by immobilization, restore muscle mass, strength, and endurance, as well as improve elasticity and range of motion. This is a vivid example of muscle plasticity in response to physical load.

Key words: *adaptation, muscular system, orthopedics, physical rehabilitation.*

Вступ. Порушення функцій опорно-рухового апарату (ОРА) у дітей є однією з найгостріших проблем сучасної педіатрії та реабілітації [5]. Ці стани, спричинені різними етіологічними факторами – від вроджених аномалій до наслідків травм та неврологічних захворювань – суттєво обмежують рухову активність дитини, впливаючи на її фізичний, психологічний та соціальний розвиток [12]. Успішна реабілітація дітей з порушеннями ОРА є ключовим фактором для досягнення максимальної функціональної незалежності та покращення якості життя. Центральне місце у цьому процесі посідає м'язова система, яка безпосередньо відповідає за рух, підтримку пози та виконання повсякденних дій [4].

Адаптація м'язової системи до фізичних навантажень є фундаментальним біологічним процесом, що дозволяє організму реагувати на зміну зовнішніх умов та підвищувати свою функціональну спроможність. У здорових дітей цей процес відбувається природно у відповідь на звичайну фізичну активність [6]. Однак, у дітей з порушеннями ОРА, м'язова система часто характеризується дисбалансом, атрофією, спастичністю або гіпотонією, що значно ускладнює нормальну адаптацію. Відповідно, реабілітаційні програми покликані не лише відновити втрачені функції,

але й стимулювати специфічні адаптаційні зміни у м'язовій тканині, які б компенсували наявні дефіцити [7].

Актуальність дослідження особливостей морфо-функціональної адаптації м'язової системи у дітей з різними нозологіями ОРА полягає у необхідності розробки індивідуалізованих та високоефективних реабілітаційних стратегій роботи ортопедагога. Розуміння того, як м'язи реагують на різні типи навантажень при специфічних патологіях (наприклад, дитячий церебральний параліч, сколіоз, наслідки травм), дозволить оптимізувати програму вправ, уникнути небажаних побічних ефектів та досягти стійких позитивних результатів. Крім того, це дослідження сприятиме поглибленню знань про механізми пластичності м'язової тканини у дитячому віці, що є вкрай важливим для реабілітаційної практики та фундаментальної науки.

Останні роки відзначаються значним зростанням інтересу до вивчення адаптаційних можливостей м'язової системи у дітей з обмеженими можливостями. Сучасні дослідження все частіше використовують високоточні методи оцінки, такі як ультразвукова візуалізація м'язів, електроміографія (ЕМГ), ізокінетична динамометрія, а також аналіз біомаркерів у крові для оцінки процесів м'язового росту, регенерації та ремоделювання.

Багато робіт зосереджені на взаємозв'язку між центральною нервовою системою та периферичною м'язовою відповіддю при дитячому церебральному паралічі. Дослідження показують, що інтенсивні та функціонально орієнтовані тренування можуть покращувати не лише силу та витривалість, а й зменшувати спастичність шляхом змін у реципрокній іннервації та покращення координації [11]. Ряд робіт демонструють позитивні зміни в архітектурі м'язів (товщина, кут пенації) та їхній активації після тривалих програм силових тренувань у дітей з ДЦП, що вказує на адаптаційні зміни на морфологічному рівні [14; 19]. Також, значна увага приділяється вивченню впливу вібраційних тренувань та тренувань з біологічним зворотним зв'язком на м'язову функцію при ДЦП [9].

Дослідження вказують на важливість м'язового дисбалансу як фактора прогресування сколіозу. Останні публікації [16; 21; 24] підкреслюють, що програми фізичної реабілітації, які включають асиметричні силові та витривалісні вправи, спрямовані на корекцію м'язового дисбалансу, можуть призвести до морфологічних змін у м'язах тулуба та покращення стабілізації хребта.

У випадках наслідків травм (наприклад, переломів, ушкоджень м'язких тканин) фокус досліджень зміщується на прискорення процесів регенерації, запобігання атрофії та відновлення повноцінної функції м'язів. Публікації, такі як [10; 22] розглядають вплив ранньої мобілізації, електростимуляції та прогресивних силових тренувань на відновлення м'язової маси, сили та витривалості. Активно вивчаються механізми, що

лежать в основі м'язової адаптації після іммобілізації та травми, включаючи роль супутникових клітин та цитокінів.

Загалом, сучасні дослідження підкреслюють, що м'язова система дітей з порушеннями ОРА має значний потенціал до адаптації, який може бути реалізований за допомогою цілеспрямованих та індивідуалізованих реабілітаційних програм. Однак, характер та темпи цих адаптаційних змін значно варіюють залежно від специфіки нозології, що потребує більш детального порівняльного аналізу.

Мета дослідження: проведення всебічного огляду та критичної оцінки наявних наукових досліджень щодо механізмів та характеру морфо-функціональної адаптації м'язової системи залежно від первинної нозології.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженні були використані наукові статті, опубліковані в міжнародних рецензованих журналах, систематичні огляди, експериментальні звіти та публікації, доступні в наукометричних базах даних (Scopus, PubMed, Web of Science).

Результати та дискусії. Незважаючи на те, що кінцевою метою реабілітаційних програм для дітей з порушеннями ОРА є покращення рухової функції, механізми та характер морфо-функціональної адаптації м'язової системи суттєво різняться залежно від первинної нозології. Розуміння цих відмінностей є критично важливим для розробки адекватних та ефективних інтервенцій.

ДЦП – це група стійких порушень розвитку рухів та пози, що викликані непрогресуючим ураженням головного мозку, яке виникло в перинатальний або ранній постнатальний період. Захворюваність на церебральний параліч (ДЦП) становить від 2 до 2,5 на 1000 живонароджених, а інвалідність варіюється від легкої до повної залежності [20]. М'язова система у дітей з ДЦП характеризується комплексними змінами, що включають: спастичність, м'язова слабкість, координаційні порушення.

Спастичність, одна з ключових проявів, що призводить до підвищеного м'язового тону та опору розтягуванню. Спастичні м'язи часто є гіпертрофованими, але їхня функціональна сила може бути зниженою. Це пов'язано з порушенням рекрутування рухових одиниць та аномальним контролем з боку ЦНС. Морфологічно спастичні м'язи демонструють зміни у структурі саркомерів (зменшення кількості саркомерів у серії), збільшення щільності сполучної тканини (фіброз) та потовщення м'язових волокон, особливо типу II (швидких). Ці зміни зумовлюють жорсткість та обмеження діапазону рухів [15].

М'язова слабкість часто парадоксально поєднується зі спастичністю. Слабкість може бути наслідком недовикористання м'язів, атрофії (наприклад, при парезі), або порушення нейро-м'язової передачі. На мікроскопічному рівні спостерігається зменшення перерізу м'язових

волокон (особливо типу I), а також порушення співвідношення типів волокон [18].

Координаційні порушення проявляються у дисбалансі між агоністами та антагоністами, синергічні рухи, що перешкоджають ізольованій активації м'язів [13].

Реабілітаційні програми для дітей з ДЦП спрямовані на зменшення спастичності, збільшення сили, покращення діапазону рухів та координації. Адаптація м'язової системи у відповідь на фізичні навантаження має свої особливості. Тренування на розтягування, динамічні силові вправи та терапія з використанням біологічного зворотного зв'язку можуть сприяти подовженню саркомерів та зменшенню фіброзу, хоча цей процес є тривалим і вимагає постійних зусиль. Нейропластичні зміни в ЦНС також відіграють ключову роль у модуляції м'язового тону. Регулярні силові тренування з прогресивним опором можуть призвести до гіпертрофії м'язових волокон (переважно типу II), покращення рекрутування рухових одиниць та збільшення функціональної сили. Проте, через центральний характер ураження, адаптація може бути обмеженою порівняно зі здоровими дітьми. Дослідження показують, що навіть при ДЦП м'язи зберігають здатність до гіпертрофії та збільшення сили, що підкреслює важливість цілеспрямованих тренувань [8]. Ультразвукові дослідження показують, що під впливом реабілітації можуть змінюватися такі параметри, як товщина м'яза, розташування м'язових волокон відносно сухожилля та довжина фасцикул, що позитивно впливає на здатність м'яза генерувати силу [23]. Покращення координованої активації м'язів, зменшення коактивації антагоністів, що сприяє більш ефективному виконанню рухів.

Сколіоз – це тривимірна деформація хребта, що характеризується викривленням у фронтальній площині, ротацією хребців та зміною сагітального профілю. М'язова система відіграє ключову роль у стабілізації хребта, і при сколіозі спостерігається значний м'язовий дисбаланс. М'язи з опуклого боку викривлення часто є розтягнутими та слабкими, тоді як м'язи з увігнутого боку можуть бути вкороченими та гіпертонічними. Ця асиметрія стосується як поверхневих м'язів (наприклад, найдовший м'яз спини, трапецієподібний), так і глибоких стабілізаторів (багатороздільні м'язи, поперечний м'яз живота) [3]. Навіть якщо об'єм м'язової маси здається нормальним, функціональна сила та витривалість м'язів, що відповідають за підтримку хребта, можуть бути зниженими, особливо на стороні опуклості.

Реабілітаційні програми для сколіозу зосереджені на симетричному розвитку м'язової сили, витривалості та корекції постурального контролю [1]. Адаптація м'язової системи включає: цілеспрямовані асиметричні вправи, що призводять до зміцнення слабких м'язів та розтягування вкорочених. Це може викликати як гіпертрофію (збільшення

перерізу м'язових волокон) у атрофованих м'язах, так і покращення їхньої функціональної здатності. Важливим аспектом є підвищення витривалості глибоких м'язів хребта, які відповідають за тривале утримання правильної пози. Це викликає адаптацію на рівні м'язових волокон типу I (повільних), які стають більш стійкими до втоми. Тренування з біологічним зворотним зв'язком та постуральні вправи сприяють перенаванчання нервової системи для більш ефективного контролю м'язів, що стабілізують хребет. Це призводить до покращення кінематики рухів та зменшення прогресування деформації. Хоча прямі морфологічні дослідження м'язів хребта у дітей зі сколіозом є складними, непрямі дані (наприклад, зміна ЕМГ-активності) свідчать про адаптаційні зміни, що відображають функціональне покращення.

Реабілітація після травм опорно-рухового апарату у дітей має на меті повне відновлення функції ураженої кінцівки або сегмента. М'язова система після травми часто страждає від атрофії внаслідок іммобілізації. Тривала іммобілізація (гіпс, ортез) призводить до швидкої втрати м'язової маси (атрофії), особливо волокон типу II, зменшення сили та витривалості. Це пов'язано зі зниженням синтезу білка, збільшенням деградації білка та зменшенням капіляризації м'язів [17]. Утворення рубцевої тканини в місці пошкодження м'яза або навколо суглоба може призвести до обмеження рухів та зниження еластичності м'язів. Якщо травма супроводжувалася ушкодженням периферичних нервів, це призводить до денервації м'язів, їх швидкої атрофії та втрати функціональної здатності.

Реабілітація зосереджена на відновленні м'язової маси, сили, витривалості та діапазону рухів. Адаптація м'язової системи тут є класичним прикладом «відновлення» після «детренування». Прогресивні силові тренування є ключовим фактором для стимуляції синтезу м'язового білка, рекрутування супутникових клітин та гіпертрофії м'язових волокон (особливо типу II). Швидкість і ступінь відновлення залежать від інтенсивності та регулярності навантажень. Аеробні навантаження та тренування на витривалість сприяють збільшенню кількості мітохондрій, покращенню капіляризації та підвищенню окислювальної здатності м'язів. Вправи на розтягування, мануальні техніки та мобілізація сприяють розтягуванню вкорочених м'язів та зменшенню фіброзу, що покращує довжину саркомерів та загальну еластичність м'язів. У випадках ушкодження нервів, реабілітація включає електростимуляцію та спеціальні вправи для «перенаванчання» м'язів та відновлення нервової регуляції, що є найскладнішим аспектом адаптації. Це вимагає реіннервації м'язів та формування нових нервових зв'язків.

Сучасні методи оцінки, такі як ультразвукова візуалізація, ЕМГ та ізокінетична динамометрія, надають об'єктивну інформацію про ці зміни, дозволяючи оптимізувати реабілітаційні стратегії. Ефективність реабі-

літаційних програм визначається їхньою індивідуалізацією, прогресивністю, специфічністю, регулярністю та комплексним підходом.

Успішна реабілітація дітей з порушеннями ОРА є результатом злагодженої роботи команди фахівців: лікарів-реабілітологів, фізичних терапевтів, ерготерапевтів, логопедів, психологів, ортопедагогів та соціальних працівників. Кожен фахівець вносить свій внесок у стимуляцію адаптаційних процесів [2].

Висновки:

1. Дослідження особливостей морфо-функціональної адаптації м'язової системи у дітей з різними нозологіями опорно-рухового апарату під впливом реабілітаційних програм є надзвичайно актуальним напрямком сучасної науки та практики. Незважаючи на спільну мету – покращення рухової функції – механізми та характер адаптаційних змін суттєво різняться при таких патологіях, як дитячий церебральний параліч, сколіоз та наслідки травм.

2. При ДЦП м'язова адаптація спрямована на зменшення спастичності, збільшення функціональної сили та покращення нейро-м'язового контролю, що вимагає впливу не лише на м'язову тканину, а й на центральні механізми регуляції. Морфологічно це проявляється змінами в архітектурі м'язів та зменшенням фіброзу.

3. У випадку сколіозу ключовим є корекція м'язового дисбалансу, зміцнення слабких м'язів, підвищення витривалості стабілізаторів хребта та перенавчання пострурального контролю. Адаптація тут має на меті відновити симетрію та стабілізацію осцевого скелета.

4. Тоді як при наслідках травм основні зусилля реабілітації спрямовані на реверсію атрофії, спричиненої іммобілізацією, відновлення м'язової маси, сили та витривалості, а також на покращення еластичності та діапазону рухів. Це є класичним прикладом пластичності м'язів у відповідь на фізичне навантаження.

Подальші дослідження у цій галузі повинні бути сфокусовані на довгострокових ефектах реабілітації, розробці нових інноваційних методик, які враховують генетичні та метаболічні особливості дітей. Розуміння та цілеспрямований вплив на механізми м'язової адаптації дозволять значно покращити прогноз та якість життя дітей з порушеннями опорно-рухового апарату, надаючи їм можливість для повноцінного розвитку та інтеграції в суспільство.

Література

1. Ілюха Л. Комплексний підхід до фізичної реабілітації дітей з порушеннями опорно-рухового апарату та оцінка ефективності такого підходу. *Актуальні проблеми ортопедагогіки, ортопсихології та реабілітології* IV Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми ортопедагогіки, ортопсихології та реабілітології». Київ : Альянт. 2021. с 100–103.

2. Ілюха Л. М. Перспективи розвитку фізичної реабілітації в закладах загальної середньої освіти. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку методики навчання біології, екології та основ здоров'я людини* : зб. наук. пр. за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції, Черкаси, 20 травня 2021 р. с. 41–43.
3. Левков А. А. Сколіоз: причини, симптоми, лікування. *Сучасні тенденції спрямовані на збереження здоров'я людини* : зб. наук. пр. Х. : НФУ, 2024. Вип. 5. С. 66–69.
4. Михайленко В. Є., Михайленко В. Л., Осіпенко А. С. Фізична реабілітація дітей з руховими порушеннями на досвіді одеського обласного благодійного фонду реабілітації дітей-інвалідів «Майбутнє». *Актуальні проблеми транспортної медицини* № 4 (58), 2019. С. 72–80.
5. Середа Л., Лянной Ю. Порушення функцій опорно-рухового апарату в дітей дошкільного віку як сучасна проблема. *Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві* : збірник наукових праць. 2013. № 1 (21). С. 306–310.
6. Brumitt J, Cuddeford T. Current concepts of muscle and tendon adaptation to strength and conditioning. *Int J Sports Phys Ther.* 2015 Nov;10(6), 748–759.
7. aienza M. F., Urbano F., Chiarito M., Lassandro G., Giordano P. Musculoskeletal health in children and adolescents. *Front Pediatr.* 2023. doi: 10.3389/fped.2023.122652
8. Fleeton, Jennifer RM, Ross H. Sanders, and Ché Fornusek. Strength training to improve performance in athletes with cerebral palsy: a systematic review of current evidence. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 34.6 2020. 1774–1789.
9. Hilderley, Alicia J., et al. Functional neuroplasticity and motor skill change following gross motor interventions for children with diplegic cerebral palsy. *Neurorehabilitation and neural repair* 37.1 2023. 16–26.
10. Järvinen, Tero AH, Markku Järvinen, and Hannu Kalimo. Regeneration of injured skeletal muscle after the injury. *Muscles, ligaments and tendons journal* 3.4 2014. 337.
11. Kachmar O., Kozyavkina N., A. Kushnir and O. Kozyavkina. Neuroplasticity in Rehabilitation of Children With Cerebral Palsy. *International Neurological journal.*, vol. 21, no. 1, Mar. 2025, pp. 52–59, doi:10.22141/2224-0713.21.1.2025.1150.
12. Kiesel K, Matsel K, Bullock G, Arnold T, Plisky P. Risk Factors for Musculoskeletal Health: A Review of the Literature and Clinical Application. *Int J Sports Phys Ther.* 2024 Oct 1;19(10):1255-1262. doi: 10.26603/001c.123485.
13. Latash, Mark L. The control and perception of antagonist muscle action. *Experimental Brain Research* 241.1 2023. 1–12.
14. Lee Dong Ryul, et al. Innovative strength training-induced neuroplasticity and increased muscle size and strength in children with spastic cerebral palsy: an experimenter-blind case study—three-month follow-up. *NeuroRehabilitation.* 35.1 2014. 131–136.
15. Lieber, Richard L., et al. Structural and functional changes in spastic skeletal muscle. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine* 29.5 2004. 615–627.
16. Nikouei F., Ghandhari H., Ameri E., Mokarami F. Shoulder Imbalance in Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Systematic Review of the Current State of the Art. *Arch Bone Jt Surg.* 2022 Dec;10(12), 992–1003. doi: 10.22038/ABJS.2022.64282.3086.
17. Perera, Meeghage Randika, et al. Changes to muscle and fascia tissue after eighteen days of ankle immobilization post-ankle sprain injury: an MRI case study. *BMC Musculoskeletal Disorders* 26.1 2025. 34.
18. Pradines, Maud, et al. Do muscle changes contribute to the neurological disorder in spastic paresis? *Frontiers in neurology* 13 2022. 817229.
19. Reid, Lee B., Stephen E. Rose, and Roslyn N. Boyd. Rehabilitation and neuroplasticity in children with unilateral cerebral palsy. *Nature Reviews Neurology* 11.7 (2015). 390–400.
20. Richards, Carol L., and Francine Malouin. Cerebral palsy: definition, assessment and rehabilitation. *Handbook of clinical neurology* 111 (2013): 183–195.

21. Šarčević, Zoran. Scoliosis: muscle imbalance and treatment. *British Journal of Sports Medicine* 44.Suppl 1 (2010). 16. doi.org/10.1136/bjism.2010.078725.49
22. Tidball, James G. Mechanisms of muscle injury, repair, and regeneration. *Comprehensive physiology* 4 (2011). 2029–2062.
23. Timmins, Ryan G., et al. Architectural adaptations of muscle to training and injury: a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness. *British journal of sports medicine* 50.23 (2016). 1467–1472.
24. Yavorskyi, D. R., and Z. I. Korytko. Features of physical therapy for scoliosis. *Ukrainian Journal of Laboratory Medicine* 2.2 (2024). 18–24.

References

1. Iliukha, L. (2021). Kompleksnyi pidkhid do fizychnoi reabilitatsii ditei z porusheniami opornorukhovoho aparatu ta otsinka efektyvnosti takoho pidkhodu [A comprehensive approach to physical rehabilitation of children with musculoskeletal disorders and assessment of the effectiveness of such an approach]. *Aktualni problemy ortopedahohiky, ortopsykholohii ta reabilitolohii IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Aktualni problemy ortopedahohiky, ortopsykholohii ta reabilitolohii»*. Kyiv : Aliant. s 100–103 [in Ukrainian].
2. Iliukha, L. M. (2021). Perspektyvy rozvytku fizychnoi reabilitatsii v zakladakh zahalnoi serednoi osvity [Prospects for the development of physical rehabilitation in secondary education institutions]. *Aktualni problemy ta perspektyvy rozvytku metodyky navchannia biolohii, ekolohii ta osnov zdorovia liudyny* : zb. nauk. pr. za materialamy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii, Cherkasy, 20 travnia 2021 r. s. 41–43 [in Ukrainian].
3. Levkov, A. A. (2024). Skolioz: prychny, symptomy, likuvannia [Scoliosis: causes, symptoms, treatment]. *Suchasni tendentsii spriamovani na zberezhennia zdorovia liudyny* : zb. nauk. pr. Kh. : NFU, Vyp. 5. S. 66–69 [in Ukrainian].
4. Mykhailenko, V. Ie., Mykhailenko, V. L., Osipenko, A. S. (2019). Fizychna reabilitatsiia ditei z rukhovymy porushenniamy na dosvidi odeskoho oblasnoho blahodiinoho fondu reabilitatsii ditei-invalidiv «Maibutnie» [Physical rehabilitation of children with motor disorders based on the experience of the Odessa Regional Charitable Foundation for the Rehabilitation of Disabled Children "Maybutne"]. *Aktualni problemy transportnoi medytsyny* № 4 (58). S. 72–80 [in Ukrainian].
5. Sereda, L., Liannoi, Yu. (2013). Porushennia funktsii oporno-rukhovoho aparatu v ditei doshkilnoho viku yak suchasna problema [Musculoskeletal system dysfunction in preschool children as a modern problem]. *Fizychnye vykhovannia, sport i kultura zdorovia u suchasnomu suspilstvi*: zbirnyk naukovykh prats... № 1 (21). S. 306–310 [in Ukrainian].
6. Brumitt, J, Cuddeford, T. (2015). Current concepts of muscle and tendon adaptation to strength and conditioning. *Int J Sports Phys Ther*. Nov;10(6), 748–759. [in English].
7. Faienza, M. F., Urbano, F., Chiarito, M., Lassandro, G., Giordano, P. (2023). Musculoskeletal health in children and adolescents. *Front Pediatr*. doi: 10.3389/fped.2023.122652 [in English].
8. Fleeton, Jennifer RM, Ross H. (2020). Sanders, and Che Fornusek. Strength training to improve performance in athletes with cerebral palsy: a systematic review of current evidence. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 34.6.1774–1789. [in English].
9. Hilderley, Alicia J., et al. (2023). Functional neuroplasticity and motor skill change following gross motor interventions for children with diplegic cerebral palsy. *Neurorehabilitation and neural repair* 37.1: 16–26. [in English].
10. Järvinen, Tero AH, Markku Järvinen, and Hannu Kalimo (2014). Regeneration of injured skeletal muscle after the injury. *Muscles, ligaments and tendons journal* 3.4: 337. [in English].

11. Kachmar, O., Kozyavkina N., A. Kushnir, and O. Kozyavkina. (2025). Neuroplasticity in Rehabilitation of Children With Cerebral Palsy. *International Neurological Journal*. vol. 21, no. 1, pp. 52–59, doi:10.22141/2224-0713.21.1.2025.1150. [in English].
12. Kiesel, K., Matsel, K., Bullock, G., Arnold, T., Plisky, P. (2024). Risk Factors for Musculoskeletal Health: A Review of the Literature and Clinical Application. *Int J Sports Phys Ther*. 1;19(10), 1255–1262. doi: 10.26603/001c.123485. [in English].
13. Latash, Mark L. (2023). The control and perception of antagonist muscle action. *Experimental Brain Research* 241.1 p.1–12. [in English].
14. Lee, Dong Ryul, et al. (2014). Innovative strength training-induced neuroplasticity and increased muscle size and strength in children with spastic cerebral palsy: an experimenter-blind case study–three-month follow-up. *NeuroRehabilitation* 35.1: 131–136. [in English].
15. Lieber, Richard L., et al. (2004). Structural and functional changes in spastic skeletal muscle. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine* 29.5: 615–627. [in English].
16. Nikouei, F., Ghandhari, H., Ameri, E., Mokarami, F. (2022). Shoulder Imbalance in Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Systematic Review of the Current State of the Art. *Arch Bone Jt Surg*. Dec;10(12), 992–1003. doi: 10.22038/ABJS.2022.64282.3086. [in English].
17. Perera, Meehage Randika, et al. (2025) Changes to muscle and fascia tissue after eighteen days of ankle immobilization post-ankle sprain injury: an MRI case study. *BMC Musculoskeletal Disorders* 26.1: 34. [in English].
18. Pradines, Maud, et al. (2022). Do muscle changes contribute to the neurological disorder in spastic paresis? *Frontiers in neurology* 13 p. 817229. [in English].
19. Reid, Lee B., Stephen E. Rose, and Roslyn N. Boyd. (2015). Rehabilitation and neuroplasticity in children with unilateral cerebral palsy. *Nature Reviews Neurology* 11.7, 390–400. [in English].
20. Richards, Carol L., and Francine Malouin (2013). Cerebral palsy: definition, assessment and rehabilitation. *Handbook of clinical neurology* 111, 183–195. [in English].
21. Sarcevic, Zoran. (2010). Scoliosis: muscle imbalance and treatment. *British Journal of Sports Medicine* 44. Suppl 1: 16. doi.org/10.1136/bjism.2010.078725.49 [in English].
22. Tidball, James G. (2011). Mechanisms of muscle injury, repair, and regeneration. *Comprehensive physiology* 4: 2029–2062. [in English].
23. Timmins, Ryan G., et al. (2016). Architectural adaptations of muscle to training and injury: a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness. *British journal of sports medicine* 50.23: 1467–1472. [in English].
24. Yavorskyi, D. R., and Z. I. Korytko. (2024). Features of physical therapy for scoliosis. *Ukrainian Journal of Laboratory Medicine* 2.2: 18–24. [in English].

АНОТАЦІЯ

У статті висвітлено результати критичного аналізу, систематизації та узагальнення літературних джерел стосовно механізмів та характеру морфо-функціональної адаптації м'язової системи залежно від первинної нозології. Актуальність зазначеної проблеми полягає в нагальній потребі розробки індивідуалізованих та високоєфективних реабілітаційних стратегій для ортопедagogів, вчителів-реабілітологів. Розуміючи, як м'язи реагують на різні види навантажень за певних умов, таких як церебральний параліч, сколіоз або стани після травм, можливо оптимізувати програми фізичних вправ, запобігати небажаним побічним ефектам та досягати тривалих позитивних результатів. Це дослідження також поглибить знання про механізми пластичності м'язової тканини в дитячому віці.

Метою дослідження було проведення всебічного огляду та критичної оцінки наявних наукових досліджень щодо механізмів та характеру морфо-функціональної адаптації м'язової системи залежно від первинної нозології.

На основі аналізу літературних джерел встановлено, що механізми та характер адаптаційних змін суттєво різняться при таких патологіях, як дитячий церебральний параліч, сколіоз та наслідки травм. З'ясовано, що при дитячому церебральному паралічі (ДЦП) м'язова адаптація фокусується на зменшенні спастичності, збільшенні функціональної сили та покращенні нейро-м'язового контролю. Це вимагає впливу не лише на м'язову тканину, а й на центральну нервову систему. Морфологічно спостерігаються зміни в архітектурі м'язів та зменшення фіброзу. У випадку сколіозу головними завданнями є корекція м'язового дисбалансу, зміцнення ослаблених м'язів, підвищення витривалості стабілізаторів хребта та перенавчання постурального контролю. Метою адаптації тут є відновлення симетрії та стабілізації осьового скелета. При наслідках травм реабілітація спрямована на усунення атрофії, спричиненої іммобілізацією, відновлення м'язової маси, сили та витривалості, а також покращення еластичності та діапазону рухів. Це яскравий приклад м'язової пластичності у відповідь на фізичне навантаження.

Ключові слова: адаптація, м'язова система, ортопедагогіка, фізична реабілітація.



Дата надходження статті: 15.06.2025

Дата прийняття статті: 20.06.2025

Опубліковано: 30.09.2025