ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет медицини і фармації

Кафедра фізичної реабілітації, спортивної медицини та валеології

Сіянко Роман Вікторович

# ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОХ ПРОГРАМ ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ У ДІТЕЙ 10-13 РОКІВ З ВАЛЬГУСНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ НИЖНІХ КІНЦІВОК

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра
за спеціальністю 227 «Терапія та реабілітація»
спеціалізація 227.01 Фізична терапія

**Науковий керівник:**
Турицька Тетяна Григорівна
доцент, фізичний терапевт,
к.б.н., доцент
(підпис)_____

Роботу рекомендовано до захисту
на засіданні кафедри фізичної реабілітації,
спортивної медицини та валеології
Протокол № __від «___»____2026 р.
Завідувач кафедри_____

Роботу захищено на засіданні ЕК
з оцінкою_____/_____/_____
(за 200-бальною шкалою / шкалою ЄКТС)
Протокол № від «__»____2026 р.
Голова ЕК _____

Дніпро – 2026

# ЗМІСТ


| | |
|---|---|
| АНОТАЦІЯ …… | 3 |
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ …….. | 4 |
| ВСТУП …… | 5 |
| РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ ДІТЕЙ ІЗ ПЛОСКО-ВАЛЬГУСНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ СТОП …….. | 8 |
| 1.1. Анатомо-біомеханічні особливості стопи в дитячому віці як фундамент статокінетичної стійкості ……. | 8 |
| 1.2. Еволюція поглядів на патогенез плоско-вальгусної деформації: від морфологічного сплощення до нейромоторного дефіциту ..……. | 14 |
| 1.3. Сучасна концепція «Foot Core System»: роль внутрішніх м’язів стопи в активній стабілізації склепіння …….. | 17 |
| 1.4. Аналіз існуючих підходів до фізичної терапії плоско-вальгусної деформації стоп: переваги та обмеження ……. | 21 |
| 1.5. Нейропластичність та сенсомоторне перенавчання як стратегічні напрямки реабілітації в підлітковому віці …….. | 28 |
| Висновки до розділу 1 ……... | 31 |
| РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ …….. | 33 |
| 2.1. Методи дослідження ……... | 33 |
| 2.2. Дизайн дослідження …… | 46 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ ……. | 58 |
| 3.1. Динаміка біомеханічних показників стопи у дітей обох груп під впливом терапевтичних втручань …… | 60 |
| 3.2. Оцінка функціонального стану та постуральної стабільності стоп …. | 63 |
| 3.3. Порівняльна характеристика ефективності розробленої програми фізичної терапії та традиційних підходів …… | 70 |
| ВИСНОВКИ ……... | 73 |
| ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ……... | 75 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……. | 77 |
| ДОДАТКИ …….. | 87 |

# АНОТАЦІЯ

Сіянко Р.В. Порівняння ефективності двох програм фізичної терапії у дітей 10-13 років з вальгусною деформацією нижніх кінцівок. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістр за спеціальністю 227 Терапія та реабілітація, спеціалізація 227.01 Фізична терапія. – Дніпровський державний медичний університет, Дніпро, 2026.

Науковий керівник: доцент кафедри фізичної реабілітації, спортивної медицини та валеології Дніпровського державного медичного університету, кандидат біологічних наук, фізичний терапевт, доцент Турицька Т.Г.

Актуальність. Плоско-вальгусна деформація (ПВД) у підлітковому віці (10-13 років) є критичною патобіомеханічною проблемою, що дестабілізує весь висхідний кінематичний ланцюг опорно-рухового апарату. Традиційні підходи, орієнтовані на пасивну підтримку склепіння, часто виявляються малоефективними через ігнорування ролі нейром'язового контролю та внутрішньої мускулатури стопи. Це зумовлює необхідність впровадження стратегій нейропластичності та сенсомоторного перенавчання.

Мета дослідження – підвищити ефективність фізичної терапії підлітків із ПВД шляхом розробки та впровадження програми, що базується на активації системи «foot core» та механізмах сенсорного перезважування.

Дизайн наукового дослідження. Проспективне порівняльне дослідження, проведене на базі КНП «МБКЛМД Руднєва» ДМР. Учасники (n=10) були розподілені на контрольну групу (традиційний комплекс терапевтичних вправ (КТВ)) та основну групу (розроблена програма нейромоторної активації). Оцінка результатів здійснювалася за допомогою шкал FPI-6, FFI, тесту Navicular Drop та Y-Balance Test.

Наукова новизна. Обґрунтовано застосування концепції сенсорного перезважування (sensory reweighting) у реабілітації підлітків із ПВД. Доведено, що поєднання ізольованої активації внутрішніх м'язів стопи із дозованим пропріоцептивним викликом на нестабільних поверхнях (платформи Bosu, «кнопки балансу») забезпечує стійку корекцію динамічного стереотипу ходьби. Виявлено гендерні особливості реабілітаційного потенціалу в пубертатному періоді.

Основні результати та висновки. Встановлено, що застосування запропонованої програми дозволило покращити показник FPI-6 в основній групі на 34,0% ($p < 0,05$) та підвищити рівень динамічного балансу за Y-тестом (з 69,7% до 84,2%). Доведено, що мікростимуляція механорецепторів підошви сприяє оптимізації пропріоцептивного Gain-контролю, що веде до автоматизації коректного положення стопи без свідомого контролю з боку пацієнта.

Практична значимість. Розроблено та апробовано алгоритм фізичної терапії, який може бути впроваджений у практику педіатричних реабілітаційних відділень та центрів. Програма дозволяє не лише коригувати наявну деформацію, а й запобігати розвитку вторинних порушень постави у підлітків.

Ключові слова: фізична терапія, підлітки, плоско-вальгусна деформація, нейромоторне перенавчання, сенсорне перезважування, foot core system, коротка стопа, статокінетична стійкість.

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВЧК – висота човноподібної кістки

ПВД – плоско-вальгусна деформація

IFM – Intrinsic Foot Muscles (власні м’язи стопи)

ЦНС – центральна нервова система

ФТ – фізична терапія

ОГ – основна група

КГ – контрольна група

FPI-6 – Foot Posture Index

FFI – Foot Function Index (функціональний індекс стопи)

MLAA – Medial Longitudinal Arch Angle (медіальний поздовжний кут арки стопи)

SFE – short-foot exercise (короткі вправи для стопи)

YBT – Y-Balance Test

# ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Сучасний стан системи охорони здоров'я в Україні характеризується зростанням кількості патологій опорно-рухового апарату серед підлітків, серед яких плоско-вальгусна деформація (ПВД) стоп посідає одне з чільних місць. Період пубертатного росту (10-13 років) є детермінованим етапом, коли завершується осифікація скелета стопи, що робить цей вік «вікном можливостей» для корекції деформацій. Актуальність дослідження зумовлена тим, що традиційні методики фізичної терапії, орієнтовані на пасивну підтримку склепіння (устілки) або загальне зміцнення м'язів гомілки, часто не забезпечують сталого результату. Це пов'язано з ігноруванням ролі внутрішніх м'язів стопи (*foot core system*) та недостатньою увагою до нейромоторного контролю. Наукова проблема полягає у необхідності розробки програм, що впливають не лише на морфологію, а й на нейропластичність ЦНС для автоматизації коректного рухового стереотипу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри фізичної реабілітації, спортивної медицини та валеології Дніпровського державного медичного університету за темою: **«Медичне, фізіотерапевтичне та ерготерапевтичне забезпечення спортивних, оздоровчих та реабілітаційних тренувань»**, номер державної реєстрації **0121U114435**. Особистий внесок здобувача полягає у розробці та впровадженні алгоритму нейромоторного перенавчання для підлітків із ПВД.

**Мета дослідження** – підвищити ефективність фізичної терапії підлітків із плоско-вальгусною деформацією стоп шляхом розробки та впровадження програми нейромоторного перенавчання, що базується на активації системи «foot core» та механізмах сенсорного перезважування.

**Завдання дослідження:**

1. Проаналізувати сучасні науково-доказові підходи до фізичної терапії ПВД у підлітків та обґрунтувати роль нейромоторного контролю.

2. Оцінити вихідний стан морфо-функціональних параметрів стопи та рівень статокінетичної стійкості у досліджуваного контингенту.

3. Розробити програму фізичної терапії з використанням вправ на «коротку стопу» (SFE) та нестабільного обладнання (Bosu, «кнопки балансу»).

4. Провести порівняльний аналіз ефективності розробленої програми порівняно з традиційними методиками.

5. Сформулювати практичні рекомендації для фізичних терапевтів щодо застосування нейромоторного підходу.

**Об'єкт дослідження** – процес фізичної терапії підлітків 10-13 років із плоско-вальгусною деформацією стоп.

**Предмет дослідження** – вплив програми нейромоторного перенавчання (вправи SFE, сенсомоторне тренування на нестабільних опорах) на морфологічні показники стопи, динамічний баланс та якість життя підлітків.

**Методи дослідження:**

- *Теоретичні:* аналіз та узагальнення наукової літератури (для вивчення концепції «foot core»).
- *Клініко-інструментальні:* шкала FPI-6 (оцінка позиції стопи), тест Navicular Drop (висота склепіння), Y-Balance Test (динамічна стійкість), опитувальник Foot Function Index (FFI).
- *Математико-статистичні:* методи варіаційної статистики для підтвердження достовірності отриманих результатів (критерії Стьюдента, Вілкоксона).

**Наукова новизна:**

- **Вперше одержано** дані про ефективність поєднання ізольованої активації внутрішніх м'язів стопи з мікростимуляцією механорецепторів підошви («кнопки балансу») у підлітків, що дозволило підвищити рівень функціональної мобільності за Y-тестом на 14,5% порівняно зі стандартними програмами.

- **Удосконалено** підходи до побудови реабілітаційного процесу через впровадження механізму «sensory reweighting», що забезпечує зміну пріоритетності сенсорних систем на користь пропріоцепції.
- **Отримало подальший розвиток** наукове обґрунтування гендерних відмінностей у реабілітаційному потенціалі: вища нейромоторна пластичність у дівчаток та інтенсивніша морфологічна адаптація у хлопчиків.

**Теоретична значущість** роботи полягає у розширенні уявлень про стопу як активний сенсорний орган. Доповнено теорію фізичної терапії положеннями про роль пропріоцептивного Gain-контролю у формуванні стійкого динамічного стереотипу ходьби.

**Практична значущість.** Розроблена методика дозволяє скоротити терміни корекції вальгусної установки та автоматизувати навичку утримання склепіння. Результати впроваджено у практику роботи КНП «МБКЛМД Руднєва» ДМР.(Додаток 5) Сформовані рекомендації можуть бути використані у реабілітаційних відділеннях та центрах.

**Апробація матеріалів.** Основні положення роботи були опубліковані у вигляді наукової статті (категорія Б): «Превентивна парадигма у фізичній терапії плоско-вальгусної деформації стоп: біомеханічне та нейрофізіологічне обґрунтування раннього втручання». Перспективи та інновації науки. Розділ Медицина. 2026; 2 (60): 2666-2680. https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-2(60)-2666-2680 (Додаток 6)

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, практичних рекомендацій, списку використаних джерел (115 найменувань) та додатків. Загальний обсяг роботи становить 113 сторінок.

# РОЗДІЛ 1
# СТАН ПРОБЛЕМИ ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ ДІТЕЙ ІЗ ПЛОСКО-ВАЛЬГУСНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ СТОП

## 1.1. Анатомо-біомеханічні особливості стопи в дитячому віці як фундамент статокінетичної стійкості

Стопа дитини є складною багатокомпонентною системою, яка в період від 10 до 13 років проходить через критичну фазу морфо-функціонального становлення [1-4]. Згідно з сучасними дослідженнями [1], розвиток стопи не є лінійним процесом: він інтегрує зміни кісткової архітектури, прогресуючу осифікацію та вдосконалення нейром'язового контролю. Для вікової категорії 10-13 років характерним є завершення формування основних морфологічних ознак, що робить цей період детермінованим для остаточної стабілізації статокінетичної стійкості [2].

Ключовим аспектом дитячої біомеханіки є кореляція між морфологічним розвитком стопи та кістковим дозріванням. Як зазначають Xie et al. [3], процеси осифікації скелета стопи безпосередньо впливають на розподіл плантарного тиску та формування поздовжнього склепіння. У віці 10-13 років спостерігається значне підвищення жорсткості стопи за рахунок консолідації точок росту п'яткової та човноподібної кісток, що поступово перетворює стопу з гнучкого амортизатора на ефективний важіль для локомоції.

Важливою характеристикою цього етапу є виражений статевий диморфізм у темпах морфогенезу. Як засвідчує низка фундаментальних досліджень [5, 6], розвиток лінійних та висотних параметрів стопи підпорядковується різним часовим алгоритмам у хлопчиків та дівчаток. Зокрема, активне подовження стопи у чоловічої статі триває щонайменше до 15-річного віку, тоді як у жіночої статі найбільш інтенсивний приріст завершується невдовзі після 13 років. Аналогічна диференціація простежується і в динаміці висоти човноподібної

кістки (ВЧК): у хлопчиків її активна елевація припадає на 12-13 років з виходом на плато до 15 років, тоді як у дівчаток прискорена стабілізація ВЧК розпочинається раніше – з 10-11 років, досягаючи остаточної фіксації до 16 років.

З позиції біомеханічного аналізу, стопа дитини виступає первинною ланкою взаємодії з опорою, де її морфологічний тип безпосередньо модулює фізичні параметри, ступінь активності зв'язкового апарату та показники м'язової сили [4]. Розуміння морфотипу є фундаментальним для клінічного мислення фізичного терапевта, оскільки форма стопи визначає не лише локальну біомеханіку, а й стратегію адаптації всього опорно-рухового апарату дитини в період активного росту. Згідно з сучасними оглядами [7], форма стопи та її установка є взаємозалежними факторами, що безпосередньо впливають на розподіл плантарного навантаження та кінематику нижньої кінцівки. У віковій категорії 10-13 років виділяють три базові стани (рис. 1.1.1):

**Рис. 1.1.1. Біомеханіка стопи: пронація та супінація [8]**

1. Нейтральна стопа (нормотипова): характеризується збалансованим співвідношенням між переднім та заднім відділами. У фазі опори така стопа демонструє фізіологічний цикл «пронація-супінація», де після м'якої амортизації відбувається вчасний перехід у стан ригідності. Це забезпечує оптимальну статичну та динамічну постуральну стабільність, дозволяючи дитині ефективно контролювати центр маси тіла.

2. Супінована стопа (порожниста): відрізняється високим жорстким склепінням та інверсією п'яти. Така «ригідна стопа» має обмежену здатність до амортизації, через що ударне навантаження не гаситься дистально, а передається проксимально. Хоча супінована установка може не суттєво впливати на статичну рівновагу, вона створює дефіцит адаптивності при динамічних навантаженнях.

3. Пронована стопа (плоско-вальгусна): супроводжується колапсом медіальної дуги та еверсією п'яти. Надмірна пронація призводить до зниження стабільності в одноопорній фазі кроку, провокуючи патобіомеханічний каскад: внутрішню ротацію гомілки, динамічний вальгус колін та компенсаторний нахил таза вперед.

Важливо розуміти, що надмірна пронація стопи не є лише статичним дефектом, а виступає динамічним порушенням паттерну руху. Огляд сучасних літературних джерел показав [9], що тривала аномальна пронація змінює кінематику всього нижнього сегмента тіла, проте вона піддається корекції за допомогою методів перенавчання ходи та цілеспрямованих вправ. Це підкреслює пластичність рухового стереотипу в підлітковому віці та можливість розірвати ланцюг патобіомеханічних порушень через нейром'язову активацію.

Така варіативність підкреслює, що морфологія стопи – це не просто статична форма, а динамічна «програма». Як зазначають Mei et al. [7], інтегроване розуміння морфології та біомеханіки є ключовим для розробки персоналізованих стратегій реабілітації. У віці 10-13 років терапевтичне вікно дозволяє через активацію внутрішніх м'язів стопи перепрограмувати цю систему, зупинивши каскад змін до моменту закриття зон росту.

Це підтверджує тезу про те, що функціонування стопи як фундаменту висхідного кінематичного ланцюга базується на принципі суворої взаємозалежності суміжних сегментів, де стабільність дистальної ланки безпосередньо визначає біомеханічну цілісність проксимальних структур. У нормі цей процес регулюється механізмом «лебідки», який за рахунок натягу підошовного апоневрозу під час тильного згинання пальців перетворює стопу на жорсткий важіль [10]. Ця трансформація є критичною для ініціації фізіологічної зовнішньої ротації гомілки та стегна, що забезпечує коректну передачу зусилля та конгруентність суглобів під час локомоцій [11].

Однак при пронованому типі стопи даний механізм блокується через надмірну лабільність середнього відділу та неспроможність активних стабілізаторів утримувати медіальну дугу. Це призводить до патобіомеханічного розмикання ланцюга: замість формування жорсткої опори, стопа продовжує надмірно пронувати, що примушує гомілку до патологічної внутрішньої ротації. Сучасні дослідження кінематичних та кінетичних даних підтверджують, що такі зміни дистальної ланки суттєво спотворюють механіку руху не лише під час ходьби по рівній поверхні, а й при виконанні складніших завдань, як-от підйом чи спуск сходами [12].

Більше того, порушення коректного анатомічного вирівнювання (співвісності) в гомілковостопному та колінному суглобах створює умови для некоректної компенсації на рівні кульшового суглоба (рис. 1.1.2). Розуміння цих взаємозв’язків є ключовим при розробці екзоскелетних систем та реабілітаційних пристроїв, де корекція аксіальних відхилень має критичне значення для відновлення природної динаміки [13]. При плоско-вальгусній деформації цей процес ініціює висхідну ланцюгову реакцію (патобіомеханічний каскад), де патологічна пронація середнього відділу стопи провокує колапс медіального поздовжнього склепіння та надмірну внутрішню ротацію гомілки [14]. Клінічно це маніфестує як динамічний вальгус коліна, що суттєво змінює вектор навантаження на суглоб, підвищуючи ризик травматизації зв’язкового апарату та порушуючи просторово-часові параметри ходи [15, 16].

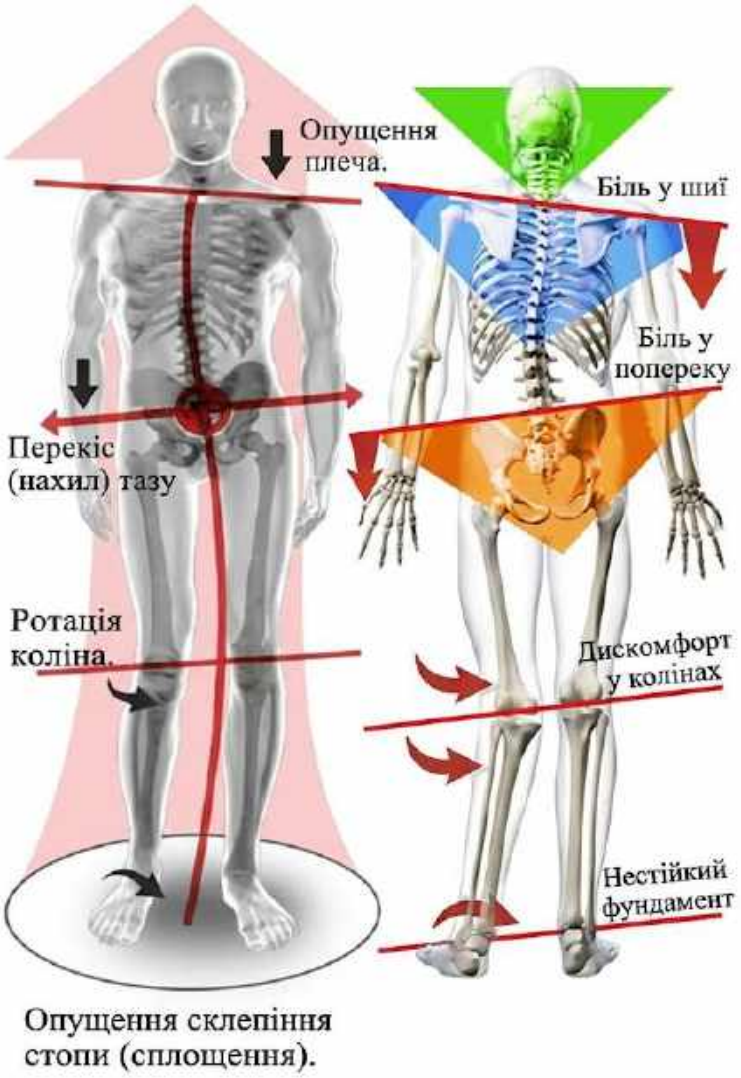



**Рис. 1.1.2. Біомеханічні ланцюги постави та болю**

Таким чином, плоско-вальгусна установка стоп у підлітковому віці не є ізольованим дефектом, а виступає тригером системної біомеханічної дисфункції. Це підтверджує тезу про те, що патологія дистальної ланки дестабілізує весь висхідний кінематичний ланцюг, потребуючи інтегрованого підходу до реабілітації.

У контексті фізичної терапії сучасні доказові дані (Mousavi et al., 2024) підтверджують, що цілеспрямовані стратегії контролю пронації дозволяють відновити біомеханічну цілісність усієї системи. Це виступає фундаментальним аргументом на користь застосування методів активного нейром’язового перенавчання: замість пасивної механічної підтримки склепіння, акцент на відновленні функції «лебідки» та стабілізації дистальної ланки дозволяє

нормалізувати кінематику проксимальних сегментів, забезпечуючи сталий терапевтичний ефект.

Реалізація такого інтегрованого підходу стає можливою лише за умови розуміння внутрішньої ієрархії механізмів стабілізації стопи. Сучасна парадигма розглядає стабільність стопи не як статичну характеристику, а як динамічний результат синергії трьох функціональних підсистем:

1. Пасивна підсистема: охоплює морфологічну конфігурацію суглобових поверхонь, цілісність капсульно-зв'язкового апарату та підошовний апоневроз. Вона забезпечує структурну основу та базову напругу, необхідну для реалізації механізму лебідки.

2. Активна підсистема: представлена внутрішніми м'язами стопи, які виступають ключовими модуляторами жорсткості медіальної дуги. Саме цей рівень відповідає за динамічне «замикання» стопи перед фазою відштовхування, що критично важливо при плоско-вальгусній деформації.

3. Нейронна підсистема (сенсомоторна інтеграція): базується на безперервній аферентній сигналізації від механорецепторів шкіри підошви, м'язових веретен та сухожильних органів Гольджі. Ця підсистема є фундаментом постурального контролю, забезпечуючи точне налаштування м'язової відповіді залежно від змін опорної поверхні.

Сучасні дослідження підкреслюють, що в дитячому віці функція стопи тісно пов'язана з умовами навколишнього середовища та взуттям, які можуть або стимулювати розвиток пропріоцепції, або пригнічувати природну сенсорну активність. Особливого значення набуває розвиток пропріоцептивних механізмів, які дозволяють дитині адаптувати жорсткість стопи до різних типів поверхні, забезпечуючи «сенсорне перезважування» для утримання вертикального балансу.

Таким чином, у віці 10-13 років анатомо-біомеханічний профіль стопи досягає рівня зрілості, коли структурні зміни кісткової тканини синхронізуються з розвитком моторних навичок. Це створює оптимальне терапевтичне вікно для активного втручання: м'язова система вже здатна до реалізації складних

нейром’язових стратегій, а завершення процесів осифікації дозволяє закріпити отримані результати на рівні сталого, енергоефективного рухового стереотипу.

## 1.2. Еволюція поглядів на патогенез плоско-вальгусної деформації: від морфологічного сплощення до нейромоторного дефіциту

Історично погляди на етіологію та патогенез плоско-вальгусної деформації (ПВД) стоп у дітей зазнали суттєвої трансформації: від суто механістичного розуміння «опущення склепіння» до сучасної концепції нейросенсорної дискореляції [17].

Традиційна морфо-механічна парадигма розглядала плоско-вальгусну деформацію (ПВД) переважно як наслідок структурної неспроможності пасивних стабілізаторів [18-20]. У межах цього підходу ключовими етіопатогенетичними чинниками вважалися:

1. Зв’язкова лабільність: конституційна гіпермобільність суглобів трактувалася як первинна та непереборна причина сплощення склепіння стопи під дією гравітаційного навантаження.

2. Анатомічна детермінованість: основний клінічний акцент робився на статичній конфігурації кісткових структур та кутових аномаліях (зокрема, куті нахилу п’яткової кістки), що розглядалися як незмінні морфологічні константи.

3. Пасивна стратегія корекції: терапевтична логіка базувалася на принципі «зовнішнього ортезування» функції через використання жорсткого ортопедичного взуття або високих супінаторів. Такі ортези виконували роль статичного каркаса, що штучно підтримував медіальну дугу. Проте сучасні систематичні огляди [18, 20] вказують на відсутність переконливих доказів того, що така пасивна підтримка здатна змінити природну історію розвитку стопи або забезпечити довгострокову структурну корекцію.

З позиції сучасного клінічного мислення, такий підхід спричиняв «вимкнення» пропріоцептивної сигналізації та призводив до сенсорної

депривації. Ігнорування динамічної стабілізуючої ролі м’язового апарату та формування функціональної атрофії внутрішніх м’язів стопи часто ставали причиною вторинної слабкості опорно-рухового апарату та відсутності сталого терапевтичного ефекту після припинення використання ортопедичних засобів.

На противагу статичному підходу, сучасна реабілітаційна модель розглядає плоско-вальгусну деформацію (ПВД) як динамічну дисфункцію, що базується на дефіциті нейром’язового контролю [21-23]. Ключовими елементами цієї парадигми є:

1. Функціональна недостатність системи «Foot Core»: стабільність медіальної дуги залежить не стільки від міцності зв’язок, скільки від здатності внутрішніх м’язів стопи вчасно динамічно регулювати жорсткість стопи. Слабкість цієї активної підсистеми призводить до того, що стопа залишається в стані «м’якої адаптації» протягом усього циклу кроку, не переходячи у фазу необхідної ригідності для ефективного відштовхування [9].

2. Дефіцит аферентної сигналізації та сенсомоторна дезорганізація: ПВД часто корелює з порушенням пропріоцепції. Якщо мозок отримує викривлену або недостатню інформацію від механорецепторів підошви, він не здатний вибудувати адекватну еферентну відповідь для стабілізації не лише стопи, а й усього висхідного кінематичного ланцюга [24]. Системні огляди підтверджують, що саме пропріоцептивне тренування є критичним фактором відновлення моторної ефективності при подібних дисфункціях [25].

3. Нейропластичність та перенавчання ходи: у підлітковому віці (10-13 років) руховий стереотип зберігає високу пластичність. Використання технік пропріоцептивного нейром’язового полегшення (PNF) та методів перенавчання ходи дозволяє «перепрограмувати» центральну нервову систему на утримання коректної співвісності суглобів під навантаженням [26].

4. Сенсорне збагачення як антитеза депривації: замість обмеження рухливості жорстким взуттям, сучасний підхід передбачає активну стимуляцію плантарної поверхні (сенсорні поверхні, вправи босоніж), що є необхідною

умовою для «дозрівання» сенсомоторного контролю в педіатричній практиці [27].

Таким чином, зміна наукового фокуса з «підтримки форми» на «відновлення нейромоторної стратегії» обґрунтовує доцільність переходу до активних методів фізичної терапії. У віці 10-13 років це дозволяє не лише скорегувати локальну установку стоп, а й запобігти формуванню стійких патологічних компенсацій у проксимальних сегментах (колінних та кульшових суглобах), забезпечуючи сталий та енергоефективний патерн руху.

Саме в цей період еволюція наукових поглядів від «механічних» до «нейромоторних» набуває критичного практичного значення. У віковій категорії 10-13 років завершується активне морфологічне становлення скелета стопи, що робить традиційну тактику ізольованого використання пасивних ортезів (устілок) малоефективною для досягнення сталого результату [28].

Згідно з сучасними концепціями [29], ігнорування динамічного компонента в цьому віці створює ризик трансформації гнучкої плоско-вальгусної деформації у прогресуючу колапсуючу деформацію стопи (progressive collapsing foot deformity, PCFD), притаманну дорослій популяції [30, 31]. Терапевтичний успіх у підлітків детермінований не стільки пасивною підтримкою склепіння, скільки якістю нейромоторної активації – здатністю центральної нервової системи та м’язового апарату коректно контролювати положення стопи під час локомоцій.

Динамічний аналіз ходи [32] розкриває глибокі біомеханічні інсайти, що підтверджують: ПВД у дітей суттєво спотворює кінематику нижніх кінцівок та просторово-часові параметри кроку [16]. Це вказує на те, що проблема лежить у площині порушеного рухового контролю, а не лише в анатомічному сплощенні. Оскільки у віці 10-13 років завершуються процеси осифікації, виникає «останнє терапевтичне вікно», коли через вправи для внутрішніх м’язів стопи та стимуляцію пропріоцепції ще можливо змінити руховий стереотип до його повної фіксації.

Таким чином, перехід від стратегії «підтримки форми» до «відновлення функції» обґрунтовує розробку персоналізованих програм, де пропріоцептивне перенавчання та активна стабілізація виступають базовими інструментами корекції. Це дозволяє не просто «вирівняти» стопу, а інтегрувати її як функціональну опору в загальну кінематику тіла, забезпечуючи сталий реабілітаційний ефект.

### 1.3. Сучасна концепція «Foot Core System»: роль внутрішніх м’язів стопи в активній стабілізації склепіння

Сучасна біомеханічна парадигма розглядає стопу не як пасивну ресорну структуру, а як складну інтегровану систему, функціонально аналогічну м’язам «кору» тулуба. Концепція «Foot Core System», запропонована рядом дослідників [33], вводить нову парадигму розуміння стабільності стопи через синергію трьох взаємозалежних підсистем:

- пасивна підсистема: охоплює кісткову архітектуру склепінь, суглобові капсули та зв’язковий апарат (зокрема плантарну фасцію), що забезпечують структурну цілісність;
- активна підсистема: складається з внутрішніх м’язів, що починаються та закінчуються на стопі, та зовнішніх м’язів, які переходять на стопу з гомілки;
- нейронна підсистема: представлена сенсорними рецепторами підошви та нейронними шляхами, що здійснюють збір пропріоцептивної інформації та моделюють еферентну м’язову відповідь.

Хоча кожна з цих підсистем має власну анатомічну основу, їхня реальна ефективність залежить від динамічного розподілу навантаження під час руху. Тривалий час у клінічній практиці панувало переконання, що підтримка медіальної поздовжньої дуги під час локомоцій забезпечується переважно

пасивним механізмом лебідки (рис. 1.3.1) – натягом плантарної фасції при розгинанні пальців [34].

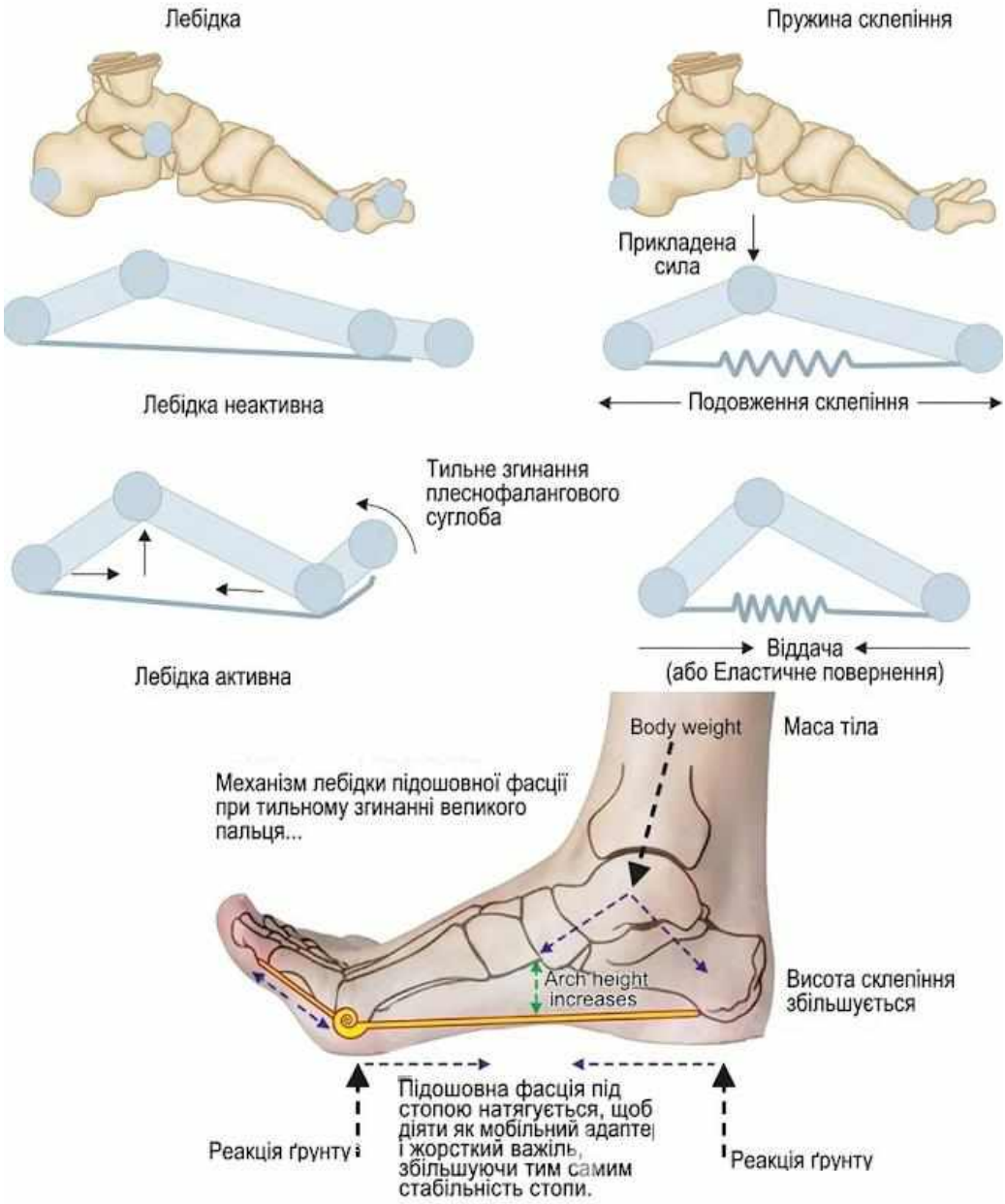



**Рис. 1.3.1. Механізм лебідки: натяг підошовної фасції при тильному згинанні великого пальця, що забезпечує пасивну стабілізацію склепіння [35]**

Проте новітні дослідження кардинально змінюють цей погляд на користь активного компонента, де ключова роль відводиться внутрішнім м’язам стопи (Intrinsic Foot Muscles, IFM). На відміну від зовнішніх м’язів, що беруть початок на гомілці, IFM мають унікальну анатомічну особливість: вони починаються та

закінчуються в межах самої стопи. Це дозволяє їм здійснювати «тонке» налаштування її положення, забезпечуючи стабілізацію та пропріоцептивний контроль через високу концентрацію рецепторів, що інформують мозок про тиск і характер поверхні.

Внесок IFM (зокрема m. abductor hallucis та m. flexor digitorum brevis) у біомеханіку ходи реалізується через наступні механізми:

1. Ефект активної ригідності: у фазі відштовхування стопа має трансформуватися у «ригідний важіль». Farris et al. [36] довели, що цей перехід детермінований саме активним скороченням IFM, а не лише пасивним натягом плантарної фасції. Дефіцит активації внутрішніх м'язів призводить до збереження «м'якої адаптивної» конфігурації стопи у фазі опори, що спричиняє функціональне перевантаження пасивних стабілізаторів та швидку втому.

2. Динамічна підтримка та енергоефективність: IFM, зокрема *m. abductor hallucis*, діють як функціональні активні «затяжки» дуги, динамічно регулюючи її жорсткість залежно від фази кроку. Kelly et al. [37] продемонстрували, що ці м'язи працюють подібно до «пружин»: вони накопичують енергію під час приземлення та повертають її під час відштовхування, що є ключовим чинником енергоефективної ходи [38].

3. Кінематичне спряження (ланцюгова взаємодія) суглобів стопи: сучасне моделювання підтверджує, що активність коротких м'язів забезпечує стабільність не лише дистальних суглобів стопи, а й коректну ротацію гомілки, запобігаючи патологічним вальгусним девіаціям у висхідному кінематичному ланцюзі [39, 40].

Однак здатність IFM реалізувати ці життєво важливі механізми стабілізації критично залежить від наявності функціонального запиту на їх скорочення. У клінічній практиці цей запит часто нівелюється некоректною стратегією реабілітації. Для фахівця ключовим є розуміння ризиків тривалої пасивної підтримки без супутньої активації м'язів, що призводить до виникнення феномену «м'язової ліні». Призначення жорстких ортопедичних устілок як монотерапії при ПВД у підлітків може провокувати наступні негативні стани:

- Сенсорна депривація: штучна підтримка склепіння знижує аферентну стимуляцію плантарних рецепторів, що веде до пригнічення нейромоторної активації активної підсистеми [41].
- Функціональна атрофія: пасивне утримання дуги нівелює необхідність скорочення м’язів першого шару. Дані кількісної ультрасонографії [42] підтверджують пряму кореляцію між дефіцитом навантаження та зменшенням товщини м’язового черевця *m. abductor hallucis*.
- Формування ортопедичної залежності: після припинення використання ортезів стопа демонструє ще більшу нестабільність через деградацію власної активної підсистеми, яка втратила навичку динамічного контролю.

Визнання цих ризиків диктує необхідність перегляду стандартних протоколів реабілітації, особливо в критичні періоди онтогенезу. Якщо для дорослих пацієнтів із ригідними деформаціями устілки можуть залишатися засобом паліативної допомоги, то для педіатричної групи такий підхід є контрпродуктивним. Це зумовлює особливе клінічне обґрунтування та стратегію фізичної терапії у віці 10-13 років.

Підлітковий вік розглядається як «останнє терапевтичне вікно» для цілеспрямованого впливу на розвиток нейромоторного контролю. Саме в цей період, до повного завершення осифікації скелета та остаточного закріплення патологічних рухових патернів, ми маємо можливість замінити зовнішню пасивну підтримку на внутрішню активну стабілізацію. Концепція «Freeing the foot» у реабілітації ПВД передбачає:

- діагностику функціональної спроможності: оцінка не лише морфології (плантографія), а й здатності дитини до ізольованої вольової активації IFM (наприклад, через тест «Коротка стопа»);
- нейром’язову активацію: пріоритетне впровадження вправ на стимуляцію пропріоцепції та зміцнення «основи» стопи як базового інструменту корекції;

- біомеханічне моделювання: врахування складної взаємодії між активним та пасивним компонентами для створення персоналізованих програм втручання [43, 44].

Таким чином, розуміння стопи як динамічної системи *Foot Core* обґрунтовує неефективність пасивної корекції без відновлення активної стабілізації. Метою фізичної терапії має бути трансформація стопи з пасивного опорного майданчика на активний, адаптивний пропріоцептивний орган, що забезпечує сталий реабілітаційний ефект у довгостроковій перспективі.

## 1.4. Аналіз існуючих підходів до фізичної терапії плоско-вальгусної деформації стоп: переваги та обмеження

Історично фізична терапія плоско-вальгусної деформації (ПВД) у педіатричній практиці базувалася на структурному підході, де основною метою було механічне підтримання висоти склепіння. Традиційна модель реабілітації протягом десятиліть розглядала стопу як пасивну структуру, що потребує зовнішньої підтримки або неспецифічного зміцнення м’язів-згиначів гомілки [45].

Так, класичні протоколи традиційного комплексу терапевтичних вправ, зазвичай включали вправи на маніпуляцію дрібними предметами (збирання олівців, хустинок пальцями ніг), перекочування гімнастичних палиць та м’ячиків, а також ходьбу на зовнішніх краях стоп [46, 47]. Механізм дії таких вправ був спрямований переважно на зовнішні м’язи гомілки, зокрема довгий згинач пальців та довгий згинач великого пальця. Згідно даних літератури [48], систематичне виконання загальнозміцнюючих вправ сприяє покращенню трофіки тканин та мобільності суглобів стопи. Традиційні вправи на розтягнення задньої групи м’язів гомілки також визнаються ефективними для усунення контрактури ахіллового сухожилля, що часто супроводжує ПВД [49].

Проте, попри візуальну спрямованість на корекцію склепіння, класичні методики мають суттєві біомеханічні та функціональні обмеження, що підтверджується сучасними мета-аналізами. Ключова проблема традиційного КТВ полягає у низькій селективності впливу: інтенсивне згинання пальців («кігтеподібне» положення) під час збирання предметів активує переважно зовнішні м’язи гомілки, що може суттєво пригнічувати активність внутрішніх стабілізаторів стопи (IFM) та посилювати нестабільність плесно-фалангових суглобів [18, 50].

Систематичний огляд Evans та Rome [18], що аналізує нехірургічні втручання при гнучкій плоскостопості у дітей, вказує на обмежену та суперечливу доказову базу ефективності лише фізичних вправ без урахування нейромоторного контролю. Аналогічно, Soltani et al. [51] наголошують, що ізольоване зміцнення м’язів-згиначів часто не забезпечує стійкої корекції динамічної функції стопи під час локомоцій, оскільки не формує навички активної стабілізації медіальної дуги в момент навантаження.

Тривалий час використання індивідуальних ортопедичних устілок (ортезів) вважалося «золотим стандартом» корекції ПВД, оскільки вони дозволяють ефективно контролювати надмірну пронацію та мінімізувати больовий синдром. Проте сучасні біомеханічні дослідження ставлять під сумнів довгострокову ефективність ізольованого ортезування. Хоча устілки тимчасово компенсують морфологічну висоту склепіння, вони не вирішують першопричину патології – функціональну недостатність м’язового апарату. Більше того, ряд дослідників (Murley et al.) зазначають, що ортези хоча і змінюють патерн м’язової активності, проте не завжди наближають його до фізіологічної норми. Надмірна пасивна підтримка може призводити до явища «м’язової ліні» та поступової атрофії внутрішніх м’язів стопи, оскільки вони втрачають необхідний стимул до активної стабілізації склепіння [52, 53]. Така деградація активної підсистеми стабілізації не лише гальмує процес відновлення, а й робить пацієнта функціонально залежним від постійної зовнішньої опори.

Отже, обмеженість традиційних методів, що базуються на пасивній компенсації та неспецифічному зміцненні гомілки, диктує потребу в перегляді вектора терапевтичного втручання. Незважаючи на певну користь загальнозміцнюючих вправ та ортезування, останні дані (Soltani et al., 2024) вказують на те, що ці методи не забезпечують стійкої корекції динамічної функції стопи у дітей. Традиційні підходи фокусуються на наслідках (опущення склепіння), ігноруючи першопричину – дефіцит нейром'язової стабілізації системи Foot Core.

Клінічно доведено, що ізольоване зміцнення зовнішніх м'язів гомілки є менш ефективним, ніж програми, що ставлять у пріоритет активацію внутрішніх м'язів (IFM-first) [54]. Це зумовлює перехід до нової парадигми фізичної терапії, яка базується на функціональній інтеграції стопи у глобальні кінематичні ланцюги. Замість пасивного підтримання структури, сучасна стратегія спрямована на відновлення активної ригідності стопи через специфічні вправи та тренування динамічного балансу, що дозволяє стопі функціонувати як адаптивний, але стабільний пропріоцептивний орган [33]. Додатковим підтвердженням функціонального дефіциту при ПВД є дані Kobayashi et al. (2024), які вказують на суттєві відмінності у механічних характеристиках внутрішніх м'язів стопи. Зокрема, під навантаженням у осіб із плоскостопістю спостерігається недостатня жорсткість активних стабілізаторів, що не може бути повністю компенсовано роботою зовнішніх м'язів гомілки [55]. Це ще раз підкреслює необхідність таргетованого тренування саме внутрішньої м'язової групи для відновлення динамічної стабільності склепіння

Сучасна стратегія фізичної терапії базується на фундаментальній зміні клінічного мислення: перехід від спроб механічного виправлення структури до відновлення функціональної інтеграції стопи. Нова парадигма розглядає внутрішні м'язи стопи (IFM) не просто як джерело сили, а як ключовий динамічний сенсомоторний вузол нижньої кінцівки [56, 57].

Практичне втілення цієї парадигми вимагає застосування специфічних вправ, що здатні ізольовано впливати на глибокі м'язові шари, серед яких

найбільш доказовою є еволюційна методика «Коротка стопа» (Short Foot Exercise, SFE). На відміну від традиційного згинання пальців, SFE забезпечує ізольовану активацію IFM, що підтверджується даними електроміографії [58] та сучасними мета-аналізами [59, 60]. Така цілеспрямована стимуляція «основи» стопи трансформується у стійкі адаптаційні ефекти, які охоплюють як анатомічні параметри, так і біомеханічну ефективність нижньої кінцівки.

Так, систематичні огляди Cheng et al. (2024) та Huang et al. (2022) демонструють, що регулярне виконання SFE запускає каскад позитивних морфологічних змін [61, 62]. Механізм впливу базується на інтенсивній активації та подальшій гіпертрофії m. abductor hallucis, який анатомічно функціонує як активна «затяжка» медіальної дуги. Під час скорочення цей м’яз створює вектор сили, що зближує головку першої плеснової кістки з п’ятковим бугром, що призводить до механічного підняття човникоподібної кістки (рис. 1.4.1). Це не лише візуально робить стопу коротшою та вищою, а й збільшує площу поперечного перерізу м’язів першого шару. Така м’язова гіпертрофія формує динамічно стабільний «фундамент», який здатний протистояти гравітаційному навантаженню у фазі опори, нівелюючи потребу у постійній зовнішній фіксації.

Клінічно важливо розрізняти цей процес від пасивного «механізму лебідки». У той час як лебідка забезпечує підняття склепіння лише за рахунок пасивного натягу плантарної фасції при розгинанні пальців, активація IFM через вправу «Коротка стопа» створює активну ригідність стопи ще до моменту повного перекату. Це означає, що м’язи готують стопу до навантаження заздалегідь, «замикаючи» суглоби заплесна та піднімаючи човникоподібну кістку власним зусиллям. Така синергія активної підсистеми з пасивними структурами дозволяє не лише підтримувати морфологію стопи, а й значно знижувати напруження на саму плантарну фасцію, запобігаючи її хронічному перевантаженню та мікротравматизації [50]

**Рис. 1.4.1. Порівняльна характеристика вправ для зміцнення стопи [63]**

Таким чином, SFE виступає не просто як вправа для зміцнення, а як механізм перепрограмування стопи на рівні нейро м’язової відповіді, що є критичним для пацієнтів із гнучкою плоскостопістю.

Ряд науковців також наголошують на доцільності комбінованого підходу у терапії ПВД: дослідження Elsayed et al. (2023) підкреслює, що поєднання SFE з ортезуванням дає значно вищий терапевтичний ефект при симптоматичній гнучкій плоскостопості, ніж використання лише устілок [64]. Це свідчить про те, що устілка може бути тимчасовим «корсетним» засобом, але саме SFE забезпечує стійку динамічну підтримку [65].

Також нова парадигма висуває на перший план тренування балансу як інструмент відновлення нейро м’язового контролю. Адже саме в умовах динамічної нестабільності внутрішні м’язи стопи переходять від ізольованого скорочення до своєї основної функції – оперативного реагування на зміну положення центру маси тіла. Ефективність такого підходу підтверджується сучасними клінічними даними щодо нейромоторної стабільності. Зокрема, Moon та Jung (2021) довели, що інтеграція SFE у програми реабілітації на баланс суттєво покращує статику та координацію у пацієнтів із плоскостопістю [66]. Це узгоджується з результатами Suzuki et al. (2024), які вказують на покращення

моторного контролю всієї нижньої кінцівки під час стояння на одній нозі після курсу специфічних тренувань «основи» стопи [67].

Інші дослідники акцентують увагу на тому, що патологічна постава стопи безпосередньо корелює з дефіцитом пропріоцепції в гомілковостопному та колінному суглобах. Впровадження таргетованих вправ не лише змінює паттерни тиску на стопу, а й покращує загальну функціональну мобільність нижньої кінцівки [68, 68].

Проте ефективність цих вправ та адекватність пропріоцептивної відповіді критично залежать від стану м'якотканинних структур, які часто зазнають адаптивного вкорочення при тривалій деформації. З огляду на це слід звернути увагу на міофасціальний реліз та допоміжні технології у фізичній терапії.

Сучасне планування втручань також враховує роль м'яких тканин та ланцюгову взаємодію: дослідження Bac et al. (2022) підтверджує, що міофасціальний реліз дозволяє зменшити больовий синдром та відновити еластичність тканин, створюючи необхідні умови для подальшої активної корекції [70]. Використання нейром'язової електростимуляції (NMES) разом із SFE, як показано в роботах Namsawang et al. (2019) та Patil et al. (2023), прискорює відновлення висоти склепіння, особливо на ранніх етапах реабілітації [71, 72].

Таким чином, можна із впевненістю сказати, що світовий досвід (дослідження Viseux, Kelly, McKeon та ін.) однозначно вказує на те, що золотим стандартом сучасної фізичної терапії є комплексне поєднання нейром'язової активації (SFE), баланс-тренінгу та корекції пропріоцепції. Такий підхід дозволяє трансформувати стопу з пасивної опори на активний фундамент кінематичного ланцюга [50, 73]. Аналіз існуючих підходів свідчить про зміну пріоритетів у фізичній терапії ПВД (табл. 1.4.1): від пасивної механічної підтримки до активного нейром'язового перенавчання. Найбільш ефективною стратегією визнається комбінований підхід, де короткострокове використання ортезів поєднується з інтенсивним тренуванням системи Foot Core (SFE) та пропріоцептивним баланс-тренінгом. Це дозволяє не лише скоригувати

положення човникоподібної кістки, а й забезпечити стійку функціональну стабільність кінематичного ланцюга дитини.

Таблиця 1.4.1 – Порівняльна характеристика підходів до фізичної терапії ПВД

| Критерій порівняння | Традиційний підхід (КТВ та устілки) | Сучасна парадигма (Foot Core & SFE) |
|---|---|---|
| Основна мета | Пасивна підтримка склепіння та загальне зміцнення гомілки. | Відновлення активної стабілізації та нейром'язового контролю. |
| Ключові вправи | Збирання предметів пальцями, ходьба на краях стоп, розтяжка ахілла. | Вправа «Коротка стопа» (SFE), тренування балансу на нестабільних платформах. |
| Об'єкт впливу | Зовнішні м'язи гомілки та плантарна фасція. | Внутрішні м'язи стопи, зокрема *m. abductor hallucis*. |
| Біомеханічний ефект | Тимчасова корекція висоти склепіння за рахунок зовнішньої опори. | Гіпертрофія м'язів та активне підняття **човникоподібної кістки**. |
| Роль нейросистеми | Мінімальна; фокус на механічному повторенні рухів. | Максимальна; тренування пропріоцепції та сенсомоторна адаптація. |
| Ризики та обмеження | Розвиток «м'язової ліні», атрофія IFM, залежність від ортезів. | Потребує суворого дотримання техніки та високої концентрації пацієнта. |
| Доказова база | Суперечлива; низька стійкість результатів у динаміці. | Висока; підтверджена EMG-дослідженнями та МРТ-морфометрією. |

Проте формування «активного фундаменту» через вправи SFE є лише початковим етапом корекції. Для того щоб нова висота склепіння та стабільність суглобів інтегрувалися у повсякденну локомоцію, необхідна реорганізація самої програми керування рухом у центральній нервовій системі. Це переносить фокус реабілітації з локального зміцнення м'язів на системне сенсомоторне перенавчання, що є особливо актуальним у період інтенсивного підліткового росту.

## 1.5. Нейропластичність та сенсомоторне перенавчання як стратегічні напрямки реабілітації в підлітковому віці

Сучасна концепція фізичної терапії підлітків із плоско-вальгусною деформацією (ПВД) базується на розумінні стопи як активного сенсорного органу. У період інтенсивного росту відбувається дисоціація між розвитком опорно-рухового апарату та здатністю центральної нервової системи (ЦНС) адаптуватися до нових біомеханічних параметрів тіла. Це зумовлює необхідність застосування стратегій, спрямованих на нейропластичність та оптимізацію сенсомоторного контролю.

Така десинхронізація спричиняє втрату здатності ЦНС до адекватної інтерпретації сигналів від пропріоцепторів стопи, змушуючи організм шукати компенсаторні механізми стабілізації. Ключем до розв'язання цієї проблеми є динамічне коригування пріоритетності сенсорних систем — процес, відомий у нейрофізіології як «сенсорне перезважування» (sensory reweighting).

Фундаментальною основою для використання нестабільного обладнання у реабілітації є механізм сенсорного перезважування [74]. Згідно з цією теорією, постуральний контроль людини залежить від інтеграції трьох основних потоків інформації: зорового, вестибулярного та соматосенсорного (пропріоцептивного). У пацієнтів із ПВД часто спостерігається патологічна «візуальна залежність» або надмірне покладання на вестибулярний апарат через викривлення пропріоцептивного сигналу від деформованої стопи.

Як зазначають Mahboobin et al., ЦНС здатна динамічно змінювати «вагу» (пріоритетність) кожного сенсорного входу залежно від умов навколишнього середовища [75]. Це підтверджує визначення Assländer & Peterka (2014), згідно з яким сенсорне перезважування – це здатність мозку ігнорувати недостовірну інформацію та посилювати зчитування сигналів від найбільш релевантних на даний момент рецепторів.

Практична реалізація цього нейрофізіологічного механізму в процесі реабілітації підлітків із ПВД досягається шляхом створення дозованого

«сенсорного конфлікту» за допомогою нестабільних опор. Використання напівсферичних платформ (Bosu) та малогабаритних стимуляторів («кнопок балансу») дозволяє трансформувати статичну вправу на динамічний процес нейром'язової адаптації. Ключовим чинником цієї трансформації є зміна характеру аферентації: замість прогнозованої підтримки від стабільної підлоги, нервова система отримує безперервний потік непередбачуваних стимулів, що запускає каскад наступних реакцій.

Першим етапом такої адаптації є створення мультисенсорної перетурбації. Робота на нестабільній поверхні Bosu позбавляє стопу звичної жорсткої опори. Це змушує ЦНС миттєво знижувати «вагу» вестибулярних сигналів та перемикатися на інтенсивне зчитування інформації від механорецепторів підошви [76]. Зміна пріоритетності сенсорних потоків детермінує негайну рухову відповідь, перемикаючи систему керування з пасивного утримання рівноваги на активну гомілковостопну стратегію балансу. Постійна зміна кута нахилу поверхні активує глибокі м'язи-стабілізатори, які в умовах плоскої підлоги залишаються інертними. Це прискорює формування «м'язового корсета» навколо надп'ятково-гомілкового суглоба, що дозволяє підлітку ефективно стабілізувати стопу в динаміці, не залучаючи компенсаторні рухи вищерозміщених сегментів (коліна та тазу).

Водночас для повноцінної сенсомоторної інтеграції недостатньо лише м'язової відповіді великих груп – необхідно активувати аферентний потік безпосередньо від підошовної поверхні стопи. Ця задача вирішується шляхом мікростимуляції механорецепторів шкіри за допомогою «кнопок балансу». На відміну від великих платформ, ці локальні напівсферичні стимулятори забезпечують точковий вплив на підошву, активуючи специфічні шкірні рецептори: тільця Пачіні (чутливі до швидких змін тиску) та тільця Руффіні (реагують на розтягнення шкіри) [77, 78].

Клінічні ефекти застосування «кнопок балансу» включають:

1. Оптимізація пропріоцептивного Gain-контролю: точкова стимуляція суттєво підвищує чутливість рецепторного поля, роблячи «карту контакту» з

поверхнею в соматосенсорній корі головного мозку більш чіткою та деталізованою. Згідно з концепцією сенсорного перезважування, це «прояснює» для ЦНС актуальне положення стопи в просторі, знижуючи похибку при стабілізації пози [79].

2. Рефлекторна підтримка та формування активної арки: розташування стимуляторів під функціонально важливими точками створює сенсорний стимул для рефлекторного підняття медіальної дуги. Це дозволяє закріпити навичку вправи «Коротка стопа» (SFE) на підсвідомому рівні, інтегруючи її в складні координаційні завдання та локомоції.

Як бачимо, інтеграція нестабільного обладнання у протокол реабілітації дозволяє одночасно впливати як на «виконавчі органи» (м'язи-стабілізатори), так і на «систему зчитування» (механорецептори). Така синергія Bosu та «кнопок балансу» забезпечує відновлення коректної ієрархії сенсорних систем та комплексний нейромоторний контроль. У результаті відбувається перехід від свідомого контролю кожного руху до автоматизованого, біомеханічно правильного патерна ходьби, що є кінцевою метою терапії підлітків із ПВД.

Таким чином, підлітковий вік є унікальним «вікном можливостей» для корекції плоско-вальгусної деформації не лише на морфологічному, а й на нейрофізіологічному рівнях. Висока пластичність центральної нервової системи в цей період дозволяє ефективно перебудувати ієрархію сенсорних систем, що була порушена внаслідок дисоціації між стрімким ростом скелета та адаптацією м'язового контролю.

Використання стратегій сенсорного перезважування (sensory reweighting) за допомогою нестабільного обладнання дозволяє вийти за межі простого механічного зміцнення м'язів. Комбінований вплив великих амплітуд (платформи Bosu) та точкової мікростимуляції («кнопки балансу») забезпечує:

- Навчання «командного центру»: мозок вчиться пріоритезувати сигнали від стопи над візуальною інформацією, що є критичним для стабільності в реальних умовах руху;

- Автоматизацію навичок: перехід від свідомої вправи «Коротка стопа» до рефлекторного утримання склепіння під час динамічних навантажень;
- Довгостроковий результат: сформовані нейронні зв’язки та оновлена «схема тіла» в соматосенсорній корі забезпечують стійкість корекції навіть після завершення активної фази реабілітації.

Отже, нейромоторне перенавчання на основі пропріоцептивної стимуляції має бути інтегральною частиною сучасних протоколів фізичної терапії ПВД, трансформуючи стопу з пасивного сегмента опори на активний та чутливий фундамент усього кінематичного ланцюга нижньої кінцівки.

## Висновки до Розділу 1

Аналіз науково-теоретичних джерел дозволяє стверджувати, що підлітковий вік (10-13 років) є стратегічно важливим етапом у формуванні статокінетичної стійкості, оскільки саме в цей період завершується активна осифікація скелета стопи, трансформуючи її з гнучкого амортизатора на жорсткий важіль для локомоції. Така морфологічна перебудова створює унікальне «терапевтичне вікно» для корекції плоско-вальгусної деформації (ПВД), яка, за відсутності вчасного втручання, виступає тригером патобіомеханічного каскаду, що дестабілізує весь висхідний кінематичний ланцюг – від гомілки до тазу та постави в цілому.

Розуміння системності цих порушень зумовило еволюцію реабілітаційних підходів: від пасивної механічної підтримки склепіння ортезами до сучасної нейром’язової моделі «Foot Core System». Доведено, що традиційні методи КТВ, орієнтовані на зовнішні м’язи гомілки, не забезпечують стабільної корекції, тоді як пріоритетним напрямком стає активація внутрішніх м’язів стопи через вправу «Коротка стопа» (SFE).

Однак механічне зміцнення м’язового волокна є лише базовим етапом, який вимагає подальшої інтеграції в систему центрального керування рухом. Це

переносить фокус фізичної терапії на механізми нейропластичності та стратегію сенсорного перезважування. Використання нестабільного обладнання, такого як платформи Bosu та «кнопки балансу», дозволяє створити керований сенсорний конфлікт, який змушує мозок підлітка ставити пріорітети щодо пропріоцептивних сигналів від стопи над візуальною інформацією.

У результаті такої комплексної стимуляції відбувається перехід від свідомого контролю кожного кроку до автоматизованого, біомеханічно правильного патерну ходьби. Таким чином, поєднання біомеханічної корекції архітектури стопи з нейромоторним перенавчанням є найбільш обґрунтованим шляхом до досягнення стійкого функціонального результату в реабілітації дітей із ПВД.

# РОЗДІЛ 2
# МЕТОДИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 2.1. Методи дослідження

Для досягнення мети та виконання поставлених завдань у роботі було застосовано комплекс взаємодоповнюючих методів дослідження, що охоплюють теоретичний, клінічний та статистичний рівні аналізу.

1. Аналіз та узагальнення доказово-інформативної наукової бази. Даний метод було використано для формування концептуального підґрунтя дослідження, вивчення еволюції поглядів на біомеханіку стопи та систематизації сучасних світових тенденцій у фізичній терапії дітей та підлітків із вальгусною деформацією нижніх кінцівок. Особлива увага приділялася верифікації концепції «foot core system» як ключового елемента активної стабілізації медіального поздовжнього склепіння.

Для забезпечення високої якості та релевантності відібраного матеріалу, науковий пошук здійснювався за міжнародним форматом PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcome):

P (Population): діти та підлітки (10-13 років) із гнучкою плоско-вальгусною деформацією стоп;

I (Intervention): нейромоторна активація, вправи на «коротку стопу» (SFE), сенсомоторне тренування, тактильна стимуляція підошви;

C (Comparison): традиційна лікувальна фізкультура, пасивна ортезотерапія (устілки), відсутність втручання;

O (Outcome): покращення морфологічних показників (FPI-6, MLAA), підвищення постуральної стабільності (Y-test), зменшення больового синдрому та покращення якості життя (FFI).

Пошук проводився у провідних наукометричних базах: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Google Scholar, Cochrane Library,

PEDro. Стратегія пошуку базувалася на використанні наступних ключових термінів та словосполучень (англійською та українською мовами): «foot core system» (система «опори» стопи); «short foot exercise» (вправа «коротка стопа»); «pediatric flexible flatfoot rehabilitation» (реабілітація гнучкої плоскостопості у дітей); «sensory reweighting in balance control» (сенсорне перезважування/перенавчання у контролі балансу та рівноваги); «intrinsic foot muscles activation» (активація внутрішніх м'язів стопи); «neuromuscular control and postural stability» (нейром'язовий контроль та постуральна стабільність); «tactile stimulation of the sole» (тактильна стимуляція підошви).

Аналітичне опрацювання знайдених джерел дозволило обґрунтувати перехід від механістичної моделі корекції стопи до нейрофізіологічної, що базується на нейропластичності та вдосконаленні аферентної сигналізації від механорецепторів підошовної поверхні

2. Опитування та збір анамнезу (бесіда). Проводилося з метою з'ясування скарг пацієнта, особливостей перебігу захворювання, наявності больового синдрому при навантаженнях та виявлення факторів, що впливають на стан опорно-рухового апарату (рівень фізичної активності, режим носіння взуття).

Для стандартизації процесу первинного обстеження та збору анамнезу в умовах реабілітаційного відділення (зокрема для КНП «МБКЛМД Руднєва» ДМР), нами було розроблено та впроваджено використання уніфікованого Бланку первинного опитування пацієнта з патологією стопи (вальгусна деформація) (табл. 2.1.1). Цей документ розроблений таким чином, щоб враховувати не лише механічні скарги, а й нейромоторні та сенсорні аспекти, що були критично важливі для нашого дослідження.

Функціональний діагноз та оцінка обмежень життєдіяльності пацієнта проводилися з опорою на Міжнародну класифікацію функціонування (МКФ). Вибір категорій та їх дефініції базувалися на офіційному українському перекладі (ICF Browser, 2024) [80], що забезпечило уніфікацію термінології при описі

порушень структури стопи (s7502), функцій контролю рухів (b7601) та обмежень активності в локомоціях (d4501, d4552).

Таблиця 2.2.1 - БЛАНК ПЕРВИННОГО ОПИТУВАННЯ ТА ЗБОРУ АНАМНЕЗУ (ФІЗИЧНА ТЕРАПІЯ)

**База дослідження:** КНП «МБКЛМД Руднєва» ДМР
**Дата:** «__» _____ *20___* р. | **ФТ:** _____
*I. ЗАГАЛЬНІ ДАНІ ПАЦІЄНТА*
**ПІБ:** _____
**Вік:** _____ | **Стать:** □ Ч □ Ж | **Вага (кг):** _____ | **Зріст (см):** _____
**Діагноз (МКХ-10):** _____
*II. КЛІНІЧНИЙ ПРОФІЛЬ (СКАРГИ)*
**Локалізація болю:** □ Склепіння □ П’ята □ Гомілка □ Коліно □ Спина
**Характер:** □ Ниючий □ Відчуття втоми □ Гострий □ Відсутній
**Інтенсивність болю (ВАШ 0-10):**
Спокій: ____ | Ходьба (>20 хв): ____ | Після занять спортом: ____
**Час загострення:** □ Ранок □ Вечір □ Після статичного навантаження
*III. СПОСІБ ЖИТТЯ ТА АНАМНЕЗ*
**Фізична активність:** □ Низька □ Середня □ Висока (спорт: _____)
**Взуття:** □ Спортивне □ М’яке (кеди) □ Ортопедичне □ Босоніж (вдома)
**Попереднє лікування:** □ Устілки □ Масаж □ КТВ (традиційна) □ Відсутнє
*IV. СЕНСОМОТОРНИЙ ТА НЕЙРОМОТОРНИЙ ПРОФІЛЬ*
**1. Стан пропріоцепції та моторного планування:**
**Баланс:** □ Стійкий □ Схильність до падінь □ Часто зачіпає предмети («незграбність»)
**Навчання рухів:** □ Швидко засвоює □ Потребує багато повторів □ Складна координація
**2. Тактильна реактивність підошви:**
**Чутливість до текстур:** □ Звичайна □ Уникає ходіння босоніж □ Гіперчутливість (пісок/трава)
**Хода:** □ «Хлюпає» стопою □ Ходить навшпиньках □ «Чіпляється» пальцями за підлогу
**3. Нейром’язовий контроль:**
**Тест Short Foot (SFE)** [81]**:** □ Правильно (активація *m. abductor hallucis*) □ Помилково (згинання пальців/«кігті») □ Відсутня відповідь (не може ініціювати рух)
**М’язовий тонус:** □ Нормотонус □ Гіпотонус □ Гіпертонус
**Сенсорне навантаження:** □ Втрата стабільності при заплющених очах □ Стійка позиція
*V. ПРИМІТКИ ТА «ЧЕРВОНІ ПРАПОРЦІ»*
□ Нічний біль □ Одностороння деформація □ Різке зниження амплітуди рухів
**VI. КАТЕГОРІЙНИЙ ПРОФІЛЬ (за МКФ)**
Шкала оцінювання: 0 - Немає порушень (0-4%); 1 - Легкі порушення (5-24%); 2 - Помірні порушення (25-49%); 3 - Тяжкі порушення (50-95%); 4 - Абсолютні порушення (96-100%).

s7502.___ (структури стопи), b7100.___ (рухливість одного суглоба (оцінка підтаранного та гомілковостопного суглобів), b7601.___ (контроль комплексних довільних рухів (здатність до виконання SFE), b28015.___ (біль у нижній кінцівці (локалізація та інтенсивність), d4154.___ (підтримання положення тіла стоячи (статичний баланс), d4501.___ (ходьба на довгі дистанції (> 1 км, оцінка втоми), d4552.___ (біг (оцінка функціональних можливостей під час гри/спорту), e1151.____ (допоміжні вироби та технології для особистого пересування)

3. Клініко-інструментальні методи обстеження

Вибір методів клініко-інструментального обстеження у даному дослідженні ґрунтувався на принципах доказової медицини, що вимагає використання валідованих, надійних та відтворюваних діагностичних інструментів. Об’єктивізація морфо-функціонального стану стопи у дітей 10-13 років є складним завданням через незавершеність процесів осифікації та лабільність зв’язкового апарату. Тому пріоритет було надано методикам, які дозволяють кількісно оцінити деформацію у трьох площинах, мінімізуючи суб’єктивізм дослідника. Застосування стандартизованих протоколів обстеження забезпечило високу точність вихідних даних та дало змогу коректно порівняти ефективність розробленої програми нейромоторної активації з традиційними підходами. Нижче наведено опис основних діагностичних обстежень, технічні характеристики виконання яких є визначальними для отримання достовірних результатів.

- **Foot Posture Index (FPI-6)**, або Функціональний індекс стоп [82-85] (див. Додаток 1).

Даний метод було обрано як найбільш валідований та клінічно обґрунтований інструмент для багатоплощинного аналізу статичного положення стопи. Згідно з сучасними дослідженнями (Yang J. et al., 2022; Kyung M.G. et al., 2025), FPI-6 демонструє високу міждисциплінарну надійність та корелює з радіографічними показниками, що дозволяє використовувати його як «золотий стандарт» візуальної оцінки постави стопи без потреби у надмірному рентгенологічному навантаженні на дитину.

Оцінка проводилася у положенні дитини стоячи, з рівномірним розподілом ваги тіла на обидві нижні кінцівки. Дитина отримувала інструкцію зробити кілька кроків на місці, після чого зупинитися у звичній для неї позі, зберігаючи нерухомість під час всього циклу оцінювання.

Процедура передбачала бальну оцінку за шістьма анатомічними критеріями, що охоплюють задній, середній та передній відділи стопи:

- пальпація голівки таранної кістки: оцінка конгруентності таранно-човноподібного суглоба (оцінюється ступінь медіального зсуву таранної кістки);
- вигнутість дуг вище та нижче латеральної кісточки: аналіз кривизни латерального профілю для виявлення ознак надмірної пронації;
- позиція п’яткової кістки у фронтальній площині: визначення кута інверсії/еверсії (вальгусного або варусного відхилення);
- випуклість у ділянці таранно-човноподібного суглоба: візуалізація медіального випинання середнього відділу стопи;
- стан медіального поздовжнього склепіння: комплексна оцінка висоти та контуру внутрішньої арки;
- відведення/приведення переднього відділу стопи відносно заднього: оцінка взаємного розташування відділів у поперечній площині (симптом «забагато пальців»).

Кожен параметр оцінювався за шкалою від -2 до +2. Сумарний бал дозволив класифікувати тип стопи пацієнта:

- від 0 до +5 – нейтральна стопа, показник норми;
- від +6 до +9 – пронована стопа;
- понад +10 – виражено пронована (вальгусна) стопа.

Використання FPI-6 дозволило об’єктивізувати не лише лінійне сплощення склепіння, а й складні триплощинні ротаційні компоненти деформації. Крім того, як зазначають Hanifan et al. (2020), стандартизований підхід FPI-6 мінімізує суб’єктивну оцінку фізичного терапевта, що забезпечує точність моніторингу результатів реабілітації в динаміці.

- Визначення кута медіальної поздовжньої дуги (MLAA) [86-90] (див. Додаток 2).

Цей метод клінічної гоніометрії було застосовано як надійний інструмент для кількісної оцінки сагітального профілю стопи та моніторингу динаміки сплощення медіального склепіння під впливом гравітаційного навантаження. Згідно з дослідженнями Zuil-Escobar et al. (2019), MLAA демонструє високу внутрішньодослідницьку надійність та точність при ідентифікації низького склепіння, що робить його критично важливим для оцінки результативності терапевтичних втручань.

Процедура вимірювання проводилася за стандартизованим протоколом (Physiopedia; Balsdon et al., 2016) та включала наступні етапи:

- Ідентифікація та маркування анатомічних орієнтирів: у вихідному положенні дитини стоячи (з рівномірним розподілом ваги) визначалися три ключові точки:

1. центр медіальної кісточки (*malleolus medialis*);
2. найвища точка горбистості човноподібної кістки (*tuberositas ossis navicularis*);
3. центр голівки першої плеснової кістки (*caput ossis metatarsi I*).

- Геометрична побудова та гоніометрія: за допомогою гоніометра вимірювався кут, вершиною якого є човноподібна кістка, а сторонами – лінії, що з'єднують її з медіальною кісточкою та голівкою першої плеснової кістки.
- Клінічна інтерпретація: діапазон кута від 130° до 150° вважається нормою. Збільшення показника MLAA понад 150° трактувалося як ознака зниження медіального склепіння та наявності плоскостопості (Zuil-Escobar et al., 2019).

Важливість даного методу у нашому дослідженні обумовлена тим, що висота медіальної дуги безпосередньо корелює з функціональною спроможністю внутрішніх м'язів стопи. Як зазначають Su et al. (2022), кінематика медіальної дуги суттєво змінюється залежно від умов опори, що підтверджує необхідність активного нейром'язового контролю.

При цьому слід відмітити, що у дітей із надлишковою вагою використання MLAA дозволяє об’єктивно відстежити, наскільки запропонована нейром’язова активація здатна протидіяти гравітаційному сплощенню арки. На відміну від статичного клінічного враження, вимірювання кута забезпечує точну кількісну оцінку динамічних змін, що особливо важливо для пацієнтів із моторними порушеннями (Barr & Caruthers, 2012), дозволяючи порівняти ефективність активної «основи» стопи із пасивною підтримкою ортопедичними устілками.

4. Контрольовані функціональні випробування (тестування):

- **Y-Balance Test (YBT)** [91-96]

Для оцінки динамічної стабільності, нейром’язового контролю та здатності до підтримки рівноваги при виконанні складних рухових завдань було використано Y-Balance Test (YBT). Цей метод є стандартизованим та скороченим варіантом Star Excursion Balance Test (SEBT) та вважається одним із найбільш надійних інструментів для ідентифікації функціональної асиметрії та ризику травматизму нижніх кінцівок (Cordun & Roșu, 2022; Smith et al., 2015). Згідно з дослідженнями Greenberg et al. (2019), YBT демонструє високу стабільність результатів у підлітків, що робить його валідним для використання у даній віковій групі.

Процедура тестування: оцінка проводилася босоніж для виключення впливу взуття на пропріоцепцію підошви. Пацієнт ставав опорною ногою в центр платформи (рис. 2.1.1), а вільною кінцівкою здійснював максимальне витягування у трьох напрямках:

1. Передній (Anterior);
2. Задньо-медіальний (Posteromedial);
3. Задньо-латеральний (Posterolateral).

Під час виконання тесту пацієнт повинен був зберігати стабільність опорної ноги, не торкатися підлоги вільною ногою та не використовувати її як додаткову опору (Physiopedia, 2024). Кожен напрямок виконувався тричі, для аналізу обирався найкращий результат у сантиметрах.

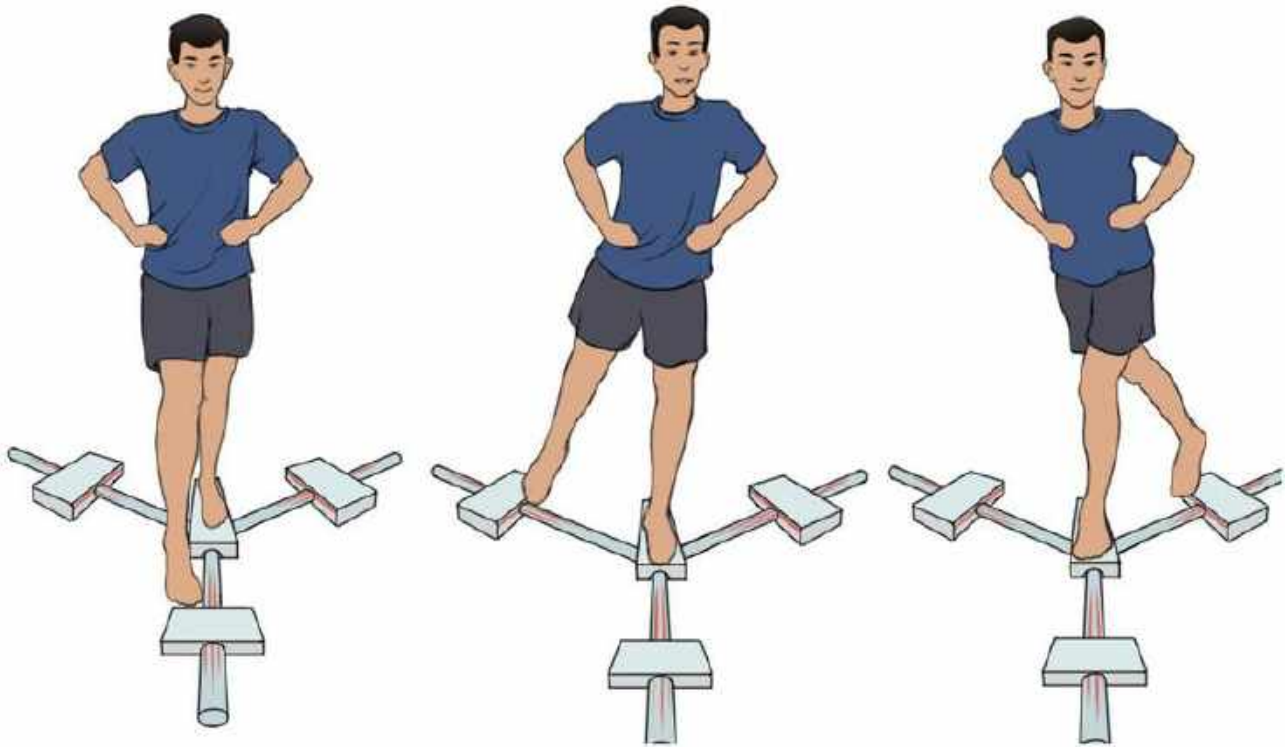


**Рис. 2.1.1. Тест на Y-баланс у передньому (ліва частина), задньо-латеральному (середня частина) та задньо-медіальному (права частина) напрямках витягування** [97]

Оскільки досліджувана група (10-13 років) мала значні антропометричні відмінності, використання абсолютних значень у сантиметрах було б некоректним. Для нівелювання різниці у зрості та довжині кінцівок нами розраховувався композитний бал – інтегральний відносний показник, виражений у відсотках.

Для розрахунку попередньо вимірювалася довжина кінцівки пацієнта від передньої верхньої клубової ості (spina iliaca anterior superior) до медіальної кісточки. Після проведення антропометричного вимірювання довжини кінцівки, процедура передбачала етап ознайомлення, під час якого пацієнт виконував 4 пробні спроби для нівелювання етапу навчання. Заліковий показник фіксувався як середнє арифметичне або найкращий результат із трьох успішних спроб у кожному з трьох напрямків.

Отримана абсолютна відстань (у см) згодом піддавалася процедурі нормалізації, де сума дистанцій ділилася на трикратну довжину кінцівки. Це

дозволило перетворити лінійні виміри у відносний композитний бал, що є критично важливим для об’єктивного порівняння результатів дітей різного віку та зросту в межах нашої вибірки

Формула розрахунку:

$$\text{Композитний бал} = \frac{[\text{Передній}] + [\text{Задньо} - \text{медіальний}] + [\text{Задньо} - \text{латеральний}]}{3 \times [\text{Довжина кінцівки}]} \times 100\%$$

Де:

- передній, задньо-медіальний, задньо-латеральний – це максимальна дистанція витягування вільної ноги в сантиметрах;
- довжина кінцівки – вимірюється від передньої верхньої клубової ості (spina iliaca anterior superior) до медіальної кісточки (лодижки).

Чому важливо врахувати цей бал?

1. Він нівелює різницю в зрості між дітьми 10 та 13 років. Навіть якщо 13-річна дитина дотягнулася далі в сантиметрах, 10-річна може мати вищий композитний бал завдяки кращій стабільності відносно свого тіла.
2. Композитний бал нижче 94% (у атлетів) або значно нижче норми у дітей вважається маркером високого ризику травматизму та слабкого контролю над суглобами.
3. У вашому дослідженні зростання композитного балу з 69,7% до 84,2% є головним аргументом того, що сенсомоторні вправи покращили не просто силу окремого м’яза, а здатність нервової системи керувати всім тілом у складних умовах.

Таким чином, узагальнюючи все вище згадане, можна виокремити клінічне значення показника. Використання композитного балу дозволило об’єктивізувати рівень нейром’язового контролю незалежно від фізичних параметрів дитини. Як зазначають Smith et al. (2015), показники значно нижче норми (для атлетів межею є 94%) свідчать про дефіцит постуральної стабільності. У контексті нашого дослідження зростання композитного балу є

головним доказом ефективності розробленої програми. Це підтверджує, що сенсомоторні вправи та активація системи «foot core» призвели до покращення здатності центральної нервової системи керувати положенням тіла у складних умовах динамічної опори, що корелює з сучасними методами комп'ютерного аналізу балансу (Gil-Martín et al., 2021).

- **Індекс функції стопи (Foot Function Index - FFI)** [98-102]. Див. Додаток 3.

Для оцінки суб'єктивного сприйняття пацієнтом впливу патології стопи на рівень болю, функціональні обмеження та активність було використано опитувальник Foot Function Index (FFI). Цей інструмент було обрано через його високу чутливість до змін клінічного стану пацієнтів із патологіями опорно-рухового апарату стопи та підтверджену валідність у міжнародних клінічних дослідженнях (Budiman-Mak et al., 2013; Martinez et al., 2016).

Згідно з останніми систематичними оглядами (Cervera-Garvi et al., 2024), FFI демонструє відмінні психометричні властивості, зокрема високу надійність та внутрішню узгодженість, що дозволяє об'єктивізувати суб'єктивний стан пацієнта та оцінити результативність терапевтичного втручання.

Структура та процедура оцінювання: опитувальник включає 17 ключових питань, розподілених за трьома доменами (субшкалами):

I. Шкала болю: включає 5 запитань, що стосуються інтенсивності болю в різних ситуаціях (при першому кроці зранку, під час ходьби, у положенні стоячи, наприкінці дня та при максимальному прояві болю). Оцінка проводиться за візуальною шкалою від 0 (без болю) до 10 (найгірший можливий біль).

II. Шкала інвалідизації: складається з 9 запитань (пункти 6-14), що оцінюють труднощі при виконанні функціональних завдань. Сюди входять: ходьба в приміщенні та на вулиці, подолання дистанції понад 500 метрів, підйом та спуск по сходах, вставання на пальці, вставання зі стільця, переступання через бордюри, а також швидка ходьба або біг. Оцінюється від 0 (зовсім не важко) до 10 (дуже важко).

III. Шкала обсягу активності: містить 3 запитання (пункти 15-17), що визначають частоту використання допоміжних засобів (милиці, ходунки) у приміщенні та поза ним, а також загальний рівень обмеження фізичної активності через стан стопи. Оцінка проводиться від 0 (жодного разу) до 10 (весь час).

Враховуючи вікову категорію досліджуваних (10-13 років), заповнення опитувальника проводилося пацієнтами за підтримки батьків або опікунів.

*Методика розрахунку*

Підрахунок балів здійснювався шляхом підсумовування оцінок у кожній категорії та їх ділення на максимально можливу суму балів (з урахуванням лише релевантних для пацієнта пунктів). Результат виражався у відсотках (0-100%) за формулою:

$$FFI = \frac{\Sigma\text{отриманих балів}}{\Sigma\text{максимально можливих балів}} \times 100\%$$

*Примітка: якщо пацієнт не виконує певну дію, наприклад, не користується милицями, цей пункт не враховується у суму максимально можливих балів).*

- Високий показник FFI свідчить про значне порушення функції та виражений больовий синдром;
- Зниження показника FFI в динаміці є індикатором покращення функціонального статусу.

Клінічне обґрунтування та значення для дослідження полягають в наступному: використання FFI дозволило вийти за межі морфометричних вимірів (кутів та індексів) та оцінити якість життя дитини. Як зазначається у дослідженнях валідації (French validation of FFI), цей опитувальник дозволяє ідентифікувати функціональні покращення, які пацієнт відчуває суб’єктивно ще до появи виражених рентгенологічних змін. Для нашого дослідження аналіз

окремих пунктів, зокрема щодо вставання на пальці (№11) та бігу (№14), став прямим підтвердженням покращення контролю внутрішніх м’язів стопи. Зниження загального балу FFI в основній групі є вагомим аргументом того, що нейромоторна активація за розробленою програмою не лише оптимізувала біомеханіку, а й реально зменшила дискомфорт пацієнта, що повністю корелює з принципами МКФ (категорії активності та участі).

5. Методи математичної статистики.

Статистична обробка результатів дослідження проводилася з використанням пакетів прикладних програм Statistica 6.0 (TIBCO Software Inc.) та Microsoft Excel 2021. Вибір методів аналізу базувався на перевірці типу розподілу даних та меті дослідження – визначенні ефективності запропонованої програми нейромоторної активації.

Алгоритм статистичного аналізу включав наступні етапи:

1. Описова статистика. Для кожного кількісного показника (бали FPI-6, кут MLAA, композитний бал Y-тесту, відсотки FFI) розраховувалися: середнє арифметичне значення (M), стандартна похибка середнього (m) та стандартне відхилення (SD). Результати представлені у формі M ± m (Mishra et al., 2019).

2. Перевірка на нормальність розподілу. Для визначення можливості застосування параметричних критеріїв використовувався критерій Шапіро-Вілка (*Shapiro-Wilk test*) [103-106]. Даний тест було обрано як найбільш чутливий та надійний для малих вибірок ($n < 50$), що дозволило коректно обрати подальшу тактику аналізу (Hanusz et al., 2016).

3. Порівняльний аналіз:

- для оцінки внутрішньогрупової динаміки (порівняння результатів «до» та «після» в межах однієї групи) застосовувався парний t-критерій
- (при нормальному розподілі) або непараметричний Т-критерій Вілкоксона (зокрема при аналізі суб’єктивних шкал опитувальника FFI);
- для міжгрупового порівняння (ОГ проти КГ) використовувався U-критерій Манна-Уітні, що дозволило об’єктивно оцінити перевагу розробленої

програми над традиційним підходом навіть за умови невеликої кількості досліджуваних.

4. Кореляційний аналіз. Для встановлення сили та напрямку зв’язку між морфологічними змінами (MLAA) та функціональними показниками (композитний бал YBT) розраховувався коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона (r).

5. Оцінка статистичної значущості. Критичний рівень значущості при перевірці статистичних гіпотез приймався рівним $p < 0,05$ (95% довірчий інтервал), що є загальноприйнятим стандартом у медико-біологічних та реабілітаційних дослідженнях (Mishra et al., 2019).

Таким чином, обраний комплекс методів дослідження дозволяє здійснити всебічний аналіз стану нижніх кінцівок у дітей із функціональним сплощенням стоп, охоплюючи три рівні оцінки згідно з концепцією МКФ:

- Структурно-анатомічний рівень: за допомогою індексів FPI-6 та MLAA ми отримуємо об’єктивні дані про морфологічні зміни та статичне положення стопи у трьох площинах. Це дає змогу зафіксувати фізичні зміни «фундаменту» тіла;
- Функціонально-руховий рівень: використання Y-Balance Test з розрахунком нормалізованого композитного балу дозволяє оцінити динамічну стабільність та якість нейром’язового контролю. Це є ключовим показником того, як стопа виконує свою роль стабілізатора під час руху.
- Суб’єктивно-гуманістичний рівень: опитувальник FFI дозволяє почути «голос пацієнта», оцінюючи рівень болю та обмежень у повсякденному житті. Це допомагає зрозуміти, наскільки біомеханічні покращення трансформуються у реальну якість життя дитини.

Така трикомпонентна модель обстеження (Морфологія – Функція – Життєдіяльність) у поєднанні із математичним аналізом забезпечує високу доказову базу дослідження та дозволяє комплексно оцінити ефективність запропонованої програми фізичної терапії.

## 2.2. Дизайн дослідження

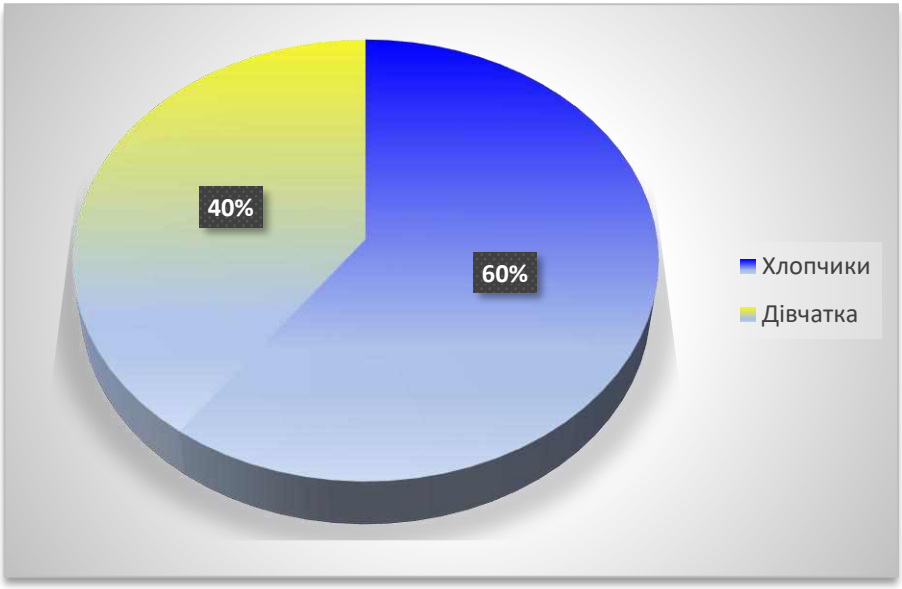
Визначений комплекс діагностичних методів та клінікометричних інструментів створив необхідну базу для об’єктивної оцінки морфо-функціонального стану стоп у досліджуваної категорії дітей. Однак для отримання достовірних наукових результатів та підтвердження ефективності запропонованого втручання, ці методи були імплементовані у чітко структуровану систему проспективного порівняльного дослідження.

### 2.2.1. Характеристика суб’єкту дослідження

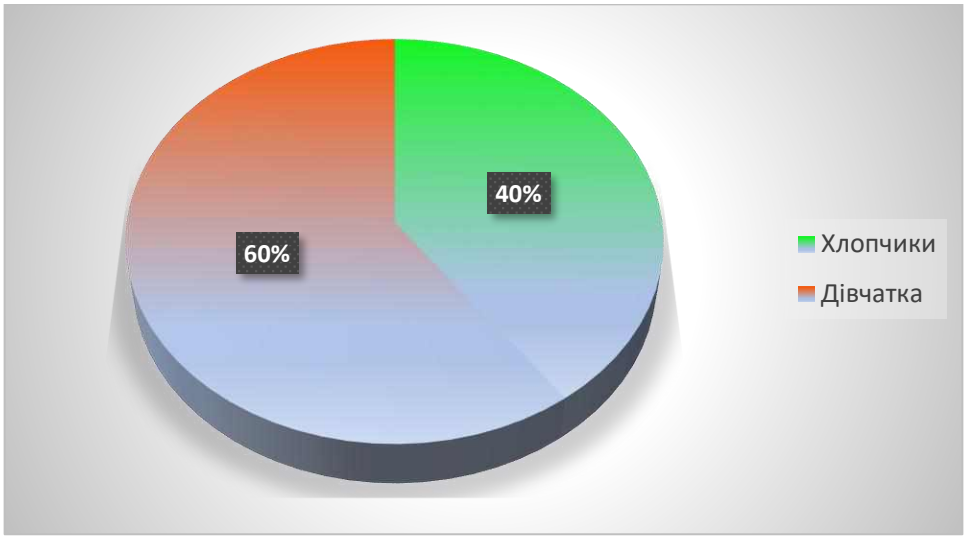
У дослідженні взяли участь 10 дітей віком від 10 до 13 років, які проходили курс фізичної терапії у відділенні реабілітації КНП «МБКЛМД Руднєва» ДМР. Усі учасники мали підтверджений діагноз плоско-вальгусної деформації стоп мобільного типу. З метою порівняльного аналізу ефективності різних стратегій відновлення, пацієнти були розподілені випадковим чином на дві групи (рис. 2.2.1.1, 2.2.1.2):

1. Контрольна група (група А, n=5): отримувала традиційний комплекс терапевтичних вправ, що включав загальнозміцнювальні вправи, ходьбу на зовнішніх краях стоп та пасивну підтримку склепіння ортопедичними устілками. Склад: 3 хлопчики, 2 дівчинки.
2. Основна група (Група Б, n=5): займалася за розробленою авторською програмою, побудованою на сучасних науково-доказових даних щодо нейром’язової активації та концепції «foot core». Програма фокусувалася на ізольованому зміцненні внутрішніх м’язів стопи та покращенні сенсомоторного контролю. Склад: 2 хлопчики, 3 дівчинки.

Середній вік учасників склав 11,6 ±1,1 року. Групи були порівнянними за статтю та віком, що дозволило нам нівелювати вплив антропометричних факторів на результати дослідження та об’єктивно оцінити ефективність саме авторської програми сенсомоторної активації.




**2.2.1.1. Гендерний склад пацієнтів контрольної групи (група А, n=5)**




**2.2.1.2. Гендерний склад пацієнтів основної групи (група Б, n=5)**

Обґрунтованість отриманих результатів та однорідність порівнюваних груп гарантувалася дотриманням суворого алгоритму відбору учасників. Для мінімізації впливу побічних чинників та верифікації клінічного стану пацієнтів було розроблено наступний перелік вимог:

Критерії включення: вік 10-13 років; наявність мобільної плоско-вальгусної деформації стоп; здатність дитини розуміти та точно виконувати складні координаційні інструкції; наявність письмової інформованої згоди від батьків або опікунів, добровільна згода самої дитини на виконання вправ.

Критерії виключення: ригідна форма плоскостопості (кісткові зрощення або виражені контрактури); неврологічні захворювання, що впливають на баланс (наприклад, ДЦП); гострі болі в стопі, що потребують медикаментозного лікування (ВАШ > 4); системні захворювання сполучної тканини; відмова від участі на будь-якому етапі дослідження; гострі інфекційні або запальні захворювання на момент початку дослідження; травми нижніх кінцівок протягом останніх 6 місяців; виражені порушення когнітивного розвитку, що перешкоджають розумінню інструкцій до вправ; відмова батьків від підписання інформованої згоди.

### 2.2.2. Організаційні аспекти та етичні норми

Організація та проведення даного дослідження базувалися на суворому дотриманні міжнародних стандартів та національного законодавства у сфері біоетики. Теоретико-методологічним підґрунтям етичної складової роботи стали положення Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997 р.) [107] та фундаментальні принципи Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (редакції 1964-2013 рр.) [108].

У ході реалізації практичного етапу ми керувалися міжнародними стандартами належної клінічної практики ICH GCP (у редакції 2003 р.) [109] та нормативними вимогами наказу МОЗ України № 690 (від 23.09.2009 р.) [110]. Процедура взаємодії з учасниками відповідала чинним правовим нормам України та світовим етичним вимогам до медико-біологічних досліджень.

Ключові заходи із забезпечення прав учасників включали:

- Інформовану згоду: законні представники дітей (батьки або опікуни) були детально ознайомлені з метою дослідження, тривалістю втручання та методами діагностики, що підтверджено підписанням відповідної письмової згоди;

- Добровільність: участь у дослідженні була виключно добровільною, з правом відмови від виконання вправ на будь-якому етапі без пояснення причин.
- Конфіденційність: під час обробки результатів було вжито повний комплекс заходів для деідентифікації даних, що гарантувало абсолютну анонімність пацієнтів у наукових звітах та публікаціях.

Клінічною базою дослідження виступило відділення реабілітації та відновного лікування КНП «МБКЛМД Руднєва» ДМР, що забезпечило належний рівень безпеки та контроль з боку мультидисциплінарної команди. Функціонування такої моделі базувалося на принципі синергії фахівців різних профілів, кожен з яких реалізовував специфічні завдання в межах єдиного реабілітаційного маршруту. Зокрема, лікар фізичної та реабілітаційної медицини здійснював стратегічне управління процесом та оцінку відновного прогнозу, тоді як фізичний терапевт фокусувався на розробці та впровадженні персоналізованих протоколів нейром'язової активації стопи.

Клініко-інструментальний нагляд забезпечувався дитячим ортопедом-травматологом, який здійснював динамічний контроль стану кістково-суглобових структур та обґрунтовував доцільність превентивної корекції. У той же час, педіатричний та неврологічний супровід дозволяв моніторити статокінетичний баланс та загальносоматичний статус дитини, а залучення ерготерапевта гарантувало адаптацію повсякденного рухового режиму пацієнтів для закріплення отриманих результатів у побутових умовах. Такий інтегрований підхід дозволив не лише підвищити безпеку втручань, а й забезпечити всебічну валідацію ефективності запропонованої програми (табл. 2.2.2.1).

Дана таблиця відображає архітектуру втручання, де кожен член мультидисциплінарної команди залучений до моніторингу конкретних категорій МКФ. Використання бальної шкали (від 0 – немає порушень, до 3 – тяжкі порушення) дозволяє кількісно виразити реабілітаційний прогноз.

Таблиця 2.2.2.1 Втручання та послуги за МКФ при вальгусній деформації стоп у дітей

| | Об'єкт втручання | Втручання | Лікар ФРМ | ФТ | Ортопед-травматолог | Невролог дитячий | Педіатр | Найближчі родичі | Інші / ЕТ | Початкове значення | Цільове значення | Кінцеве значення |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Функції / Структури тіла | s7502 Структура нижньої кінцівки (загальний нагляд) | Клініко-рентгенологічний нагляд, корекція устілками | + | | + | | | | | 3 | 1 | 1 |
| | b28015 Біль у нижній кінцівці | Контроль больового синдрому, корекція режиму, позиціонування | + | + | + | | | | | 2 | 0 | 0 |
| | b7101 Рухливість кількох суглобів | Навчання та організація нейромоторної активації стопи | | + | + | | | | | 3 | 0 | 0 |
| | b7301 Сила м'язів стопи | Силові вправи (foot core) | | + | | | | | | 3 | 0 | 0 |
| | b7601 Контроль складних довільних рухів | Навчання, нейромоторна активація | | + | | + | | + | | 2 | 0 | 1 |
| | b260 Пропріоцептивна функція | Активні сенсомоторні тренування на хитких поверхнях | | + | | + | | | | 2 | 0 | 0 |
| | b770 Функції моделі ходи | Біомеханічна корекція та формування коректного патерну ходьби | | + | | | + | + | | 2 | 0 | 0 |
| | b715 Стабільність суглобів | Тестування та підтримка стабільності гомілковостопного комплексу | | | + | | | | | 2 | 0 | 0 |
| | b780 Відчуття, пов'язані з рухом | Перцептивне навчання, елементи мануальної терапії | | + | | + | | | | 2 | 0 | 0 |
| | b455 Загальна витривалість | Контроль адаптації організму дитини до нових рухових режимів | | + | | | + | | | 1 | 0 | 0 |
| Д | d415 | Допомога у виконанні вправ | | | | | | + | | - | - | - |

| | Об’єкт втручання | Втручання | Лікар ФРМ | ФТ | Ортопед-травматолог | Невролог дитячий | Педіатр | Найближчі родичі | Інші / ЕТ | Початкове значення | Цільове значення | Кінцеве значення |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | вдома, нагляд за поставою та мотивація | | | | | | | | | | |
| | d920 Рекреація та дозвілля | Інтеграція терапевтичних навичок у повсякденну активність та ігри | | | | | | | + | 2 | 0 | 0 |
| Фактори середовища | e310 Найближчі родичі | | | | | | | | | +4 | +4 | +4 |
| | e355 Медичні працівники | | | | | | | | | +4 | +4 | +4 |

Особлива увага в основній групі приділялася категоріям b7601 (контроль довільних рухів) та b260 (пропріоцепція), оскільки саме вони є мішенями для розробленої авторської програми. Спільна робота фізичного терапевта, невролога та батьків забезпечила не лише фізичне зміцнення м’язів стопи, а й формування сталого нейромоторного зв’язку, що є необхідною умовою для корекції плоско-вальгусної деформації в підлітковому віці.

### 2.2.3. Етапи дослідження

Науково-практичний цикл дослідження охоплював період з червня 2025 року по березень 2026 року. Чіткий розподіл часових ресурсів дозволив забезпечити високу достовірність результатів, дотриматися методологічної послідовності втручання та врахувати час, необхідний для формування стійких нейропластичних змін у пацієнтів. Дослідження було реалізовано у три логічно послідовні фази:

I. Організаційно-підготовчий етап (червень – серпень 2025 р.). Метою етапу було формування репрезентативної вибірки та створення верифікованої вихідної бази даних. У межах цього періоду реалізовано:

- ретельний ретроспективний аналіз медичної документації на базі КНП «МБКЛМД Руднєва» ДМР, верифікація діагнозів та відбір пацієнтів відповідно до розроблених критеріїв включення/виключення;
- проведення роз'яснювальної роботи з батьками (опікунами) щодо мети та методів фізичної терапії, підписання інформованих згод та формування етичного досьє дослідження згідно з принципами Гельсінської декларації (див. Додаток 4);
- первинне обстеження (вхідний зріз) та стратифікація: об'єктивізація морфо-функціонального статусу учасників за допомогою індексу FPI-6, кута MLAA, тестування динамічного балансу (Y-test) та оцінки якості життя (FFI). Після діагностики проведено рандомізацію пацієнтів на контрольну (Група А) та основну (Група Б) групи.

II. Основний (терапевтичний) етап (вересень 2025 р. – лютий 2026 р.). На даному етапі відбувалася безпосередня реалізація порівнювальних стратегій фізичної терапії. Шестимісячний період втручання був обраний для гарантованого закріплення нових нейромоторних патернів:

- Адаптаційний період (вересень – листопад): навчання пацієнтів основної групи (ОГ) техніці ізольованого скорочення внутрішніх м'язів стопи (концепція *Short Foot Exercises* – SFE). Основний фокус спрямовувався на розвиток пропріоцептивної чутливості за допомогою «кнопок балансу». Пацієнти контрольної групи (КГ) працювали за стандартним протоколом КТВ.
- Період інтенсифікації та інтеграції (грудень – лютий): прогресія навантажень для ОГ через використання нестабільних поверхонь (платформи Bosu) та впровадження системи *foot core*. Метою було перенесення навички активної стабілізації стопи у динамічні умови та модель ходи.

- Клінічний моніторинг: здійснення регулярного контролю за технікою виконання вправ та оцінка толерантності до навантажень мультидисциплінарною командою для забезпечення якості та безпеки втручань.

III. Аналітико-заключний етап (березень 2026 р.). Фаза була присвячена верифікації отриманих даних та їх науковій презентації:

- Підсумкове обстеження (вихідний зріз): проведення повторного комплексного тестування всіх учасників за алгоритмом, аналогічним вхідному зрізу;
- Статистична обробка та аналіз: систематизація результатів та їх аналіз із застосуванням методів математичної статистики (непараметричні критерії) для оцінки значущості змін у висхідному кінематичному ланцюзі;
- Клінічне узагальнення та наукова публікація: формулювання висновків щодо ефективності застосованих методик та підготовка рукопису наукової статті («Превентивна парадигма у фізичній терапії плоско-вальгусної деформації стоп...») для оприлюднення у фахових виданнях. Це дозволило трансформувати практичні результати у наукові рекомендації для впровадження мультимодального підходу в педіатричну практику.

На загал можна сказати, що така структура етапів забезпечує повний цикл доказового дослідження. Тривалий період основного етапу (6 місяців) дозволяє нівелювати вплив випадкових факторів та підтвердити, що позитивна динаміка в ОГ є результатом саме терапевтичного втручання, а не природного розвитку дитини. Інтеграція підготовки статті безпосередньо у заключний етап підкреслює роль дослідника у критичному аналізі та поширенні нових знань згідно з принципами ICH GCP, що забезпечує роботі високу наукову вагу.

### 2.2.4. Зміст та структура програм фізичної терапії

Для реалізації мети дослідження було впроваджено дві відмінні стратегії відновлення. Програма для контрольної групи базувалася на класичних засадах лікувальної фізкультури (ЛФК), тоді як для основної групи застосовувалася

авторська програма, орієнтована на концепцію нейром'язового контролю та систему «foot core».

*Характеристика стандартної програми (контрольна група)*

Фізична терапія у контрольній групі відповідала стандартним протоколам, що зазвичай застосовуються у закладах охорони здоров'я. Основний акцент робився на зміцненні м'язів гомілки та механічній підтримці склепінь.

Структура занять:

1. Загальнозміцнювальний блок: вправи для великих м'язових груп нижніх кінцівок;

2. Специфічний блок (традиційний КТВ): ходьба на зовнішніх краях стоп, на носках та п'ятах; захоплення пальцями стопи дрібних предметів; перекочування гімнастичної палиці;

3. Зовнішня корекція: рекомендація носіння ортопедичного взуття або жорстких устілок-супінаторів для пасивної підтримки медіального поздовжнього склепіння стопи.

*Авторська програма нейромоторної активації та сенсомоторного тренування (Основна група)*

Оригінальна методика фізичної терапії, впроваджена для пацієнтів основної групи (ОГ), базується на превентивній парадигмі, що розглядає стопу як активну стабілізуючу систему. Концептуальною основою програми є відновлення функції «foot core» через залучення внутрішніх м'язів стопи та оптимізацію аферентної сигналізації від механорецепторів підошви.

Програма реалізовувалася у два стратегічні періоди, що забезпечувало послідовність формування рухової навички.

I. Адаптаційний період (вересень – листопад 2025 р.)

Мета: формування ізольованого м'язового відчуття, свідомого контролю та селективної активації стабілізаторів стопи.

1. Навчання техніці Short Foot Exercise (SFE): на відміну від традиційного згинання пальців, SFE спрямована на ізольовану роботу m. abductor hallucis. Пацієнт навчається наближати головку першої плеснової кістки

до п’яти, не згинаючи пальці, що ініціює рефлекторне підняття медіального поздовжнього склепіння.

Навчання розпочиналося з пасивного формування арки стопи терапевтом з поступовим переходом до активного утримання напруги в положеннях сидячи та стоячи.

2. Стимуляція «кнопок балансу» та тактильна фасилітація: спираючись на концепцію «сенсорного перезважування/перезавантаження», у програму інтегровано метод точкової активації опорних зон підошви: медіального та латерального відділів передньої частини стопи та центру п’яти. Використання сенсорних маркерів («кнопок») дозволяло підвищити чутливість механорецепторів, мінімізуючи візуальну компенсацію та покращуючи пропріоцептивний зворотний зв’язок.

II. Період інтенсифікації та інтеграції (грудень 2025 р. – лютий 2026 р.)

Мета: динамічна стабілізація та автоматизація патерну «активної стопи» у складних функціональних умовах.

1. Пропріоцептивна прогресія на нестабільних поверхнях: після засвоєння навички на жорсткій опорі, вправи переносилися на напівсфери Bosu. Алгоритм включав статичне утримання арки стопи, динамічні махи вільними кінцівками та вправи із заплющеними очима для максимальної ізоляції пропріоцептивного каналу.

2. Функціонально-пліометрична інтеграція: виконання присідань та випадів з обов’язковим контролем активного склепіння, що дозволяло опосередковано корегувати вальгусну установку колінних суглобів. Впровадження м’яких стрибків з акцентом на ексцентричний контроль та збереження висоти склепіння стопи в момент контакту з опорою.

Дозування та контроль: тренування проводилися за принципом високої повторюваності для формування стійкого стереотипу: 20 повторень із фіксацією напруги (20 сек) та аналогічним періодом відпочинку. Кожне заняття контролювалося фахівцем на предмет відсутності компенсаторних рухів (напруження м’язів гомілки або пальцями «кігтями»).

При цьому слід відмітити, що принципова відмінність між підходами полягала у зміні ролі пацієнта: від механічного виконання рухів у контрольній групі до свідомого перенавчання нервової системи в основній групі (табл. 2.2.4.1).

Таблиця 2.2.4.1 Порівняльна характеристика стратегій втручання

| **Параметр порівняння** | **Контрольна група (традиційний КТВ)** | **Основна група (авторська програма)** |
|---|---|---|
| **Механізм дії** | Зміцнення зовнішніх м'язів гомілки | Активація внутрішніх м'язів (**foot core**) |
| **Роль стопи** | Пасивна опора (підтримка устілкою) | **Активна стабілізуюча система** |
| **Нейрофізіологія** | Механічне повторення рухів | Пропріоцептивний контроль та баланс |
| **Обладнання** | Гімнастичні палиці, дрібні предмети | Кнопки балансу, платформи **Bosu** |
| **Клінічна мета** | Пасивна корекція деформації | Формування динамічного стереотипу |

Узагальнюючи методологічний етап дослідження, слід зазначити, що сформована структура наукової роботи базується на принципах доказової медицини та нейроцентричному підході до корекції плоско-вальгусної деформації стоп у дітей 10-13 років.

Клініко-методологічна цілісність розділу забезпечується через інтеграцію трьох ключових аспектів. По-перше, це стратегічна об'єктивізація функціонального дефіциту за допомогою трирівневої моделі оцінки згідно з критеріями МКФ. Поєднання морфометричних вимірів (FPI-6, MLAA), нейром'язового тестування динамічного балансу (Y-Balance Test) та суб'єктивного аналізу якості життя (FFI) дозволило розглядати патологію не як

статичне сплощення склепіння стопи, а як складне порушення сенсомоторного контролю та пропріоцепції.

По-друге, дизайн проспективного дослідження та чіткий розподіл пацієнтів на контрольну та основну групи на базі КНП «МБКЛМД Руднєва» ДМР дозволив протиставити дві фундаментально різні терапевтичні парадигми. Традиційна модель, реалізована в контрольній групі, базувалася на пасивній підтримці та механічному зміцненні м’язів гомілки. Натомість авторська програма нейромоторної активації для основної групи була спрямована на ініціацію механізмів «foot core» та сенсорного перенавчання. Використання технік SFE, «кнопок балансу» та пропріоцептивної прогресії на платформах Bosu забезпечило перехід від локального впливу на стопу до формування нового динамічного стереотипу всього кінематичного ланцюга нижньої кінцівки.

По-третє, етико-організаційне забезпечення роботи, що відповідає вимогам Гельсінської декларації та стандартів ICH GCP, у поєднанні з шестимісячним періодом втручання та використанням методів математичної статистики, гарантує високу внутрішню валідність та достовірність отриманих даних.

Таким чином, представлена методологія створює вичерпну доказову базу для перевірки робочої гіпотези про перевагу нейромоторної фасилітації над пасивною корекцією.

# РОЗДІЛ 3
# РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналітичний огляд отриманих результатів вимагає переосмислення класичних підходів до корекції вальгусних відхилень у дитячому віці. Сучасна фізична терапія як складова комплексної реабілітаційної допомоги демонструє фундаментальний зсув пріоритетів: від пасивної морфологічної корекції ми переходимо до стратегії цілеспрямованого нейромоторного перевиховання. Як було обґрунтовано у нашій науковій праці [17], стандартні (шаблонні) протоколи часто виявляються малоефективними саме через ігнорування глибокої біомеханічної ролі внутрішньої мускулатури стопи.

В основу нашого дослідження покладено принцип патогенетичної доцільності – відновлення автономної стабілізаційної здатності стопи як первинної ланки кінематичного ланцюга. В межах даного дослідження нами було сформульовано наступну робочу гіпотезу: «*Успішність терапії підлітків 10-13 років із вальгусною установкою кінцівок залежить не від інтенсивності механічного навантаження, а від якості пропріоцептивної активації. Ми припускаємо, що формування «динамічного корсета» через зміцнення внутрішніх м'язів стоп у поєднанні з тренуванням на нестабільних опорах забезпечить статистично вищу ефективність порівняно зі стандартними програмами терапї (Програма А) за параметрами позиційного контролю п'яти та загальної постуральної стабільності тіла»*.

Обґрунтування та практична реалізація цього підходу в межах проведеного дослідження охоплюють три ключові вектори:

1. **Подолання біомеханічних шаблонів.** Класична програма терапії (Програма А) традиційно робить акцент на екстринзичні м'язи гомілки. Проте ходьба на зовнішніх краях стопи чи маніпуляції з дрібними предметами активують переважно зовнішні м'язи-згиначі. Без належної фіксації внутрішньої дуги це може створювати парадоксальний ефект «компресії» переднього відділу

стопи, що лише поглиблює вальгусний вектор. Натомість наша «превентивна парадигма» фокусується на відновленні контролю над m. abductor hallucis та mm. lumbricales (система ядра стопи, або ж «foot core» [111]). Впроваджена у Програму Б вправа «Short Foot» (короткі вправи для стопи (SFE/short-foot exercise) стає інструментом усвідомленої стабілізації медіального склепіння стопи.

2. **Нейрофізіологічна корекція та онтогенетичне значення.** Вальгус у віці 10-13 років розглядається нами не просто як статична зміна, а як пропріоцептивний дефіцит – «помилка» у схемі тіла. Оскільки в цей період завершується архітектоніка стопи, використання Y-тесту та баланс-платформ у Програмі Б діє як метод «репрограмування» рухового стереотипу. Це дозволяє вибудувати правильну кінематику, що є критично важливим для захисту проксимальних суглобів (колінних та кульшових) під час пубертатного стрибка росту.

3. **Персоніфікація через гендерний аспект.** Клінічне спостереження за вибіркою дало підстави вважати, що гормональна перебудова та різні темпи соматичного розвитку у хлопчиків та дівчаток створюють відмінні умови для стабільності опорно-рухового апарату. Диференціація результатів за гендерною ознакою додає роботі глибини та дозволяє вийти на рівень персоналізованих реабілітаційних стратегій, що відповідає запитам сучасної доказової медицини.

Таким чином, отримані нами дані, які більш детально будуть представлені у наступних частинах розділу, є не просто статистикою, а науковим доказом спроможності превентивної стратегії, що базується на синергії біомеханічного аналізу та глибокого розуміння фізіології розвитку дитини.

## 3.1. Динаміка біомеханічних показників стопи у дітей обох груп під впливом терапевтичних втручань

Розуміння етіопатогенезу плоско-вальгусної деформації стоп у дітей 10-13 років потребує глибокого клінічного аналізу синергії пасивних, активних та нейромоторних підсистем стабілізації. Спираючись на сучасну концепцію «foot core system» [41, 112], ми сприймаємо стопу не як статичну ригідну опору, а як складну динамічну структуру, де внутрішні м'язи стопи виконують функцію локальних стабілізаторів, аналогічно м'язам «кору» для хребта.

Згідно з цією парадигмою, вальгусна дестабілізація розглядається як наслідок неспроможності активної підсистеми, що неминуче призводить до хронічного перевантаження та деформації пасивних структур (зв'язкового апарату та кісткових сегментів). Відтак, наукова та клінічна цінність даного етапу дослідження полягає у верифікації того, як прецизійний вплив на m. abductor hallucis та mm. lumbricales здатен реорганізувати біомеханічну архітектуру всієї стопи.

У контексті фізичної терапії первинним індикатором адекватності втручання є не стільки приріст ізольованої м'язової сили гомілки, скільки відновлення фізіологічної просторової орієнтації кісткових важелів відносно вектора навантаження. Іншими словами, терапевтичний вплив має виступати пусковим механізмом для реінтеграції локальної мускулатури у глобальний процес динамічної підтримки склепіння.

Саме тому аналіз морфо-біомеханічних параметрів – за шкалою FPI-6 та кутом MLAA – обраний нами як базовий маркер ефективності запропонованої стратегії. Трансформація цих показників в основній групі (Б) інтерпретується як об'єктивне підтвердження нейром'язової перебудови: активація внутрішніх стабілізаторів стопи забезпечує необхідний рівень напруження підошовної фасції, що сприяє активному «підтягуванню» медіальної дуги та фізіологічному вирівнюванню таранно-п'яткового співвідношення.

Показники, наведені у рис. 3.1.1 та 3.1.2, демонструють виражену динаміку цих процесів, дозволяючи диференціювати поверхневий вплив традиційних терапевтичних вправ від глибинної біомеханічної корекції, реалізованої в межах Програми Б.

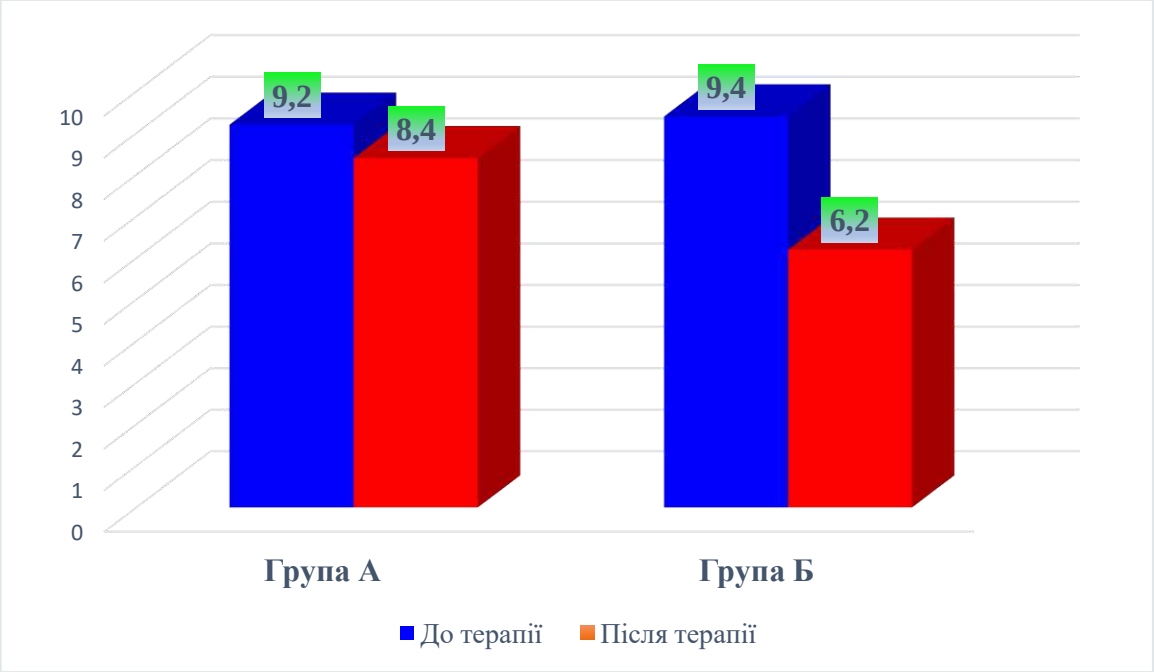



**Рис. 3.1.1 Динаміка показників функціонального індексу стоп (FPI-6) контрольної (А) та основної (Б) груп (n=10)**

Як можна бачити з інфографіки, до початку втручань у дітей обох груп спостерігався виражений вальгус (група А: 9,2 ± 0,8; група Б: 9,4 ± 0,7). Після курсу терапії у досліджуваних основної групи показник знизився до рівня 6,2 ± 0,5 балів ($p < 0,05$), що свідчить про перехід до нейтрального положення стоп. У осіб контрольної групи зміни були статистично незначущими (8,4 ± 0,6). Натомість, динаміка змін показників FPI-6 основної групи мали статистично значуще покращення позиції стопи, що наближалося до показників нормальних значень (FPI-6 = 0+5).

Аналіз даних за шкалою FPI-6 дозволяє стверджувати, що в основній групі відбулася суттєва редукція вальгусної установки п’яти та медіального зсуву таранної кістки. Перехід середнього балу з категорії «виражена пронація» (9,4) до «помірної пронації» (6,2) свідчить про успішну стабілізацію підтаранного

суглоба. У контрольній групі позитивна динаміка була клінічно несуттєвою, що вказує на недостатність традиційних вправ для корекції просторового положення кісткових сегментів заднього відділу стопи.

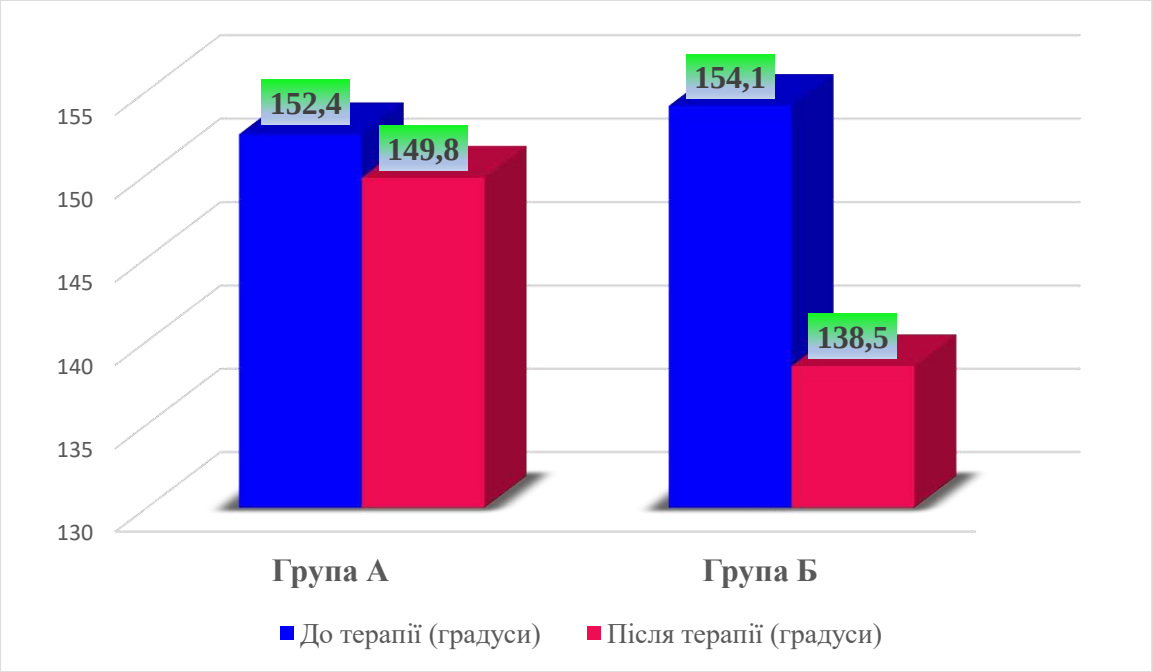



**Рис. 3.1.2 Динаміка показників медіального поздовжнього кута арки стопи (кут MLAA) контрольної (А) та основної (Б) груп (n=10)**

Динаміка змін показників медіального поздовжнього кута арки стопи (кут MLAA) була наступною (рис. 3.1.2). У дітей основної групи спостерігалося статистично значуще зменшення показників кута з 154,1° ± 2,9° до 138,5° ± 2,2°. Це вказує на відновлення висоти склепіння за рахунок активної роботи внутрішніх м'язів, тоді як у контрольній групі кут змінився лише на 2,6°. Зміна кута MLAA (Medial Longitudinal Arch Angle) в основної групи на 15,6° є прямим доказом активного підйому медіального склепіння. З позицій концепції «foot core system», цей результат ми інтерпретуємо як наслідок відновлення активного контролю над m. abductor hallucis. Відповідно до досліджень McKeon et al. (2014), активація цього м'яза забезпечує «ефект лебідки», що створює необхідний момент сили для підтримки дуги під навантаженням.

Таким чином, отримані дані підтверджують, що програма Б (основна група) забезпечила статистично значущу трансформацію позиції стопи з патологічно пронованої у бік нейтральної. Зменшення індексу FPI-6 на 34% та корекція кута MLAA на 15,6° свідчать про відновлення функціональної висоти медіального поздовжнього склепіння стоп. З позицій концепції McKeon et al. (2014), ці результати пояснюються тим, що вправа «коротка стопа» (short-foot exercise) фокусується на активній підсистемі «foot core». На відміну від програми А (контрольна група), яка переважно задіює ексцентричні м'язи (великі м'язи гомілки), запропонована нами програма дозволила активувати m. abductor hallucis та mm. lumbricales. Ці м'язи діють як динамічні стабілізатори, що «підтягують» медіальну дугу, зменшуючи деформаційне навантаження на пасивні зв'язки. Таким чином, морфологічна стабілізація, зафіксована в основній групі, є прямим наслідком зміцнення «фундаменту» стопи. Це створює необхідні біомеханічні умови для нейромоторного контролю та динамічної рівноваги, оскільки ефективна робота внутрішніх м'язів є критичною для пропріоцептивного зворотного зв'язку.

## 3.2. Оцінка функціонального стану та постуральної стабільності стоп

Доведена у попередньому розділі морфологічна перебудова стопи (зменшення індексу FPI-6 та кута MLAA) не є кінцевою метою фізичної терапії, а виступає необхідним базисом для відновлення пропріоцептивної функції нижніх кінцівок. З позиції сучасного клінічного мислення, стабільна архітектура стопи виступає джерелом «чистого» аферентного сигналу. Це дозволяє центральній нервовій системі (ЦНС) ефективніше вибудовувати стратегії постурального балансу, мінімізуючи компенсаторні зусилля проксимальних сегментів тіла [79, 113-115].

Логічним наслідком морфологічної стабілізації медіальної дуги є якісна трансформація сенсомоторного забезпечення всієї нижньої кінцівки. У сучасній

нейрофізіології підошва стопи розглядається не просто як пасивна опорна поверхня, а як спеціалізований «сенсорний орган» (Viseux, 2020), що безперервно забезпечує ЦНС аферентною інформацією про положення загального центру мас відносно площі опори.

Відповідно до концепції McKeon et al. (2014), внутрішні м'язи стопи функціонують не лише як механічні стабілізатори («foot core»), а й як критична ланка зворотного зв'язку. У цьому контексті логічним вектором нашого дослідження став аналіз динамічної рівноваги за допомогою Y-Balance Test. Даний діагностичний інструмент дозволив оцінити, наскільки успішний «активний підйом» склепіння у пацієнтів основної групи конвертувався у здатність до ефективного постурального контролю в умовах змінного вектору навантаження, що виходять за межі статичної підтримки пози.

Для об'єктивізації здатності пацієнтів інтегрувати відновлену стабільність стопи у складні локомоторні акти, нами було проведено порівняльний аналіз показників динамічного балансу (рис. 3.2.1).

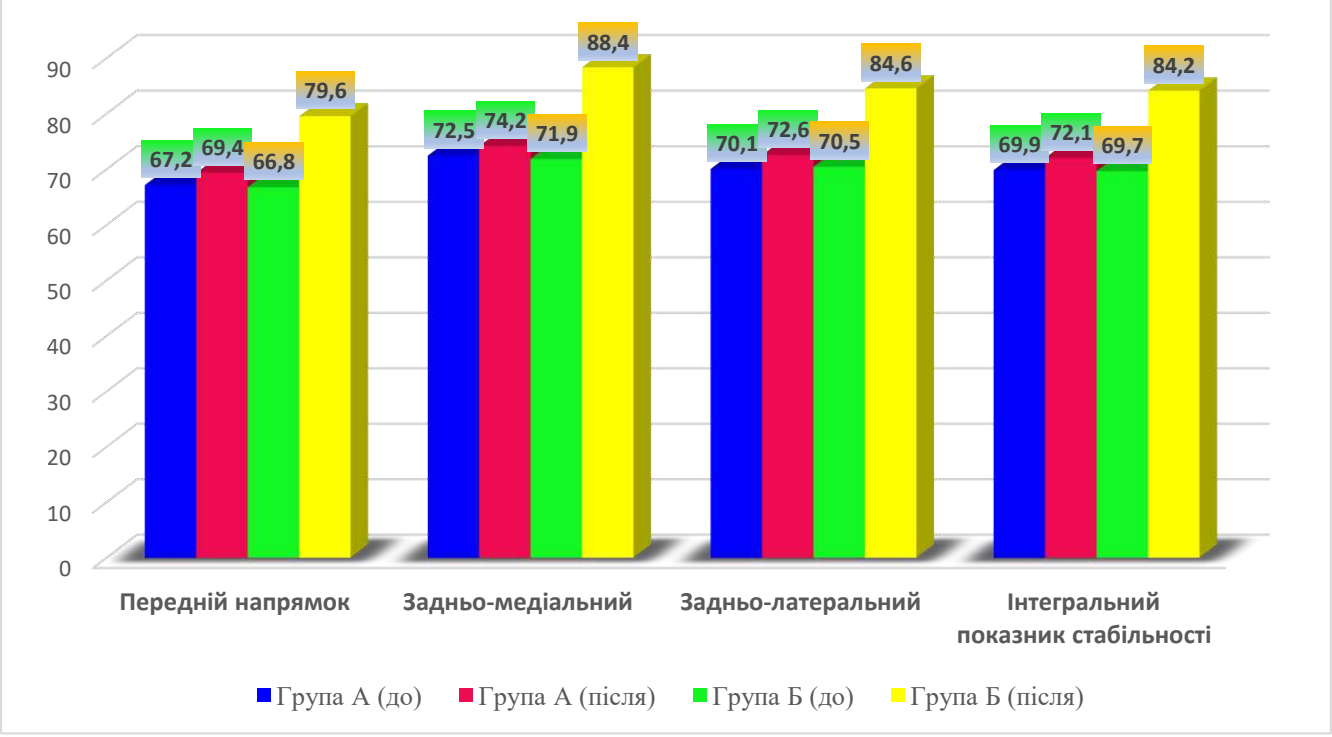



**Рис. 3.2.1 Порівняльна динаміка показників Y-тесту контрольної (А) та основної (Б) груп (n=10)**

Аналіз результатів Y-Balance Test дозволив оцінити не лише загальну стійкість, а й специфіку нейром'язового контролю у трьох просторових площинах. Отримані дані демонстрували якісну трансформацію рухової стратегії пацієнтів основної групи (група Б) порівняно з контрольною (група А), які можна поєднати за наступними особливостями:

1. Динаміка за окремими векторами (напрямками) досяжності:

- ***Передній вектор.*** Результати, отримані у дітей контрольної групи продемонструвала мінімальний приріст з 67,2 ± 3,5 % до 69,4 ± 3,1 % (приріст у показниках становив +3,2 %, $p > 0,05$). Це свідчить про те, що традиційні вправи не забезпечували достатньої стабілізації гомілковостопного суглоба при згинанні, залишаючи обмеженим ексцентричний контроль. Показники основної групи збільшилися із 66,8 ± 3,8 % до 79,6 ± 2,8 % (приріст у показниках становив +19,1 %, $p < 0,05$). З позицій клінічної біомеханіки це свідчить про покращення ексцентричного контролю м'язів гомілки та стабілізації таранної кістки. Здатність дитини витягувати ногу вперед без втрати рівноваги, зберігаючи нейтральне положення опорної стопи, підтверджує відновлення функції переднього великогомілкового м'яза у синергії із внутрішніми стабілізаторами.
- ***Задньо-медіальний вектор***. Контрольна група: зміни були статистично незначущими – з 72,5 ± 4,1 % до 74,2 ± 4,5 % (приріст у показниках становив +2,3 %). При виконанні тесту пацієнти продовжували демонструвати «звалювання» опорної стопи у вальгус (надмірна пронація), що вказували на виражену нестабільність медіального склепіння. Основна група: зафіксовано найвищу динаміку – з 71,9 ± 4,3 % до 88,4 ± 3,6 % (приріст у показниках становив +22,9 %, $p < 0,01$). Цей вектор є найбільш репрезентативним при вальгусній деформації, оскільки створює максимальний пронаційний момент. Відновлення системи «foot core» дозволило пацієнтам ефективно протидіяти пронаційному моменту, зберігаючи нейтральне положення стопи.
- ***Задньо-латеральний вектор.*** Контрольна група: досліджуваний показник практично не змінився (70,1 ± 3,8 % проти 72,6 ± 3,4 %). Відсутність пропріоцептивного виклику в програмі А не дозволила дітям покращити

ротаційну стабільність, що відображало дефіцит контролю над м'язами-ротаторами та м'язами, що відводять стегно у синергії зі стопою. Основна група: покращення з 70,5 ± 4,0 % до 84,6 ± 3,1 % (приріст у показниках становив +20,0 %, $p < 0,01$). Це підтверджує ефективність нестабільних поверхонь у «репрограмуванні» контролю над відвідними м'язами стегна у синергії зі стабільною дистальною опорою (стопою). Тобто, стабілізація «дистальної ланки» (стопи) автоматично покращила функцію «проксимальної ланки» (тазу).

При цьому, порівняння за інтегральним показником стабільності стоп показало наступне. Зіставлення композитного балу (інтегрального показника стабільності) виявило фундаментальну різницю у функціональній відповіді. Так, у контрольній групі, яка займалася за програмою А, загальний прогрес склав лише 3,1 %, що вказує на збереження дефіциту постурального контролю. Натомість в основної групи, яка працювала за авторською програмою Б, інтегральний показник зріс на 20,8 % (з 69,7 % до 84,2 %). Це доводить, що лише активна нейромоторна стратегія здатна перевести морфологічну корекцію стопи у площину впевненого керування тілом.

Звертає на себе увагу і факт гендерної диференціації отриманих результатів в основній групі (табл. 3.2.1). При ідентичних вихідних даних, реакція на втручання в основній групі мала чіткі гендерні акценти, зумовлені особливостями препубертату (10-13 років):

1) дівчатка (основна група) продемонстрували вищу чутливість до нейромоторного навчання. Найбільший прогрес спостерігався у задньо-медіальному векторі (приріст склав +24,2 %). Для дівчаток 10-13 років характерна більша еластичність зв'язок та вищий ризик гіпермобільності. У них Програма Б спрацювала насамперед через нейрофізіологічний механізм – «перепрошивку» сенсомоторних зв'язків. Вони продемонстрували кращу динаміку в тестах на рівновагу, оскільки їхній організм швидше інтегрував тактильну інформацію від підошви стоп;

2) хлопчики (основна група) показали стабільніший приріст у передньому векторі (приріст показника сягав +20,5 %). Цей прогрес у Y-тесті мав

більш лінійний характер та залежав від зростання силової витривалості м'язів-стабілізаторів. Хоча адаптація до балансу тривала довше, ніж у дівчаток, хлопчики продемонстрували вищу стійкість результату до втомлюваності, що пов'язано з біомеханічним зміцненням активної підсистеми стабілізації стопи. Тобто, у хлопчиків цього віку пубертатний стрибок росту часто випереджає розвиток координації («дискоординація росту»). Їхній прогрес у Y-тесті був більш лінійним та залежав від гіпертрофії m. abductor hallucis. Вони показали кращу стабільність у передньому векторі, що вказує на потужнішу роботу м'язів-стабілізаторів у силовому режимі

Таблиця 3.2.1 – Гендерна специфіка та клінічні відмінності показників Y-тесту

| Параметр аналізу | Дівчатка | Хлопчики |
|---|---|---|
| **Темпи приросту Y-тесту** | **+24,2%** (вищі за середні) | +20,5% |
| **Домінантний вектор** | Задньо-медіальний (контроль пронації) | Передній (силовий контроль) |
| **Клінічне спостереження** | Швидка адаптація до балансу, але вища лабільність результату при втомі. | Повільніший прогрес у координації, але стабільніша силова фіксація склепіння. |

Таким чином, порівняльний аналіз підтверджує, що традиційні терапевтичні вправи (програма А) не створюють достатнього нейрофізіологічного стимулу для корекції динамічної нестабільності. Лише програма Б, що поєднує зміцнення «foot core» та пропріоцептивний виклик, забезпечує цілісну стабілізацію нижньої кінцівки, адаптуючись при цьому до гендерно-сенситивних особливостей розвитку підлітків. При цьому, ці відмінності підтверджують, що вальгусна деформація у підлітків має різне «обличчя» залежно від статі: у дівчаток це частіше сенсомоторний дефіцит, у хлопчиків – біомеханічна невідповідність м'язової сили темпам росту скелета.

Це обґрунтовує необхідність індивідуалізації фізичної терапії навіть у межах єдиної ефективної Програми Б.

Встановлений взаємозв'язок між біомеханічною корекцією та якістю динамічного балансу підкреслює важливість превентивного втручання: ми не просто вирівнюємо стопу, ми інтегруємо її як надійну ланку в глобальний кінематичний ланцюг нижньої кінцівки.

Наступним важливим кроком оцінки ефективності реабілітації у підлітків є не лише об'єктивна біомеханіка, а й суб'єктивне сприйняття функціональних можливостей стопи. Для цього нами було використано Індекс функції стопи (Foot Function Index, FFI), який дозволив оцінити рівень больових відчуттів, дискомфорту та обмежень у повсякденній активності пацієнтів.

Отримані дані свідчили про те, що обидва реабілітаційні підходи позитивно вплинули на самопочуття пацієнтів, проте глибина та статистична значущість цього впливу суттєво різнилися між групами (рис. 3.2.2).

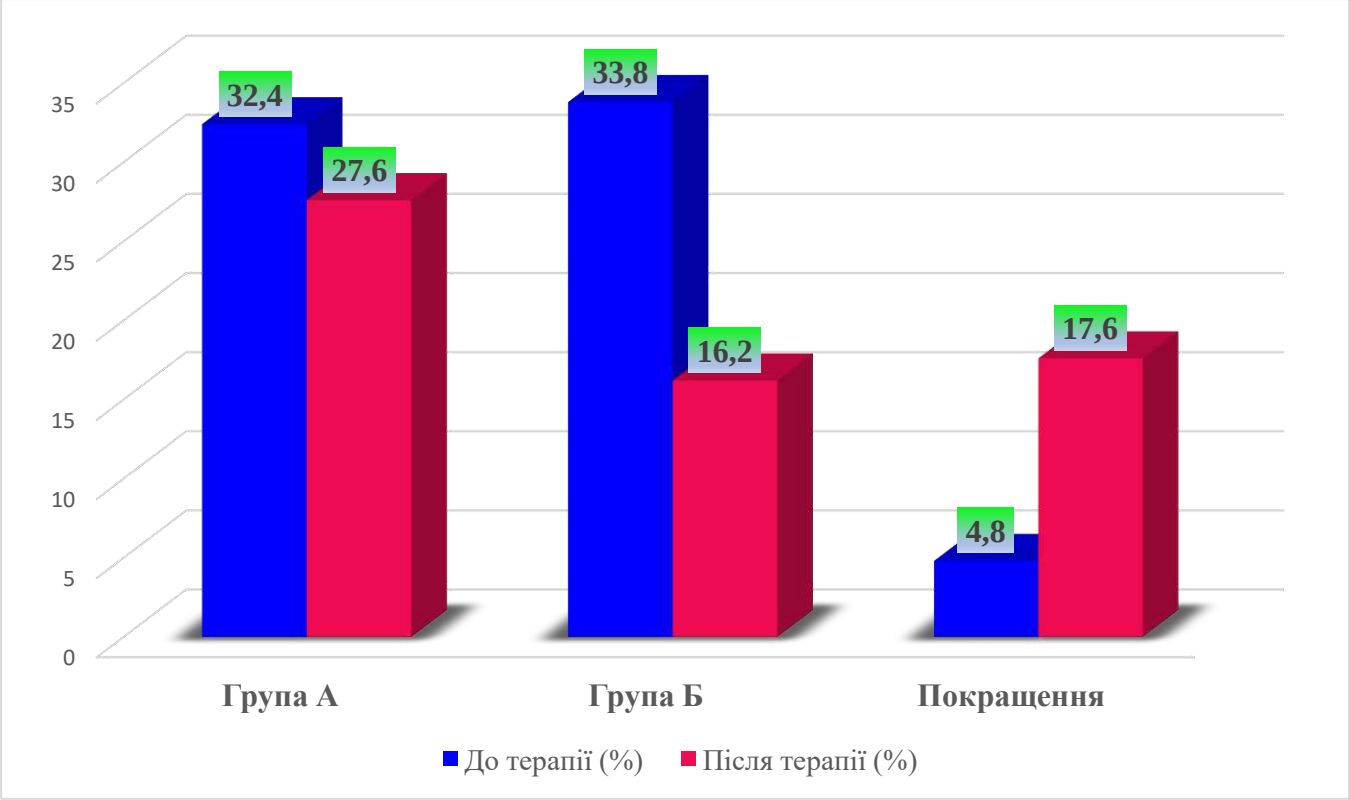



**Рис. 3.2.2 Оцінка болю та обмеження життєдіяльності у контрольної (А) та основної (Б) груп (n=10)**

У контрольній групі (А) спостерігався лише незначний прогрес досліджуваного показника (4,8 %), який не мав стійкого характеру. Це можна пояснити тим, що стандартна програма терапевтичних вправ хоча й підтримує загальний тонус м’язів гомілки, але не усуває першопричину дискомфорту – нестабільність медіального склепіння. Пацієнти продовжували відчувати втому при тривалих статичних навантаженнях, оскільки пасивні структури (зв’язки) залишалися перевантаженими через дефіцит контролю внутрішніх м’язів.

Натомість у основній групі (Б) зафіксовано суттєве покращення даних показників на 17,6 %. Такий результат став прямим наслідком успішної реінтеграції системи «foot core». Коли внутрішні м’язи стопи починають виконувати свою стабілізуючу функцію, відбувається розвантаження підошовної фасції та ексцентричних згиначів. Це підтверджується відгуками пацієнтів про значне полегшення при тривалій ходьбі та зменшення відчуття вечірньої втоми.

Натомість, гендерні особливості сприйняття функціональності дозволили виявити цікаву закономірність. Так, аналіз результатів основної групи був наступним:

- дівчатка частіше акцентували увагу на зменшенні «відчуття нестійкості» та покращенні естетики ходи. Це корелювало з їхніми вищими показниками у Y-тесті та кращою пропріоцептивною відповіддю на тактильну стимуляцію підошви;
- хлопчики відзначали підвищення витривалості до фізичних навантажень та зменшення болю в гомілках після занять спортом. Їхнє покращення за FFI було більш стабільним у часі, що ми можемо пов’язати з біомеханічним зміцненням активної підсистеми стабілізації.

Таким чином, суттєва різниця в показниках FFI між групами доводить, що нейромоторне перевиховання та активація внутрішніх м’язів стоп забезпечують набагато вищий клінічний ефект, ніж пасивна корекція чи загальнозміцнюючі вправи. Це дозволяє пацієнтам основної групи не просто покращити показники на тестах, а реально підвищити рівень своєї щоденної рухової активності.

Отримані дані підтверджують, що покращення балансу в основній групі – це не просто механічний наслідок зміцнення м’язів, а результат складного нейропластичного процесу. Відновлення адекватної тактильної та пропріоцептивної аферентації є ключовим фактором стабілізації нижньої кінцівки як єдиного кінематичного ланцюга у дітей препубертатного віку.

### 3.3. Порівняльна характеристика ефективності розробленої програми фізичної терапії та традиційних підходів

Перехід до аналізу отриманих результатів потребує чіткого усвідомлення того, що фізична терапія при вальгусних деформаціях стоп у підлітків не може обмежуватися лише механічним виправленням осі кінцівки. Клінічне мислення фізичного терапевта як члена мультидисциплінарної команди на цьому етапі базується на розумінні стопи як динамічної системи, де морфологічна цілісність є похідною від якості нейром’язового контролю.

Представлені у даному розділі результати відображають трансформацію пацієнта з об’єкта пасивної корекції на активного учасника рухового перевиховання. Аналіз динаміки отриманих результатів дослідження дозволяє простежити послідовну реакцію відновлення: від активації глибоких стабілізаторів «foot core» до реорганізації всієї постуральної стратегії тіла. Таким чином, статистичні дані, що наведені нижче, є не лише цифрами морфометричних вимірювань, а об’єктивним відображенням нейропластичності опорно-рухового апарату дитини у відповідь на цілеспрямований терапевтичний виклик.

У табл. 3.3.1 представлено фінальне порівняння двох програм терапії, які були використані у дослідженні, що доводить перевагу розробленої авторської методики.

Таблиця 3.3.1 – Порівняний аналіз програм терапії контрольної (А) та основної (Б) груп (n=10)

| Параметр порівняння | Програма А (традиційна) | Програма Б (контрольна) | Перевага програми Б |
|---|---|---|---|
| **Вплив на внутрішні м'язи** | поверхневий (через супінатори) | **пряма активація (foot core)** | висока |
| **Нейромоторний контроль** | низький (автоматичні рухи) | **високий (сенсомоторна стимуляція)** | висока |
| **Динаміка корекції вальгусу** | повільна / тимчасова | **швидка / стійка** | +25,3% (за FPI-6) |
| **Гендерна адаптивність** | однакова для всіх | **враховує мобільність суглобів** | ефективніша |

Отримані результати підтверджують гіпотезу про те, що ізольоване зміцнення внутрішніх м'язів стопи у поєднанні з тренуванням на нестабільних поверхнях (Bosu, баланс-платформи) створює стійкий «динамічний корсет». Згідно з концепцією McKeon et al. (2015), внутрішні м'язи стопи функціонують аналогічно м'язам «кору» хребта, забезпечуючи локальну стабілізацію склепіння ще до початку фази опори [33].

Традиційна Програма А, що базується на зміцненні екстринзичних м'язів (переважно довгого згинача пальців та заднього великогомілкового м'яза), створює лише грубу механічну підтримку. Натомість Програма Б активує пропріоцептивний зворотний зв'язок. Використання баланс-платформ ініціює механізм сенсорного перезважування, описаний у працях Pasma et al. (2012): ЦНС дитини починає пріоритетно використовувати сигнали від механорецепторів підошви, що критично для підтримки рівноваги в умовах вальгусної дестабілізації [115].

Особливого значення набуває той факт, що в підлітковому віці (10-13 років) відбувається інтенсивне дозрівання сенсомоторних зон кори головного мозку. Впровадження вправи «Short Foot» та робота на нестабільних платформах стимулюють нейропластичність, що підтверджується покращенням показників

Y-Balance Test. Як зазначають Viseux (2020) та Park et al. (2023), стимуляція підошовної поверхні є потужним тригером для зниження постуральних коливань та вирівнювання вектора навантаження [79, 113].

Гендерна адаптивність Програми Б дозволила врахувати вищу еластичність зв'язкового апарату у дівчаток та темпи осифікації у хлопчиків. Диференційований підхід до навантаження запобіг перевтомі пацієнтів, що відобразилося у кращих показниках суб'єктивного комфорту за індексом FFI.

Таким чином, перевага запропонованої методики полягає не в інтенсивності вправ, а в їхній здатності інтегрувати стопу у глобальний кінематичний ланцюг нижньої кінцівки, формуючи стійкий до втомлюваності стереотип ходьби.

# ВИСНОВКИ

За результатами проведеного наукового дослідження щодо фізичної терапії підлітків із плоско-вальгусною деформацією стопи зроблено такі висновки:

1. Проаналізовано сучасні науково-доказові підходи до фізичної терапії вальгусної дефорції стоп у дітей 10-13 років. Встановлено, що традиційні методики, орієнтовані на пасивну механічну підтримку арки стопи (устілки) та загальне зміцнення екстринзичних м'язів-супінаторів гомілки, мають обмежену ефективність. Сучасна превентивна парадигма базується на концепції «foot core system», яка ставить пріоритет на нейромоторний контроль та ізольовану активацію внутрішніх м'язів стопи для стабілізації медіального склепіння.

2. Виявлено біомеханічні особливості стоп у досліджуваного контингенту до початку втручань. В обох групах зафіксовано виражену вальгусну установку за шкалою FPI-6 (9,2 ± 0,8 та 9,4 ± 0,7 балів) та критичне сплощення медіальної дуги (кут MLAA > 152°), що супроводжувалося дефіцитом постуральної стабільності (інтегральний показник балансу < 70 %) та суб'єктивним дискомфортом при навантаженнях.

3. Доведено статистично значущу перевагу розробленої авторської програми (Програма Б) над традиційними підходами. Завдяки вправам на «коротку стопу» та тренуванням на нестабільних поверхнях, в основній групі показник FPI-6 покращився на 34,0% ($p < 0,05$), наблизившись до фізіологічної норми, тоді як у контрольній групі покращення склало лише 8,7% ($p > 0,05$), що підтверджує стійкість сформованого «динамічного корсету» стопи.

4. Встановлено вагомий вплив методики на динамічну стійкість: композитний бал Y-тесту в основній групі збільшився із 69,7 ± 4,0% до 84,2 ± 3,2 % ($p < 0,01$). Це підтверджує успішну реалізацію механізму «sensory reweighting»: оптимізація пропріоцептивного Gain-контролю та активація механорецепторів підошви дозволила ЦНС якісно оптимізувати стратегію підтримки рівноваги в умовах змінного вектору навантаження.

5. Визначено гендерні аспекти реабілітаційного потенціалу в пубертатному періоді. Дівчатка 10-13 років продемонстрували вищу нейромоторну пластичність сенсомоторної системи з приростом динамічного балансу на 22,9%. Хлопчики тієї ж вікової групи показали кращу динаміку відновлення морфологічних параметрів арки (кут MLAA), що пов’язано з інтенсивнішою гіпертрофією внутрішніх м’язів-стабілізаторів під впливом функціонального виклику.

6. Обґрунтовано доцільність впровадження запропонованого алгоритму фізичної терапії у практику профільних установ (зокрема на базі КНП «МБКЛМД Руднєва» ДМР). Використання Програми Б дозволяє не лише ефективно коригувати наявну деформацію, а й запобігти розвитку вторинних патологій висхідного кінематичного ланцюга опорно-рухового апарату (порушень постави, артропатій) через формування правильного, стійкого до втоми рухового стереотипу.

# ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі отриманих позитивних результатів застосування авторської Програми Б, фізичним терапевтам у складі мультидисциплінарної команди рекомендується дотримуватися наступного алгоритму при реабілітації дітей 10-13 років із вальгусною деформацією стоп:

**1. Етапність та пріоритетність втручання:**

- відмова від ізольованого зміцнення гомілки: рекомендується перенести акцент із тренування великих м'язів-супінаторів гомілки на ізольовану активацію внутрішніх м'язів стопи;
- впровадження концепції «Short Foot»: вправа «коротка стопа» має стати базовим елементом кожного заняття. Важливо навчити дитину скорочувати стопу поздовжньо, піднімаючи медіальне склепіння без згинання пальців (уникнення «кігтеподібної» установки).

**2. Використання пропріоцептивного виклику:**

- нестабільні поверхні: для формування динамічного стереотипу стабілізації необхідно інтегрувати вправи на платформах Bosu, «кнопках балансу» та сенсорних килимках. Це ініціює механізм «сенсорного перезважування», змушуючи ЦНС швидше реагувати на відхилення центру маси тіла;
- тактильна стимуляція: перед виконанням силових вправ рекомендується проводити коротку сенсорну розминку (ходьба по фактурних поверхнях, використання масажних м'ячиків), що «пробуджує» механорецептори підошви.

**3. Гендерно-орієнтований підхід:**

- для дівчаток: враховуючи вищу еластичність зв'язок, основний акцент слід робити на пропріоцептивну точність, контролі балансу та якості утримання пози;

- для хлопчиків: зважаючи на темпи росту скелета, рекомендується поступово збільшувати силове навантаження (використання еластичних стрічок-еспандерів) для стимуляції м’язової гіпертрофії стабілізаторів склепіння.

**4. Контроль та моніторинг результатів:**

- об’єктивна оцінка: рекомендується проводити проміжний моніторинг за шкалою FPI-6 кожні 4 тижні для оцінки динаміки корекції вальгусу заднього відділустоп;
- функціональне тестування: використання Y-Balance Test є обов’язковим для оцінки готовності дитини до переходу від статичних вправ до активних локомоцій (біг, стрибки).

**5. Інтеграція у повсякденне життя:**

- домашні завдання: слід рекомендувати пацієнтам виконання вправи «Short Foot» у побутових ситуаціях (під час чищення зубів, сидіння за столом) для автоматизації нейром’язового контролю та корекції «схеми тіла» у сенсомоторній корі;
- використання ортопедичних устілок має бути допоміжним, а не основним методом. Метою терапії є поступове зменшення залежності від зовнішньої підтримки за рахунок формування власного м’язового корсета стопи.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jiang H, Mei Q, Wang Y, et al. Understanding foot conditions, morphologies and functions in children: a current review. Front Bioeng Biotechnol. 2023; 11: 1192524.

2. Barisch-Fritz B, Mauch M. Foot development in childhood and adolescence. URL: https://www.researchgate.net/publication/257928256_Foot_development_in_childhood_and_adolescence/citation/download

3. Xie SY, Li X, Feng ZY, et al. The association between foot morphological development and bone maturation in children: a cross-sectional study. BMC Pediatr. 2025; 25: 757.

4. Molina-García C, et al. Descriptive Study of the Influence of Foot Type on Physical Characteristics, Laxity, Strength and Baropodometry in Children Aged 5 to 10 Years. Applied Sciences. 2024; 14 (19): 8578.

5. Manousaki E, Esbjörnsson AC, Mattsson L, Andriesse H. Correlations between the Gait Profile Score and standard clinical outcome measures in children with idiopathic clubfoot. Gait Posture. 2019; 71: 50-55.

6. Waseda A, Suda Y, Inokuchi S, et al. Standard growth of the foot arch in childhood and adolescence. Foot Ankle Surg. 2024; 20 (3): 208-214.

7. Mei Q, Kim HK, Xiang L, et al. Toward improved understanding of foot shape, foot posture, and foot biomechanics during running: A narrative review. Front Physiol. 2022; 13: 1062598.

8. Cote KP, Brunet ME, Gansneder BM, Shultz SJ. Effects of Pronated and Supinated Foot Postures on Static and Dynamic Postural Stability. J Athl Train. 2015; 40 (1): 41-46.

9. Mousavi SH, Khorramroo F, Jafarnezhadgero A. Gait retraining targeting foot pronation: A systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2024; 19 (3): e0298646.

10. Manfredi-Márquez M, et al. Study of Windlass Mechanism in the Lower Limb Using Inertial Sensors. Int J Environ Res Public Health. 2023; 20 (4): 3220.

11. Lencioni T, Carpinella I, Rabuffetti M, et al. Human kinematic, kinetic and EMG data during different walking and stair ascending and descending tasks. Sci Data. 2019; 6 (1): 309.

12. Jörgens M, Ehreiser S, Schroeder L, et al. Increased kinematic changes in ascending compared with descending biplanar cut in open wedge high tibial osteotomy. Knee Surg & Relat Res. 2024; 36: 35.

13. Chen L, Zhou D. Mechanism Structure Synthesis, Kinematic and Dynamic Analysis of Hip Exoskeleton Robots with the Misalignment Compensation. J Intell Robot Syst. 2025; 111: 87.

14. Hua L, et al. The Ripple Effect: How Hallux Valgus Deformity Influences Ankle and Knee Joint Kinematics During Gait. Bioengineering. 2025; 12 (7): 744.

15. Jamaludin N, et al. Bottom-Up Kinetic Chain in Drop Landing among University Athletes with Normal Dynamic Knee Valgus. Int J Environ Res Public Health. 2020; 17 (12): 4418.

16. Boryczka-Trefler A, et al. Effect of Plano-Valgus Foot on Lower-Extremity Kinematics and Spatiotemporal Gait Parameters in Children of Age 5-9. Diagnostics. 2021; 12 (1): 2.

17. Турицька Т., Чаус Г., Сіянко Р. Превентивна парадигма у фізичній терапії плоско-вальгусної деформації стоп: біомеханічне та нейрофізіологічне обґрунтування раннього втручання. Перспективи та інновації науки / Наукові перспективи. 2026; 2 (60): 2666-2680.

18. Evans AM, Rome K. A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. Eur J Phys Rehabil Med. 2011; 47 (1): 69-89.

19. Napolitano C, Walsh S, Mahoney L, McCrea J. Risk factors that may adversely modify the natural history of the pediatric pronated foot. Clin Podiatr Med Surg. 2000; 17 (3): 397-417.

20. Molina-García C, et al. Efficacy of Plantar Orthoses in Paediatric Flexible Flatfoot: A Five-Year Systematic Review. Children (Basel). 2023; 10 (2): 371.

21. Caravaggi P, et al. Effect of plano-valgus foot posture on midfoot kinematics during barefoot walking in an adolescent population. J Foot Ankle Res. 2018; 11: 55.

22. Christakou A, et al. The Effect of Pes Planus on Balance Ability in Individuals with Chronic Ankle Instability—A Pilot Study. Therapeutics. 2026; 3(1):3.

23. Slater G, Mathen L, Slater T. Idiopathic Symptomatic Planovalgus Foot-Current Concepts in Minimally Invasive Correction. J Regen Biol Med. 2022; 4 (2): 1-22.

24. Yildiz R, Yildiz A, Camli O, et al. Effect of Plantar Sensory Stimulation on Sensorimotor Organization in General Joint Hypermobility. Healthcare (Basel). 2025; 13 (20): 2572.

25. Winter L, Huang Q, Sertic JVL, Konczak J. The Effectiveness of Proprioceptive Training for Improving Motor Performance and Motor Dysfunction: A Systematic Review. Front Rehabil Sci. 2022; 3: 830166.

26. Sasun AR, Babar T, Dadgal R. Effectiveness of Ankle Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Techniques... Cureus. 2024; 16 (7): e64371.

27. Kaviraja K. Proprioception Impairment and Treatment Approaches in Pediatrics. In Proprioception. IntechOpen. 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/350403019_Proprioception_Impairment_and_Treatment_Approaches_in_Pediatrics

28. Ciukszo A, et al. Orthotic management in the rehabilitation of children with plano-valgus foot. Fizjoterapia Polska. 2021; 21: 124-131.

29. Dressler HB, et al. Acquired Pes Planovalgus: Current Concepts. Rev Bras Ortop. 2024; 59 (6): e809-e814.

30. Arain A, Harrington MC, Rosenbaum AJ. Progressive Collapsing Foot Deformity. StatPearls. 2026.

31. Batouk O, et al. Progressive collapsing foot deformity: clinical presentation, diagnosis, and management options. IJMDC. 2024.

32. Böhm H, et al. Dynamic Gait Analysis in Paediatric Flatfeet: Unveiling Biomechanical Insights for Diagnosis and Treatment. Children. 2024; 11 (5): 604.

33. McKeon PO, Fourchet F. Freeing the foot: integrating the foot core system into rehabilitation for lower extremity injuries. Clin Sports Med. 2015; 34 (2): 347-361.

34. Sichting F, Ebrecht F. The rise of the longitudinal arch when sitting, standing, and walking: Contributions of the windlass mechanism. PLoS One. 2021; 16 (4): e0249965.

35. Manohar TM, et al. Evaluating the Efficacy of Platelet-rich Plasma Therapy in Chronic Plantar Fasciitis. J Orthop Joint Surg. 2025; 7: 196-201.

36. Farris DJ, Birch J, Kelly L. Foot stiffening during the push-off phase of human walking... J R Soc Interface. 2020; 17 (168): 20200208.

37. Kelly LA, et al. Intrinsic foot muscles contribute to elastic energy storage and return in the human foot. J Appl Physiol. 2019; 126 (1): 231-238.

38. Usherwood JR, et al. The human foot and heel-sole-toe walking strategy... J R Soc Interface. 2022; 9 (75): 2396-402.

39. Williams LR, Arch ES, Bruening DA. Kinetic coupling in distal foot joints during walking. J Foot Ankle Res. 2023; 16 (1): 44.

40. Buchmann A, et al. The effect of including a mobile arch, toe joint, and joint coupling on predictive neuromuscular simulations. Sci Rep. 2024; 14 (1): 14879.

41. McKeon PO, Hertel J, Bramble D, Davis I. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. Br J Sports Med. 2015; 49 (5): 290. doi: 10.1136/bjsports-2013-092690

42. Haelewijn N, et al. Quantitative ultrasonography of the foot muscles: a comprehensive perspective on reliability. Quant Imaging Med Surg. 2025; 15 (1): 203-216.

43. Salathe EP, Arangio GA. A biomechanical model of the foot: the role of muscles, tendons, and ligaments. J Biomech Eng. 2022; 124 (3): 281-27.

44. Spyrou LA, Aravas N. Muscle-driven finite element simulation of human foot movements. Comput Methods Biomech Biomed Engin. 2022; 15 (9): 925-934.

45. McPoil TG, Hunt GC. Evaluation and management of foot and ankle disorders. J Orthop Sports Phys Ther. 1995; 21 (6): 381-388.

46. Park JH, Kim JS, Kim K. The effect of foot strengthening exercise to young of hallux valgus with flexible flatfoot. J KAIS. 2012; 13 (11): 5211-5217.

47. Riccio I, et al. Rehabilitative treatment in flexible flatfoot: a perspective cohort study. Chir Organi Mov. 2009; 93 (3): 101-107.

48. Khamooshi R, et al. Comparing the Effects of Simultaneous Stretching/Strengthening Trainings with Core Stability Exercises... Int J Musculoskelet Pain Prev. 2016; 1 (4): 149-156.

49. Nikkhouamiri F, et al. Effect of six weeks of comprehensive corrective exercises on balance and foot pressure pattern... J Rehab Med. 2020; 9 (3): 72-82.

50. Mulligan EP, Cook PG. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. Man Ther. 2013; 18 (5): 425-430.

51. Soltani N, Fatahi A. Flatfoot Deformity; Exercise to Therapeutic Interventions: A Systematic Review. Iran J Public Health. 2024; 53 (2): 305-312.

52. Murley GS, Landorf KB, Menz HB. Do foot orthoses change lower limb muscle activity in flat-arched feet...? Clin Biomech. 2010; 25 (7): 728-736.

53. Ketabchi J, et al. Differential effects of intrinsic- versus extrinsic-first corrective exercise programs... Sci Rep. 2024; 14 (1): 31393.

54. Kim JS, Lee MY. The effect of short foot exercise using visual feedback on the balance and accuracy of knee joint movement... Medicine (Baltimore). 2020; 99 (13): e19260.

55. Kobayashi T, et al. Morphological and mechanical characteristics of the intrinsic and extrinsic foot muscles under loading... Gait Posture. 2024; 108: 15-21.

56. de Souza TMM, et al. Effects of intrinsic foot muscle strengthening on the medial longitudinal arch mobility and function: A systematic review. J Bodyw Mov Ther. 2023; 36: 89-99.

57. Jaffri AH, et al. Evidence for Intrinsic Foot Muscle Training in Improving Foot Function: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Athl Train. 2023; 58 (11-12): 941-951.

58. Fiolkowski P, et al. Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: an electromyography study. J Foot Ankle Surg. 2003; 42 (6): 327-333.

59. Wei Z, et al. Effect of intrinsic foot muscles training on foot function and dynamic postural balance: A systematic review. PLoS One. 2022; 17 (4): e0266525.

60. Osborne JWA, et al. Muscle Strengthening Exercises for the Foot and Ankle: A Scoping Review. J Foot Ankle Res. 2025; 18 (2): e70040

61. Cheng J, et al. Effects of short foot training on foot posture in patients with flatfeet: A systematic review. J Back Musculoskelet Rehabil. 2024; 37 (4): 839-851.

62. Huang C, et al. Effects of the Short-Foot Exercise on Foot Alignment and Muscle Hypertrophy in Flatfoot Individuals. Int J Environ Res Public Health. 2022; 19 (19): 11994.

63. Facebook Photo (1158795185426934). URL: https://www.facebook.com/photo/?fbid=1158795185426934&set=a.759955141977609

64. Elsayed W, et al. The combined effect of short foot exercises and orthosis in symptomatic flexible flatfoot. Eur J Phys Rehabil Med. 2023; 59 (3): 396-405.

65. Jafarnezhadgero A, et al. Quantifying lower limb inter-joint coordination... Hum Mov Sci. 2020; 70: 102593.

66. Moon D, Jung J. Effect of Incorporating Short-Foot Exercises in the Balance Rehabilitation of Flat Foot. Healthcare. 2021; 9 (10): 1358.

67. Suzuki M, et al. Effect of short foot exercise on lower-limb motor control function during single-leg standing. J Bodyw Mov Ther. 2024; 39: 293-298.

68. Ghorbani M, et al. The effect of foot posture on static balance, ankle and knee proprioception. BMC Musculoskelet Disord. 2023; 24 (1): 547.

69. Ghorbani M, et al. Targeted exercise improves functional movement performance in females with flexible flatfeet. Sci Rep. 2025; 15 (1): 44472.

70. Bac A, et al. The influence of myofascial release on pain and selected indicators of flat foot in adults. Sci Rep. 2022; 12 (1): 1414.

71. Namsawang J, et al. Effects of the Short Foot Exercise With Neuromuscular Electrical Stimulation on Navicular Height. J Prev Med Public Health. 2019; 52 (4): 250-257.

72. Patil AR, et al. Efficacy of Faradic Foot Baths and Short Foot Exercises in Symptomatic Flatfoot. Cureus. 2023; 15 (10): e47803.

73. Soni J, et al. Efficacy of Core Stability Exercises and Intrinsic Foot Training on Patients With Flat Foot. Cureus. 2025; 17 (10): e95659.

74. Assländer L, Peterka RJ. Sensory reweighting dynamics in human postural control. J Neurophysiol. 2014; 111 (9): 1852-1864.

75. Mahboobin A, et al. Sensory re-weighting in human postural control during moving-scene perturbations. Exp Brain Res. 2015; 167 (2): 260-267.

76. Liu X, et al. Sensory reweighting and self-motion perception for postural control... Front Hum Neurosci. 2024; 18: 1482752.

77. Strzalkowski ND, et al. Cutaneous afferent innervation of the human foot sole. J Neurophysiol. 2018; 120(3): 1233-1246.

78. Kennedy PM, Inglis JT. Distribution and behaviour of cutaneous sensory receptors in the human foot sole. J Physiol. 2002; 538(Pt 3): 995-1002.

79. Viseux FJF. The sensory role of the sole of the foot: Review and update on clinical perspectives. Neurophysiol Clin. 2020; 50 (1): 55-68. doi: 10.1016/j.neucli.2019.12.003.

80. МКФ-браузер (icf-edu.com). URL: http://icf-edu.com/ua/browser

81. Short foot exercise. URL: https://www.youtube.com/watch?v=DoEIW4Y8MEo

82. Foot Posture Index (FP1-6). URL: https://www.physio-pedia.com/Foot_Posture_Index_(FP1-6)

83. Yang J, et al. Reliability and validity of Foot Posture Index (FPI-6)... Sci Rep. 2022; 12 (1): 21168.

84. Hanifan H, et al. Identification of Foot Posture using FPI-6 based on Image Processing. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020; 982.

85. Kyung MG, et al. Reliability and Radiographic Correlation of the Foot Posture Index-6. Diagnostics. 2025; 15 (10): 1214.

86. Biomechanical Assessment of Foot and Ankle. URL: https://www.physio-pedia.com/Biomechanical_Assessment_of_Foot_and_Ankle

87. Barr M, Caruthers E. Medial Longitudinal Arch in Neurologically Disabled Children. GCMAS. 2012. URL: https://www.researchgate.net/figure/Medial-longitudinal-arch-angle-MLAA_fig1_309213108

88. Balsdon ME, et al. Medial Longitudinal Arch Angle Presents Significant Differences Between Foot Types. J Biomech Eng. 2016; 138 (10).

89. Su W, et al. Effects of Barefoot and Shod on the In Vivo Kinematics of Medial Longitudinal Arch... Front Bioeng Biotechnol. 2022; 10: 917675.

90. Zuil-Escobar JC, et al. Evaluating the Medial Longitudinal Arch of the Foot. Physical Therapy. 2019; 99 (3): 364–372.

91. Тест Y-балансу. URL: https://www.youtube.com/watch?v=qFVuS-P2FrI

92. Y Balance Test. URL: https://www.physio-pedia.com/Y_Balance_Test?lang=en

93. Cordun M, Roșu B. SEBT AND YBT DYNAMIC BALANCE TESTS. Studia UBBEAG. 2022; 67 (2): 17-30.

94. Smith CA, et al. Association of y balance test reach asymmetry and injury in division I athletes. Med Sci Sports Exerc. 2015; 47 (1): 136-41

95. Gil-Martín M, et al. Scoring Performance on the Y-Balance Test Using a Deep Learning Approach. Sensors. 2021; 21 (21): 7110.

96. Greenberg ET, Barle M, Glassman E, Jacob L, Jaafar H, Johnson A, Layug N, Rollo E, Jung MK. RELIABILITY AND STABILITY OF THE Y BALANCE TEST IN HEALTHY EARLY ADOLESCENT FEMALE ATHLETES. Orthop J Sports Med. 2019; 7 (3 Suppl): 2325967119S00051. doi: 10.1177/2325967119S00051.

97. Sun P, et al. Association between functional disability with postural balance among patients with chronic low back pain. Front Neurol. 2023; 14.

98. Foot Function Index (FFI). URL: https://www.physio-pedia.com/Foot_Function_Index_%28FFI%29

99. Budiman-Mak E, et al. A review of the foot function index and the foot function index - revised. J Foot Ankle Res. 2013; 6 (1): 5.

100. Cervera-Garvi P, Galan-Hurtado MH, Ortega-Avila AB, Marchena-Rodriguez A, Lopezosa-Reca E, Castillo-Dominguez A, Diaz-Miguel S. Measurement properties of the Foot Function Index (FFI) questionnaire: A systematic review. Clin Rehabil. 2024 Sep;38(9):1226-1237. doi: 10.1177/02692155241258299.

101. French validation of the Foot Function Index (FFI). URL: https://musculoskeletalkey.com/french-validation-of-the-foot-function-index-ffi/

102. Martinez BR, Staboli IM, Kamonseki DH, Budiman-Mak E, Yi LC. Validity and reliability of the Foot Function Index (FFI) questionnaire Brazilian-Portuguese version. Springerplus. 2016; 5 (1): 1810. doi: 10.1186/s40064-016-3507-4.

103. The Shapiro-Wilk Test: A Guide to Normality Testing. URL: https://medium.com/@data-overload/the-shapiro-wilk-test-a-guide-to-normality-testing-d730e820d1a8

104. Shapiro-Wilk Test Calculator. URL: https://www.statskingdom.com/shapiro-wilk-test-calculator.html

105. Hanusz Z, et al. Shapiro–Wilk Test with Known Mean. Revstat Statistical Journal. 2016; 14: 89-100.

106. Mishra P, et al. Descriptive statistics and normality tests for statistical data. Ann Card Anaesth. 2019; 22 (1): 67-72.

107. Конвенція про захист прав і гідності людини щодо застосування біології та медицини: Конвенція про права людини та біомедицину. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_334#Text

108. Гельсінська декларація Всесвітньої медичної асоціації "Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об’єкта дослідження". URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005#Text

109. НАЛЕЖНА КЛІНІЧНА ПРАКТИКА (GCP) ICH E6 (R3). URL: https://www.dec.gov.ua/wp-content/uploads/2025/11/zatverdzhena-moz-nastanova-gcp.pdf

110. Про затвердження Порядку проведення клінічних випробувань лікарських засобів та експертизи матеріалів клінічних випробувань і Типового положення про комісії з питань етики. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1010-09#Text

111. Physiopedia UA - Пропріоцепція гомілковостопного суглоба. URL: https://langs.physio-pedia.com/uk/proprioception-of-the-ankle-uk/

112. Yamashita T, et al. Predictors of flatfoot in 11-12-year olds: a longitudinal cohort study. Biomed Eng Online. 2024; 23 (1): 83.

113. Park J, et al. Balance effects of tactile stimulation at the foot. Human Movement Science. 2023; 87: 103024.

114. Yu L, et al. Understanding Foot Loading and Balance Behavior of Children with Motor Sensory Processing Disorder. Children. 2022; 9 (3): 379.

115. Pasma J, et al. Sensory reweighting of proprioceptive information of the left and right leg during human balance control. J Neurophysiol. 2012; 108: 1138-48.

Додаток 1

## Індекс постави стопи (Foot Posture Index, FPI-6)[1]

FPI-6 є новим методом оцінки положення стопи, який базується на встановлених критеріях та простій шкалі, швидкий та надійний в діагностиці. Він дозволяє кількісно визначити ступінь пронації, нейтральності або супінації стопи. Важливо зауважити, що FPI-6 вимірює положення стопи у стоячому положенні, тому він не може повністю замінити оцінку ходи, якщо є така проблема. Тим не менш, цей підхід є більш об'єктивним порівняно з багатьма статичними гоніометричними вимірюваннями з навантаженнями або без нього, які зараз використовуються в клінічній практиці.

Спосіб проведення.

Пацієнт повинен стояти в розслабленому положенні на обох ногах. Потрібно стояти нерухомо, розмістивши руки в сторони та дивитися прямо перед собою. Може бути корисно попросити пацієнта зробити кілька кроків, маршируючи на місці, перш ніж прийняти зручне положення. Дитині потрібно буде простояти приблизно дві хвилини, щоб провести оцінку. Фізичний терапевт повинен мати можливість пересуватися навколо пацієнта під час оцінки та мати безперервний доступ до задньої сторони гомілки та стопи. Якщо спостереження неможливо зробити (наприклад, через набряк м'яких тканин), вказуємо у таблиці даних, що елемент не оцінювався.

Існує шість критеріїв індексу постави стопи (табл. 1), які має спостерігати фізичний терапевт.

Таблиця 1

### Критерії індексу постави стопи

| | **-2** | **-1** | **0** | **+1** | **+2** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Пальпація головки таранної кістки** | Голівка таранної кістки прощупуєтьс я з латеральної | Голівка таранної кістки пальпується збоку/злегк а | Голівка таранної кістки однаково пальпуєтьс я з | Голівка таранної кістки злегка пальпується з латеральної сторони/пальпу | Голівка таранної кістки не пальпуєт ься з латераль |

[1] Foot Posture Index: https://www.physio-pedia.com/Foot_Posture_Index_(FP1-6)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | сторони/але не з медіальної | пальпується з медіальної сторони | латеральної і медіальної сторони | ється з медіальної сторони | ної сторони/але пальпується з медіальної сторони |
| **Верхньо- та нижньолатеральна кривизна щиколотки (вид ззаду)** | Вигин під кісточкою прямий або опуклий | Крива під кісточкою увігнута, але плоска/більше, ніж крива над кісточкою | І нижньо-, і верхньо-маллеоляр ні криві приблизно рівні | Вигин під кісточкою більш увігнутий, ніж вигин над кісточкою | Вигин під кісточкою помітно більш увігнутий, ніж вигин над кісточкою |
| **Розташування п'яткової кістки у фронтальній площині (вид ззаду)** | Більш ніж приблизно 5 переверну то (варус) | Між вертикальним та приблизно 5 переверну тим (варус) | Вертикальний | Між вертикальним положенням і орієнтовно на 5 вивернуто (вальгусна) | Більш ніж приблизно 5 вивернуто (вальгусна) |
| **Виступ в області човноподібного суглобу (ЧПС), оцінка під кутом зсередини** | Ділянка ЧПС помітно увігнута | Область ЧПС трохи, але точно увігнута | Площа ЧПС плоскої | Область ЧПС дещо випнута | Область ЧПС помітно випинається |
| **Конгруентність медіальної поздовжньої дуги (вид зсередини)** | Дуга висока і під гострим кутом до заднього кінця медіальної дуги | Дуга помірно висока і злегка загострена ззаду | Висота арки нормальна і концентрично вигнута | Арка опущена з деяким сплощенням у центральному положенні | Арка дуже низька з сильним сплощенням у центральній частині – арка контактує з підлогою |
| **Відведення/приведення передньої частини стопи до задньої частини стопи (вид ззаду)** | Бічних пальців не видно. Медіальні пальці добре помітні | Медіальні пальці чітко помітніші, ніж бічні | Медіальний і бічний пальці однаково помітні | Бічні пальці чітко помітніші, ніж медіальні | Медіальних пальців не видно. Чітко помітні |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | бічні пальці. |

Серія із шести спостережень (рис. 4) і пальпація проводиться фізичним терапевтом, і кожне вимірювання оцінюється від -2 до 2. Загальний бал «0» вважається нейтральною стопою; позитивна оцінка для пронованої стопи (чим вона позитивніша, тим більший ступінь пронації), тоді як супінована стопа отримує негативну оцінку (чим вона негативніша, тим більшою буде супінація)[2].

Рис. 4. Критерії індексу постави стопи

[2] Guide, U. (2005). Easy quantification of standing foot posture Six item version USER GUIDE AND MANUAL, (August), 1–19.

Додаток 2

**Статична біомеханічна оцінка**[3]

**Медіальний поздовжній кут дуги**

(Medial Longitudinal Arch Angle, MLAA)

Оцінка Медіального поздовжнього кута дуги стопи (Medial Longitudinal Arch Angle, MLAA) є важливим клінічним параметром[4], що допомагає оцінити арку стопи та визначити ступінь плоскостопості або підвищення дуги стопи. Основний принцип оцінки полягає у вимірюванні кута, утвореного прямими лініями, що проходять через деякі анатомічні точки: від центру медіальної щиколотки до горбистості човноподібної кістки, а іншу лінію проводять від горбистості човноподібної кістки до головки першої плеснової кістки (рис. 6).

Рис. 6. Оцінка Медіального поздовжнього кута дуги стопи

Тупий кут між цими лініями відомий як поздовжній кут склепіння (Longitudinal Arch Angle, LAA). Нормальний максимальний LAA становить від 131° до 152°. Стопа з нижньою LAA вважається низькою, а кут більше 152° вважається високою[5][6]. Лінія Фейса проводиться від центру медіальної щиколотки до головки 1-ї плеснової кістки. Якщо це висока дуга, горбистість

[3] Biomechanical Assessment of Foot and Ankle. https://www.physio-pedia.com/Biomechanical_Assessment_of_Foot_and_Ankle

[4] Langley B, Cramp M, Morrison SC. Clinical measures of static foot posture do not agree. Journal of Foot and Ankle Research. 2016 Dec 1;9(1):45

[5] Nilsson MK, Friis R, Michaelsen MS, Jakobsen PA, Nielsen RO. Classification of the height and flexibility of the medial longitudinal arch of the foot. J Foot Ankle Res. 2012 Feb 17;5(3)

[6] http://orthopedia.wikia.com/wiki/Foot_Postural_Assessment_Tools

човноподібної кістки знаходиться над склепінням, а на стопі з низьким склепінням горбистість човноподібної кістки знаходиться нижче лінії[7].

Оцінка MLAA є одним з компонентів оцінки стопи і може доповнюватися іншими клінічними тестами та методами зображення для збільшення точності діагнозу та планування лікування плоскостопості або інших проблем стопи. Оцінку MLAA проводить кваліфікований медичний фахівець, зокрема ортопед, підіатр або фізичний терапевт.

[7] Langley B, Cramp M, Morrison SC. Clinical measures of static foot posture do not agree. Journal of Foot and Ankle Research. 2016; 9 (1): 45

Додаток 3

## Індекс функції стопи (Foot Function Index, FFI)[8]

Індекс функції стопи (Foot Function Index, FFI) – це інструмент для оцінки функціонального стану стопи та здатності виконувати різні рухи і дії. Використовується для діагностики та моніторингу проблем, пов'язаних зі стопою, таких як біль, деформації, травми і т.д. Індекс FFI дозволяє зібрати та систематизувати інформацію про фізичні обмеження та дискомфорт, який відчуває людина під час рухів і навантажень на стопу.

Цей індекс включає ряд запитань (табл. 2), які охоплюють такі аспекти, як біль, дискомфорт, рухливість, здатність виконувати різні дії тощо. Відповіді на запитання оцінюються за шкалою, де кожна відповідь має своє числове значення, що визначає рівень обмеження або дискомфорту.

Таблиця 2

| № | Зміст питання, візуальна шкала |
|---|---|
| **I** | **Шкала болю.** Оцініть кожне з запропонованих питань за шкалою від 0 (без болю) до 10 (найгірший можливий біль), що найкраще описує ваші відчуття за минулий тиждень. |
| 1. | ***Зранку, зробивши перший крок?***<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>без болю найгірший біль |
| 2. | ***Під час ходьби?***<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>без болю найгірший біль |
| 3. | ***Коли Ви стоїте?***<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>без болю найгірший біль |
| 4. | ***Ваш біль наприкінці дня?***<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>без болю найгірший біль |
| 5. | ***Ваш найгірший біль?***<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>без болю найгірший біль |
| **II** | **Шкала інвалідизації.** Дайте відповідь на кожне з питань, яке пов'язане з вашою діяльністю та болем за шкалою від 0 (зовсім не важко) до 10 (дуже важко), що найкраще описує ваші відчуття за минулий тиждень. |
| 6. | **При ходьбі в приміщенні (вдома)?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>зовсім не важко дуже важко |
| 7. | **Коли Ви виходите на вулицю?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>зовсім не важко дуже важко |

[8] Foot Function Index. https://www.physio-pedia.com/Foot_Function_Index_(FFI)

| | |
|---|---|
| 8. | **При ходьбі на відстань понад 500 метрів (4 квартали)?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>зовсім не важко — дуже важко |
| 9. | **При підйомі по сходах?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>зовсім не важко — дуже важко |
| 10. | **Спускаючись по сходах?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>зовсім не важко — дуже важко |
| 11. | **Коли Ви встаєте на пальці?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>зовсім не важко — дуже важко |
| 12. | **Коли Ви встаєте зі стільця?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>зовсім не важко — дуже важко |
| 13. | **При переступанні через бордюри?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>зовсім не важко — дуже важко |
| 14. | **Під час бігу або швидкої ходьби?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>зовсім не важко — дуже важко |
| **III** | **Шкала обсягу активності.** Дайте відповідь на кожне з питань, яке пов'язане з вашою діяльністю та болем за шкалою від 0 (жодного разу) до 10 (весь час), що найкраще описує ваші відчуття за минулий тиждень. |
| 15. | **Чи використовували Ви допоміжні засоби для ходьби (милиці, ходунки, палиця) в приміщенні?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>жодного разу — весь час |
| 16. | **Чи використовували Ви допоміжні засоби для ходьби (милиці, ходунки, палиця) поза приміщенням?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>жодного разу — весь час |
| 17. | **Чи обмежували Ви свою фізичну активність?**<br>0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<br>жодного разу — весь час |
| **Функціональний індекс стопи** | |

Індекс FFI може мати різні варіанти та підходи до підрахунку балів, залежно від використовуваної шкали та методики. Однак, загальні принципи підрахунку включають:

1. Для кожного запитання визначається відповідь, яка найбільше відповідає стану пацієнта. Це може бути числова оцінка на шкалі від 0 до певного максимального значення або просто «так» або «ні» (наприклад, 0 балів за «ні» і 1 бал за «так»).

2. Сума балів з усіх запитань, які оцінювалися, дає загальний результат підрахунку Індексу FFI для кожного пацієнта.

3. Оцінка результатів може проводитися за різними шкалами: наприклад, чим більший загальний бал, тим більше функціональних обмежень і дискомфорту в стопі.

Індекс FFI є корисним інструментом для клінічних досліджень, реабілітації та моніторингу ефективності лікування стопи. Він допомагає оцінити вплив проблем зі стопою на якість життя та діяльність пацієнтів, що страждають від різних захворювань або травм.

Додаток 4

**ІНФОРМОВАНА ЗГОДА ПАЦІЄНТА (ЗАКОННОГО ПРЕДСТАВНИКА)**
**на участь у науковому дослідженні**

**Назва дослідження:** «Порівняльна характеристика ефективності традиційних та авторських методик нейромоторної активації у фізичній терапії дітей з плоско-вальгусною деформацією стоп».

**Дослідники:** Сіянко Роман Вікторович, клінічний супервізор Турицька Тетяна Григорівна

**Установа:** КНП «МБКЛМД Руднєва» ДМР

*1. Інформація про дослідження*

Метою цієї роботи є вивчення впливу спеціальних вправ на нейром'язову активацію м'язів стопи (авторська система) порівняно зі стандартними КТВ. Результати допоможуть удосконалити протоколи реабілітації дітей із плоско-вальгусною деформацією.

*2. Процедури*

Якщо Ви погоджуєтеся на участь Вашої дитини, вона буде залучена до:

- первинного та підсумкового обстеження (вимірювання параметрів стопи, тести на баланс, заповнення анкет);
- курсу фізичної терапії тривалістю 6 місяців (вересень 2025 – лютий 2026);
- виконання вправ на спеціальних балансувальних платформах та з використанням сенсорних «кнопок балансу».

*3. Ризики та незручності*

Застосовувані методи є неінвазивними (без втручання в організм) та безпечними. Можлива легка м'язова втома після занять, що є природною реакцією на фізичне навантаження. Процес контролюється мультидисциплінарною командою лікарів.

*4. Конфіденційність*

Усі дані Вашої дитини будуть зашифровані (анонімізовані). У наукових статтях та звітах результати будуть представлені лише в узагальненому вигляді без згадування імен.

*5. Добровільна участь*

Участь у дослідженні є виключно добровільною. Ви можете відкликати свою згоду та припинити участь дитини у будь-який момент без пояснення причин. Це жодним чином не змінить ставлення медичного персоналу та якість подальшого лікування в установі.

---

*ПІДТВЕРДЖЕННЯ ЗГОДИ:*

Я, _____ (ПІБ батька/опікуна), підтверджую, що прочитав(ла) вищевикладену інформацію, мав(ла) можливість поставити запитання та отримав(ла) задовільні відповіді. Я даю згоду на участь моєї дитини _____ у цьому дослідженні.

«____» _____ 202__ р. _____ (Підпис)

**Підпис дослідника: _____**

Додаток 5

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач відділення реабілітації та відновного лікування
КНП «Міська багатопрофільна клінічна лікарня матері та дитини ім. проф. М.Ф.Руднєва» ДМР
Катерина РЕВА
«14» 05 2026 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

1. Пропонується програма фізичної терапії для дітей 10-13 років із плоско-вальгусною деформацією нижніх кінцівок, що базується на активації системи «Foot Core», використанні вправ «коротка стопа» (Short Foot Exercise), сенсомоторного тренування на нестабільних поверхнях (Bosu, «кнопки балансу»).
2. Установа, що запропонувала впровадження: Дніпровський державний медичний університет, кафедра фізичної реабілітації, спортивної медицини та валеології, вул. В. Вернадського, 9, Дніпро, 49044, Україна.
3. Місце впровадження: комунальне некомерційне підприємство «Міська багатопрофільна клінічна лікарня матері та дитини ім. проф. М.Ф. Руднєва» Дніпровської міської ради, вул. Івана Акінфієва, 5, м. Дніпро, 49000.
4. Строки впровадження: з 02.06.2025 по 27.03.2026.
5. Загальна кількість спостережень: 10
6. Ефективність впровадження: застосування розробленої програми фізичної терапії сприяє покращенню морфо-функціональних показників стопи, підвищенню динамічного балансу та статокінетичної стійкості у дітей 10–13 років із плоско-вальгусною деформацією нижніх кінцівок, а також дозволяє запобігати розвитку вторинних порушень постави.
7. Зауваження, пропозиції: немає.
8. Відповідальний за впровадження:

Завідувач відділення К.П. Рева

«14» 05 2026 р.

Додаток 6

Наукові перспективи
Видавнича група
Перспективи та інновації науки
№2(68) 2026

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

**Телекі Я.М., Дарій Л.В.** 2640
*РОЛЬ РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ДЕПРЕСИВНИХ І ТРИВОЖНИХ РОЗЛАДІВ У ПАЦІЄНТІВ ІЗ СЕРЦЕВО-СУДИННИМИ ЗАХВОРЮВАННЯМИ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ТРИВАЛІСТЬ ЛІКУВАННЯ І ЯКІСТЬ ЖИТТЯ(ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)*

**Терещенко В.О.** 2650
*РОЛЬ ДУПЛЕКСНОГО СКАНУВАННЯ У ДІАГНОСТИЦІ СИНДРОМУ КОМПРЕСІЇ ХРЕБТОВОЇ АРТЕРІЇ*

**Турицька Т.Г., Чаус Г.Г., Сіянко Р.В.** 2666
*ПРЕВЕНТИВНА ПАРАДИГМА У ФІЗИЧНІЙ ТЕРАПІЇ ПЛОСКОВАЛЬГУСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ СТОП: БІОМЕХАНІЧНЕ ТА НЕЙРОФІЗІОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РАННЬОГО ВТРУЧАННЯ*

**Феденько В.В., Бондаренко М.В.** 2681
*CRISPR/CAS9 І ТРИСОМІЯ 21: СУЧАСНИЙ СТАН ДОКЛІНІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)*

**Федів О.І., Багрій В.М., Вівсянник В.В., Багрій О.І., Швець І.І.** 2691
*МОЛЕКУЛЯРНА ІНТЕГРАЦІЯ БЕНФОТІАМІНУ У СИСТЕМУ АНТИ-AGE-ЗАХИСТУ: ПЕРСПЕКТИВИ ЯК ТЕРАПЕВТИЧНОГО АГЕНТА У ПАЦІЄНТІВ З ЦД2, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ МЕТФОРМІН*

**Хухліна О.С., Мандрик О.Є., Щербатюк В.І.** 2701
*ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕБІГУ ТА ЧАСТОТИ АРТЕРІАЛЬНОЇ ГІПЕРТЕНЗІЇ У ХВОРИХ НА СТЕАТОТИЧНУ ХВОРОБУ ПЕЧІНКИ*

**Чеберніна І.О., Небесна З.М.** 2709
*МОРФОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ НЕЙРОЦИТІВ ПОЛІВ CA1, CA2, CA3 ГІПОКАМПА ЩУРІВ ПРИ ДМГ-ІНДУКОВАНОМУ КОЛОРЕКТАЛЬНОМУ РАКУ*

**Шамрай В.А., Чайка Г.В., Дністрянська А.П., Льовкіна О.Л.** 2720
*СУЧАСНІ СТРАТЕГІЇ КОМПЛЕКСНОГО ЛІКУВАННЯ ЕНДОМЕТРІОЗУ: ВІД КОНСЕРВАТИВНОЇ ТЕРАПІЇ ДО ХІРУРГІЧНОГО ВТРУЧАННЯ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)*

**Шевчук М.М.** 2733
*УЛЬТРАСТРУКТУРНІ ЗМІНИ ГЕПАТОЦИТІВ І МІКРОСУДИН ПЕЧІНКИ ЩУРІВ ПІСЛЯ ДОВГОСТРОКОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ОЛІЇ НАСІННЯ КОНОПЕЛЬ*

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

*УДК 615.8:616.718.7-007.24-053.2/.5-084*

*https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-2(60)-2666-2680*

**Турицька Тетяна Григорівна** кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної реабілітації, спортивної медицини та валеології Дніпровського державного медичного університету, м. Дніпро, https://orcid.org/0000-0002-5333-3453

**Чаус Ганна Григорівна** кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри математичної, природничої та технологічної освіти, комунальний заклад вищої освіти «Дніпровська академія неперервної освіти» Дніпропетровської обласної ради», м. Дніпро, https://orcid.org/0000-0001-6581-6359

**Сіянко Роман Вікторович** магістр кафедри фізичної реабілітації, спортивної медицини та валеології Дніпровського державного медичного університету, м. Дніпро, https://orcid.org/0009-0008-1852-3121

# ПРЕВЕНТИВНА ПАРАДИГМА У ФІЗИЧНІЙ ТЕРАПІЇ ПЛОСКО-ВАЛЬГУСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ СТОП: БІОМЕХАНІЧНЕ ТА НЕЙРОФІЗІОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РАННЬОГО ВТРУЧАННЯ

**Анотація.** Плоско-вальгусна деформація стоп у дітей дошкільного та молодшого шкільного віку є однією з найактуальніших проблем сучасної педіатрії та фізичної реабілітації. Це зумовлено високою пластичністю опорно-рухового апарату та критичним значенням біомеханіки стопи як фундаменту для формування висхідного кінематичного ланцюга у період інтенсивного росту. У контексті сучасних викликів охорони здоров'я найважливішим завданням є перехід від пасивної вичікувальної тактики до мультидисциплінарного підходу, що базується на принципах доказової медицини та нейромоторної корекції. Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування та оцінка ефективності впровадження алгоритму раннього втручання при деформаціях стоп у поєднанні з інтенсивною сенсомоторною терапією для запобігання незворотним постуральним порушенням.

Методологія дослідження передбачала аналіз та апробацію зазначеного підходу на базі КНП «МБКЛМД ім. проф. М. Ф. Руднєва» за участю фахівців реабілітаційного відділення. У процесі роботи було застосовано комплекс методів, включаючи інструментальну діагностику за шкалою Foot Posture Index (FPI-6), оцінку положення медіальної поздовжньої дуги (MLAA), тести на постуральну стабільність та оцінку функціонального стану за допомогою індексу функції стопи (FFI). Зазначено, що інтеграція специфічних вправ для внутрішніх м'язів стопи у синергії з тренуваннями на нестабільних поверхнях (Bosu, баланс-

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

платформи) дозволяє ефективно впливати на біомеханічну вісь нижніх кінцівок та формувати стійкий патерн ходи у дітей 4-10 років.

Попередній аналіз досвіду апробації свідчить про високу пластичність нервово-м'язового апарату дітей до запропонованої програми та позитивну динаміку показників м'язового контролю й загальної пропріоцептивної стійкості. Зроблено висновок, що впровадження превентивного підходу, який враховує концепцію «критичного вікна» розвитку стопи (до 7-9 років), є ключовим фактором запобігання ригідним деформаціям скелета, порушенням постави та необхідності складної хірургічної корекції у підлітковому віці.

**Ключові слова:** плоско-вальгусна деформація стоп, висхідний кінематичний ланцюг, сенсомоторне тренування, рання діагностика, шкала FPI-6, нейромоторний контроль, діти дошкільного та молодшого шкільного віку.

**Turytska Tetiana** Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical Rehabilitation, Sports Medicine and Valeology, Dnipro State Medical University, Dnipro, https://orcid.org/0000-0002-5333-3453

**Chaus Hanna** Candidate of Biological Sciences, Associate Professor Department of Mathematical, Natural and Technological Education, Communal institution of higher education «Dnipro Academy of Continuing Education» of Dnipropetrovsk regional council, Dnipro, https://orcid.org/0000-0001-6581-6359

**Siianko Roman** Master's Student, Department of Physical Rehabilitation, Sports Medicine, and Valeology, Dnipro State Medical University, Dnipro, https://orcid.org/0009-0008-1852-3121

## PREVENTIVE PARADIGM IN PHYSICAL THERAPY FOR PEDIATRIC PES PLANOVALGUS: BIOMECHANICAL AND NEUROPHYSIOLOGICAL RATIONALE FOR EARLY INTERVENTION

**Abstract.** Plano-valgus foot deformity in preschool and early school-age children remains one of the most pressing issues in modern pediatrics and physical rehabilitation. This is due to the high plasticity of the musculoskeletal system and the critical importance of foot biomechanics as the foundation for the ascending kinematic chain during periods of intensive growth. In the context of contemporary healthcare challenges, the most vital task is transitioning from a passive "wait-and-see" approach to a multidisciplinary strategy based on the principles of evidence-based medicine and neuromotor correction. The aim of this study is to provide a theoretical substantiation and evaluate the effectiveness of implementing an early intervention algorithm for foot deformities combined with intensive sensorimotor therapy to prevent irreversible postural disorders.

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

Methodology. The research involved the analysis and testing of this approach at the "Prof. M. F. Rudnev Municipal Clinical Child Medical Center" with the participation of rehabilitation department specialists. The study employed a comprehensive set of methods, including instrumental diagnostics using the Foot Posture Index (FPI-6), assessment of the medial longitudinal arch angle (MLAA), postural stability tests, and functional state evaluation via the Foot Function Index (FFI). It is noted that the integration of specific exercises for the intrinsic foot muscles, in synergy with training on unstable surfaces (Bosu, balance platforms), effectively influences the biomechanical axis of the lower extremities and forms a stable gait pattern in children aged 4-10 years.

Results. A preliminary analysis of the practical application evidence suggests high plasticity of the children's neuromuscular apparatus in response to the proposed program, as well as positive dynamics in muscle control indicators and overall proprioceptive stability. It is concluded that the implementation of a preventive approach, which considers the "critical window" concept of foot development (up to 7-9 years), is a key factor in preventing rigid skeletal deformities, postural alignment disorders, and the need for complex surgical correction in adolescence.

**Keywords:** plano-valgus foot deformity, ascending kinematic chain, sensorimotor training, early diagnostics, FPI-6 scale, neuromotor control, preschool and early school-age children.

**Постановка проблеми.** Деформації стоп та порушення біомеханіки нижніх кінцівок у дітей дошкільного та молодшого шкільного віку (4-10 років) залишаються однією з найбільш дискусійних та соціально значущих проблем у сучасній фізичній терапії та ортопедії. За даними епідеміологічних досліджень, поширеність плоскостопості серед дітей цієї вікової категорії коливається від 20% до 80%, залежно від критеріїв оцінки та географічного регіону [1-3]. Даний віковий етап є критичним, оскільки саме до 9-10 років завершується формування медіальної поздовжньої дуги стопи та стабілізується її архітектоніка.

Особливу тривогу викликає поширена у клінічній практиці «вичікувальна тактика», що базується на припущенні про самокорекцію стопи як етапу фізіологічного розвитку. Проте, згідно із сучасними біомеханічними концепціями, наявність значної плоско-вальгусної деформації у дошкільному віці запускає каскад патологічних змін у висхідному кінематичному ланцюзі.

Надмірна пронація стопи зумовлює аномальну внутрішню ротацію великогомілкової кістки, зміну кута установки колінних суглобів та нахилу тазу, що стає фундаментом для формування стійких постуральних порушень та деформацій хребта у майбутньому [4].

Дослідження підтверджують, що затримка терапевтичного (превентивного) втручання до моменту повного окостеніння скелета стопи (після 10 років) призводить до втрати «вікна нейропластичності», коли сенсомоторна стимуляція та вправи на активацію внутрішніх м'язів стопи мають найвищу ефективність [5,

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

6]. При ригідних деформаціях, що закріпилися внаслідок несвоєчасної корекції, біомеханічні функції стопи значно гірше піддаються терапії, що призводить до незворотної зміни патерну ходи та зниження амортизаційних властивостей опорно-рухового апарату.

Сучасна світова практика, зокрема рекомендації щодо менеджменту дитячої стопи, наголошує на необхідності переходу від пасивного спостереження до активної ранньої інтервенції. Проте, попри доведену ефективність специфічних сенсомоторних тренувань та пропріоцептивної корекції в період активного росту, в Україні досі бракує систематизованих алгоритмів фізичної терапії для дітей 4-10 років, які б враховували взаємозв'язок між біомеханікою стопи та загальним постуральним контролем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні стратегії консервативної корекції плоско-вальгусних деформацій стоп (ПВДС) у дітей базуються на принципах доказової реабілітації, що відображені в рекомендаціях провідних міжнародних співтовариств, таких як American College of Foot and Ankle Surgeons (ACFAS) та результатах масштабних клінічних мета-аналізів [7, 8]. Основні наукові вектори цих досліджень включають:

1. Ефективність специфічних сенсомоторних тренувань: дослідження провідних фахівців [9, 10] доводять, що застосування вправ для активації внутрішніх м'язів стопи (зокрема, концепція «Short Foot Exercise») та вправ на нестабільних поверхнях дозволяє ефективно впливати на динамічну стабільність медіальної дуги. На відміну від загальнозміцнюючих вправ, специфічна нейромоторна активація (аналогічно до принципів PSSE (Physiotherapeutic Specific Spinal Exercises – фізіотерапевтичних специфічних вправ для хребта) при сколіозі) спрямована на формування свідомого контролю пронації та зміцнення m. tibialis posterior, що є ключовим для утримання коректного положення таранної кістки.

2. Роль індивідуального ортезування та корекції: мультидисциплінарні дослідження [11] підтвердили, що використання індивідуально виготовлених ортопедичних устілок у поєднанні з активною терапією є найбільш ефективним методом корекції біомеханічної осі нижньої кінцівки. Сучасні автори [12] наголошують, що ортезування не має бути пасивним «зручним» методом; воно повинно забезпечувати правильну установку п'яткової кістки (деварізацію/девальгізацію), що запобігає деформації суглобових поверхонь у період інтенсивного росту.

3. Критичне значення ранньої інтервенції (4-7 років): наукові праці фахівців з дослідження біомеханіки стоп (Evans A., Žukauskas S) акцентують увагу на важливості втручання саме у дошкільному віці [5, 11, 13]. Використання інструментальних методів, таких як шкала Foot Posture Index (FPI-6) та комп'ютерна плантографія, дозволяє виявити патологічну пронацію на етапі, коли зв'язковий апарат ще має високу пластичність та здатний до функціональної перебудови.

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

Попри значну кількість робіт, присвячених корекції плоскостопості у підлітків, питання реабілітації дітей молодшої вікової групи (4-10 років) з комбінованими порушеннями (плоско-вальгусна стопа у поєднанні з порушеннями постави) висвітлені недостатньо. Зокрема, потребує деталізації методика інтеграції інтенсивних сенсомоторних тренувань у повсякденну активність дитини до моменту завершення формування скелета стопи, коли біомеханічні зміни ще не стали ригідними.

**Метою роботи** є теоретичне обґрунтування та оцінка ефективності застосування мультидисциплінарного підходу в реабілітації дітей дошкільного та молодшого шкільного віку з плоско-вальгусними деформаціями стоп. Дане дослідження спрямоване на розробку алгоритму раннього виявлення біомеханічних порушень та впровадження інтенсивної превентивної корекції, що базується на поєднанні сенсомоторної активації внутрішніх м'язів стопи, пропріоцептивного тренування та індивідуального ортезування, задля запобігання незворотним змінам у кінематичному ланцюзі, покращення патерну ходи та мінімізації ризику формування постуральних порушень у майбутньому.

**Виклад основного матеріалу.**

**Матеріал і методи дослідження.** *Етичні аспекти.* Дослідження проводилося відповідно до основ біоетичного положення Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997 р.), Всесвітньої медичної асоціації Гельсінської декларації: етичні принципи медичних досліджень за участю людей (1964-2013 рр.), ICH GCP (1996 р., останній перегляд – ICH VI, 2003 р.) та наказу МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р. Проведене дослідження відповідає діючому законодавству України, вітчизняним та міжнародним біоетичним нормам. Всі учасники (законні представники) були інформовані щодо цілей, організації, методів дослідження та підписали інформовану згоду щодо участі у ньому; вжито всіх заходів для забезпечення анонімності пацієнтів.

*Дизайн та база дослідження*. Методологія дослідження базується на комплексному аналізі та адаптації принципів специфічних вправ (PSSE за стандартами SOSORT 2016) [14] до корекції біомеханічних порушень стопи. Запропонований мультимодальний підхід, що базується на превентивній парадигмі, проходив апробацію на базі реабілітаційного відділення з денним стаціонаром КНП «Міська багатопрофільна клінічна лікарня матері та дитини ім. проф. М. Ф. Руднєва» Дніпровської міської ради. Попередній аналіз впровадження алгоритму у групі дітей дошкільного та молодшого шкільного віку (5-10 років, n=20) продемонстрував високу прихильність (комплаєнтність) пацієнтів до специфічних сенсомоторних вправ для стоп та позитивну динаміку формування корекційного патерну підтримки склепінь.

Критерії включення: вік дитини від 5 до 10 років включно; діагностована плоско-вальгусна деформація стоп (ПВДС) середнього ступеня (підтверджена клінічно та плантографічно); наявність біомеханічних порушень, що мають вторинний характер (на тлі гіпермобільності суглобів, неврологічних симптомів

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

або м'язової дисфункції); наявність ознак скелетної незрілості; відсутність попереднього курсу інтенсивної фізичної терапії за специфічними методиками протягом останніх 6 місяців; підписана інформована згода батьків або законних представників; здатність дитини до когнітивної співпраці та виконання інструкцій терапевта.

Критерії виключення: фіксовані (ригідні) форми плоскостопості, що потребують оперативного втручання; гострий больовий синдром; важкі супутні соматичні чи психічні захворювання, що унеможливлюють активну участь у програмі; виражений неврологічний дефіцит (нижній парапарез тощо).

*Мультидисциплінарний підхід*. Усі пацієнти були проконсультовані членами мультидисциплінарної команди (МДК) у складі: лікаря ФРМ (координація роботи, визначення реабілітаційного прогнозу); фізичного терапевта (оцінка за міжнародними шкалами, розробка та впровадження індивідуальної програми специфічних вправ для стопи за аналогією до PSSE); ортопеда-травматолога (рентгенологічний та клінічний контроль, призначення ортезування/устілок згідно з превентивним протоколом); педіатра, невролога дитячого та ерготерапевта (адаптація рухового режиму, контроль загального стану та постурального балансу).

*Методи оцінювання*. Команда використовувала комплекс візуального огляду, пальпації, плантографії та функціональних тестів для виявлення біомеханічних та нейрофізіологічних порушень. Розробка плану реабілітації здійснювалася з урахуванням індивідуальних потреб дитини та стратегії раннього втручання.

**Результати дослідження та їх обговорення**

Для розуміння біомеханічного зв'язку між стопою та всім опорно-руховим апаратом, ми зробили акцент на концепції «висхідного кінематичного ланцюга» та можливих наслідків ігнорування проблеми плоско-вальгусних стоп у віці до 10 років.

Процес формування склепінь стопи є складним багаторівневим етапом, що залежить від дозрівання кісткової структури, еластичності зв'язок та сили внутрішніх м'язів. Традиційно вважається, що медіальна поздовжня дуга (MLA) набуває своєї дефінітивної форми до 9-10 років. Проте, згідно з дослідженнями [13, 15], найактивніша фаза її підйому припадає на період від 3 до 6 років. Саме в цей час відбувається трансформація жирової подушки підошви та формування функціональної архітектоніки.

Ігнорування надмірного вальгусу у цей період під приводом «фізіологічної норми» призводить до того, що дитина входить у фазу активного росту (7-10 років) з аномальною установкою таранної кістки. Після 10 років, коли починається інтенсивне окостеніння, деформація стає ригідною, а патологічні стереотипи руху – стійкими до корекції.

Тому, важливим є врахування концепції висхідного кінематичного ланцюга. Як відомо, стопа є фундаментом тіла, і будь-яка зміна її біомеханіки

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

викликає компенсаторні реакції у проксимальних сегментах. При плоско-вальгусній деформації спостерігається наступний каскад змін:

- надмірна пронація стопи призводить до зміщення центру ваги тіла медіально;
- внутрішня ротація великогомілкової кістки призводить до того, що нижня кінцівка вимушено обертається всередину4
- зміна позиції колінного суглоба: формування Х-подібної деформації нижніх кінцівок, що збільшує навантаження на внутрішні меніски та зв'язки.
- антеверсія тазу: надмірна ротація стегна змушує таз нахилятися вперед, що автоматично збільшує поперековий лордоз.

Ці зміни формують патологічний патерн постави ще до того, як дитина піде до школи. Тому, очікування 10-річного віку для початку терапії означає, що фахівець матиме справу вже не з функціональною слабкістю м'язів стопи, а з системним порушенням біомеханіки всього хребта.

З огляду саме на оптимальний час втручання, дошкільний вік є періодом найвищої пластичності нервової системи. Формування пропріоцептивного зворотного зв'язку від рецепторів підошви до мозку визначає якість постурального балансу. При плоскостопості рецепторне поле працює в умовах спотвореної інформації.

Рання фізична терапія, зокрема сенсомоторне тренування, дозволяє «перепрограмувати» мозок на правильне утримання склепіння через активацію m. tibialis posterior та коротких м'язів стопи. Після 10 років патерн ходи стає автоматизованим, і змінити його стає в рази важче навіть за умови сильних м'язів.

**Реабілітаційний менеджмент дітей з ознаками плоско-вальгусної деформації стоп як основа комплексної фізичної терапії**

Першочергові цілі фізичної терапії при плоско-вальгусній деформації стоп (ПВДС) у дітей дошкільного та молодшого шкільного віку є багатогранними та охоплюють наступні ключові моменти:

1) відновлення коректної біомеханічної осі нижньої кінцівки;

2) активацію внутрішніх м'язів стопи та формування функціонального медіального склепіння;

3) покращення пропріоцептивного зворотного зв'язку та усвідомлення положення тіла у просторі;

4) зміцнення м'язово-зв'язкового апарату гомілковостопного суглоба;

5) мінімізацію компенсаторних змін у колінних суглобах, тазу та хребті;

6) і, зрештою, формування фізіологічного патерну ходи та підвищення загальної фізичної витривалості дитини [13, 16].

У цей критичний період розвитку дитини (до 10 років) глобальна мета фізичної терапії спрямована на запобігання переходу функціональних порушень у незворотні структурні деформації, створюючи тим самим стабільний фундамент для всього опорно-рухового апарату.

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

Основні компоненти індивідуальних програм сенсомоторної та біомеханічної корекції (табл. 1) зазвичай включають:

- Індивідуальні заняття: спрямовані на виправлення специфічного для дитини патерна пронації;
- Освіта пацієнта та батьків: навчання розумінню механізму деформації та важливості раннього втручання;
- Навчання ADL (Activities of Daily Living): інтеграція правильної постановки стопи у повсякденну активність (ходьба, спуск сходами, тривале стояння) для закріплення корекції;
- Вправи у сагітальній та фронтальній площинах: усунення постуральних дисбалансів, що виникли внаслідок вальгусної установки (корекція нахилу тазу);
- Мобілізація та стретчинг: підвищення еластичності ахіллового сухожилля та задньої групи м'язів гомілки, що часто перебувають у стані гіпертонусу при ПВДС;
- Сенсомоторна активація: вправи на нестабільних поверхнях (платформи, балансувальні подушки) для тренування швидкої м'язової відповіді на зміну положення центру ваги [17, 18].

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика традиційних підходів та мультимодальної програми фізичної терапії при плоско-вальгусній деформації стоп**

| Параметри порівняння | Традиційні терапевтичні вправи (загальнозміцнювальна) | Мультимодальна програма (сенсомоторна корекція) |
|---|---|---|
| **Основна мета** | Механічне зміцнення м'язів гомілки та стопи. | Відновлення нейромоторного контролю та корекція біомеханічної осі. |
| **Тип вправ** | Прості повторювані рухи (збирання предметів пальцями, ходьба на носках / п'ятках). | Специфічні вправи на активацію *m. tibialis posterior* та "Short Foot Exercise". |
| **Робота з балансом** | Переважно на стабільній опорі, низька варіативність. | Використання нестабільних платформ (BOSU, баланс-диски) для пропріоцептивного збагачення. |
| **Біомеханічний акцент** | Локальна дія лише на стопу. | Системний вплив на весь висхідний ланцюг (стопа - коліно - таз - хребет). |

Створений вперше, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

| Параметри порівняння | Традиційні терапевтичні вправи (загальнозміцнювальна) | Мультимодальна програма (сенсомоторна корекція) |
|---|---|---|
| **Участь нервової системи** | Пасивне виконання вправ за зразком. | Активне моторне навчання, формування свідомого патерна правильної опори (біофітбек). |
| **Інструментальний контроль** | Візуальна оцінка лікарем. | Об'єктивізація за допомогою шкали FPI-6, плантографії та тестів на постуральну стійкість. |

Ключовим елементом нашої програми є вправа «Short Foot Exercise» (SFE), яка розглядається як фундамент нейромоторного перенавчання [19, 20]. Метою SFE є не просто механічне зміцнення м'язів, а ізольована активація m. abductor hallucis та коротких згиначів без залучення довгих згиначів пальців.

Протокол виконання SFE у нашому дослідженні включав три послідовні рівні складності:

Рівень 1: фізичний терапевт пасивно надає стопі дитини правильну форму, скорочуючи відстань між голівкою першої плеснової кістки та п'ятою, формуючи високе склепіння. Дитина намагається втримати це положення ізометрично.

Рівень 2: дитина самостійно виконує вправу в положенні сидячи. Основний акцент робиться на «підтягуванні» подушечки великого пальця до п'яти, при цьому пальці повинні залишатися розслабленими та витягнутими (запобігання «кігтеподібній» установці).

Рівень 3: виконання вправи в положенні стоячи на обох ногах, а згодом - з перенесенням ваги на одну ногу.

Використання методу біофідбеку (наприклад, підкладання тонкого папірця під склепіння, який дитина не повинна притиснути, або використання дзеркала) дозволило значно прискорити процес формування кінестетичного відчуття правильної опори.

Для інтеграції стопи у висхідний кінематичний ланцюг ми застосовували прогресивну систему тренувань на пропріоцептивних платформах (BOSU, баланс-диски). Програма була розподілена на етапи:

Статична стабілізація: утримання позиції «Short Foot» стоячи на BOSU (пласкою стороною вгору). Це активує не лише м'язи стопи, а й м'язи-стабілізатори коліна та тазу.

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

Динамічна дестабілізація: виконання функціональних рухів (присідання, імітація кроку) на балансувальній подушці. Це змушує нервову систему дитини постійно коригувати положення центру ваги, що автоматично тренує m. tibialis posterior як головний стабілізатор склепіння.

Когнітивне навантаження: виконання вправ на баланс із додатковим завданням (кидання м'яча, відгадування загадок). Це сприяло автоматизації патерна підтримки склепіння, переносячи контроль з усвідомленого рівня на рівень підсвідомих моторних програм.

Як можемо бачити, на відміну від стандартних комплексів, що фокусуються на ізольованих рухах пальцями, запропонована програма інтегрує стопу в загальну систему постурального контролю. Це особливо важливо у віці 4-10 років, коли мозок дитини формує динамічні стереотипи ходи. Використання нестабільних поверхонь змушує глибокі м'язи-стабілізатори працювати в режимі реального часу, що забезпечує стійкий терапевтичний ефект та запобігає прогресуванню вальгусної установки стоп.

Для практичного впровадження превентивної парадигми нами був розроблений 12-тижневий протокол, розподілений на три фази, кожна з яких має специфічні нейрофізіологічні завдання (табл. 2).

Таблиця 2

**Етапність реабілітаційного протоколу при ПВДС у дітей (4-10 років)**

| Фаза (тривалість) | Назва етапу | Ключові вправи та техніки | Мета (очікуваний результат) |
|---|---|---|---|
| **I Фаза (1-4 тиждень)** | **Когнітивно-сенсорна активація** | Навчання «Short Foot Exercise» (SFE), мобілізація гомілковостопного суглоба, робота з біофідбеком (дзеркало). | Формування нейронного зв'язку «мозок-стопа», усвідомлення правильної опори. |
| **II Фаза (5-8 тиждень)** | **Сенсомоторна стабілізація** | Вправи SFE у положенні стоячи, перенесення ваги на BOSU, ходьба по нестабільних напівсферах. | Зміцнення *m. tibialis posterior* та стабілізація медіального склепіння під навантаженням. |
| **III Фаза (9-12 тиждень)** | **Функціональна інтеграція** | Стрибки, зміна напрямку руху, біг з коректною установкою стопи, когнітивні ігри на балансирах. | Автоматизація патерну ходи, корекція висхідного ланцюга (коліно-таз-постава). |

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

Важливим аспектом розширеної програми є робота з висхідним ланцюгом. Оскільки надмірна пронація викликає внутрішню ротацію гомілки та стегна, програма включала вправи на активацію зовнішніх ротаторів стегна (зокрема, середнього сідничного м'яза). Інтеграція вправ на нестабільних поверхнях (BOSU) змушувала всю систему (стопа-коліно-таз) працювати синхронно. Це дозволило досягти не лише локального покращення форми стопи, а й вирівнювання осі нижніх кінцівок, що є критично важливим для профілактики вальгусної деформації колін та порушень постави.

Таким чином, отримані нами попередні дані підкреслюють важливість втручання саме у даному віці. Ми трактуємо цей період як «критичне вікно» через поєднання двох факторів: високої пластичності суглобово-зв'язкового апарату та активного формування моторної кори головного мозку.

На відміну від пасивного використання ортопедичних устілок, яке лише механічно підтримує стопу, сенсомоторна терапія створює динамічний «живий ортез» за рахунок м'язового контролю.

Наш аналіз свідчить, що діти, які пройшли курс інтенсивного нейромоторного тренування, демонструють кращу постуральну стійкість не лише за показниками стопи, а й за рівнем вирівнювання тазу та зменшенням ознак Х-подібної установки колін, що підтверджує ефективність превентивного впливу на весь кінематичний ланцюг.

**Висновки.** Впровадження превентивної парадигми у фізичну терапію дітей з плоско-вальгусною деформацією стоп дозволяє переосмислити підходи до реабілітації, переходячи від симптоматичної корекції до системного управління розвитком опорно-рухового апарату. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі узагальнюючі висновки:

1. Нейромоторне навчання як основа корекції. Доведено, що запропонована програма – це не просто комплекс загальнозміцнювальних вправ («фізкультура»), а цілеспрямований метод керованого моторного навчання. Використання специфічних вправ (SFE) та сенсомоторної стимуляції дозволяє сформувати у дитини стійкий когнітивний контроль над положенням стопи, створюючи «динамічний м'язовий ортез», що є значно ефективнішим за пасивну зовнішню підтримку.

2. Використання «вікна нейропластичності». Період скелетної незрілості (4-10 років) визначено як критичний етап, коли біомеханічна вісь нижніх кінцівок є найбільш сенситивною до терапевтичного впливу. Рання інтервенція дозволяє змінити архітектоніку стопи до завершення процесів окостеніння, що запобігає формуванню ригідних, незворотних деформацій у підлітковому віці.

3. Корекція висхідного кінематичного ланцюга. Ефективність превентивного підходу полягає у системному впливі на весь кінематичний ланцюг. Стабілізація фундаменту тіла (стопи) через активацію пропріоцепції веде до автоматичної корекції положення колінних суглобів, кута нахилу тазу та формування фізіологічних вигинів хребта.

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

4. Мультидисциплінарна стратегія як стандарт. Перехід від «вичікувальної тактики» до активного реабілітаційного менеджменту із застосуванням інструментальної діагностики (шкала FPI-6) та біомеханічного біофідбеку має стати золотим стандартом у педіатричній практиці. Це дозволяє мінімізувати необхідність складних хірургічних втручань у майбутньому та забезпечує вищу якість життя пацієнтів.

Попередній досвід апробації на базі КНП ім. Руднєва підтверджує доцільність впровадження мультимодального підходу як стандарту ранньої реабілітації.

Результати спостереження за пацієнтами дошкільного віку продемонстрували, що раннє втручання дозволяє не лише покращити морфологічні показники стопи, а й стабілізувати загальний постуральний баланс. Ключові рекомендації для успішної реабілітації включають:

1. Застосування біомеханічного біофітбеку (біологічного зворотного зв'язку): використання дзеркал та відеоаналізу ходи під час занять, щоб дитина візуально фіксувала правильну установку стопи. Це прискорює формування нових нейронних зав'язків.

2. Дотримання принципу прогресії навантаження: перехід від статичних вправ на підлозі до динамічних рухів на складних сенсомоторних тренажерах (напівсфери, балансири) лише після опанування техніки «короткої стопи».

3. Системність та ігровий підхід: для дітей 4-7 років вправи повинні бути інтегровані в ігрові сюжети (наприклад, «проходження болота» по балансувальних кулях), що підвищує комплаєнс (мотивацію) дитини до лікування.

4. Мультидисциплінарна взаємодія: поєднання роботи фізичного терапевта з підбором індивідуальних ортезів (устілок), які підтримують стопу в коректному положенні між заняттями, створюючи умови для правильного формування суглобових поверхонь.

5. Моніторинг динаміки висхідних порушень: регулярний контроль не тільки стану склепіння, а й симетрії лопаток, рівнів тазу та амплітуди рухів у колінних суглобах, щоб переконатися у відсутності патологічних компенсацій.

6. Психологічна підтримка та навчання родини: успіх реабілітації на 70% залежить від правильно організованого рухового режиму вдома. Батьки мають оволодіти техніками контролю за поставою дитини у побуті.

Дотримання цих рекомендацій дозволить створити ефективну та стійку реабілітаційну програму, яка не тільки покращить фізичний стан дитини, але й сприятиме її загальному благополуччю та якості життя.

***Література:***

1. Jandova S. Flat feet occurrence among young school-age children and its association with body mass index values. Homo. 2024 Nov 26;75(1):1-7. doi: 10.1127/homo/2024/1754

2. Carr JB 2nd, Yang S, Lather LA. Pediatric Pes Planus: A State-of-the-Art Review. Pediatrics. 2016 Mar;137(3):e20151230. doi: 10.1542/peds.2015-1230

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

3. Xu L, Gu H, Zhang Y, Sun T, Yu J. Risk Factors of Flatfoot in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. Int J Environ Res Public Health. 2022 Jul 6;19(14):8247. doi: 10.3390/ijerph19148247

4. Žukauskas S, Barauskas V, Degliūtė-Muller R, Čekanauskas E. Really Asymptomatic? Health-Related Quality of Life and Objective Clinical Foot Characteristics among 5-10-Year-Old Children with a Flexible FlatFoot. J Clin Med. 2023 May 7;12(9):3331. doi: 10.3390/jcm12093331

5. Žukauskas S, Barauskas V, Čekanauskas E. Comparison of multiple flatfoot indicators in 5-8-year-old children. Open Med (Wars). 2021 Feb 1;16(1):246-256. doi: 10.1515/med-2021-0227

6. Maarj M, Pacey V, Tofts L, Fellas A, Clapham M, Coda A. Lower Limb Biomechanical Observations in Hypermobile Children: An Exploratory Case-Control Study. Int J Environ Res Public Health. 2025 Nov 24;22(12):1776. doi: 10.3390/ijerph22121776

7. Meyr AJ, Doyle MD, King CM, Kwaadu KY, Nasser EM, Ramdass R, Theodoulou MH, Zarick CS. The American College of Foot and Ankle Surgeons® Clinical Consensus Statement: Hallux Valgus. J Foot Ankle Surg. 2022 Mar-Apr;61(2):369-383. doi: 10.1053/j.jfas.2021.08.011

8. Di Gennaro GL, Trisolino G, Viotto M, Todisco M, Cerasoli T, Rocca G. Simultaneous Correction of Juvenile Hallux Valgus and Flexible Flatfoot in Children: Outcomes of Combined First Metatarsal Hemiepiphysiodesis and Calcaneal-Stop Procedure. J Clin Med. 2025 Oct 17;14(20):7330. doi: 10.3390/jcm14207330.

9. Ketabchi J, Seidi F, Haghighat S, Falsone S, Moghadas-Tabrizi Y, Khoshroo F. Differential effects of intrinsic- versus extrinsic-first corrective exercise programs on morphometric outcomes and navicular drop in pediatric flatfoot. Sci Rep. 2024 Dec 28;14(1):31393. doi: 10.1038/s41598-024-82970-y

10. Molina-García C, Banwell G, Álvarez-Salvago F, Reinoso-Cobo A, Pujol-Fuentes C, Medina-Luque J, Ramos-Petersen L. Efficacy of Functional Re-Education as a Treatment for Infantile Flexible Flatfoot: Systematic Review. Children (Basel). 2024 Dec 24;12(1):8. doi: 10.3390/children12010008

11. Evans AM, Rome K, Carroll M, Hawke F. Foot orthoses for treating paediatric flat feet. Cochrane Database Syst Rev. 2022 Jan 26;1(1):CD006311. doi: 10.1002/14651858.CD006311.pub4

12. Kirmizi M, Sengul YS, Akcali O, Angin S. Effects of foot exercises and customized arch support insoles on foot posture, plantar force distribution, and balance in people with flexible flatfoot: A randomized controlled trial. Gait Posture. 2024 Sep;113:106-114. doi: 10.1016/j.gaitpost.2024.05.030

13. Xie SY, Li X, Feng ZY, She JY, Xie Y, Hu XY, Li JY, Zhang KR, Wang HJ, Pan QW, Cao JJ, Li TY, Hong HY, He YL, Gao CZ, Lin FH, Li YK, Chen C. The association between foot morphological development and bone maturation in children: a cross-sectional study. BMC Pediatr. 2025 Oct 3;25(1):757. doi: 10.1186/s12887-025-06167-6

14. Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, Czaprowski D, Schreiber S, de Mauroy JC, Diers H, Grivas TB, Knott P, Kotwicki T, Lebel A, Marti C, Maruyama T, O'Brien J, Price N, Parent E, Rigo M, Romano M, Stikeleather L, Wynne J, Zaina F. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. Scoliosis Spinal Disord. 2018 Jan 10;13:3. doi: 10.1186/s13013-017-0145-8

15. Evans AM, Rome K. A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. Eur J Phys Rehabil Med. 2011 Mar;47(1):69-89.

16. Tuncer D, Erekdag A, Senaran H, Uzer G. Intrinsic vs. combined foot muscle strengthening for pes planovalgus in children aged 4-7 years: a randomized controlled trial. Eur J Pediatr. 2025 Sep 25;184(10):636. doi: 10.1007/s00431-025-06480-3

17. Liebau KH, Schmitt AP, Fröhlich S, Bünzen C, Mittelmeier W, Schulze C. Comparison of the Influence of Supportive and Sensorimotor Insoles on Flat Feet in Children - a Double-Blind,

ISSN 2786-4952 Online

Prospective, Randomized, Controlled Trial. Ortop Traumatol Rehabil. 2023 Aug 31;25(4):195-206. doi: 10.5604/01.3001.0053.9346.

18. Ahmad I, Verma S, Noohu MM, Shareef MY, Hussain ME. Sensorimotor and gait training improves proprioception, nerve function, and muscular activation in patients with diabetic peripheral neuropathy: a randomized control trial. J Musculoskelet Neuronal Interact. 2020 Jun 1;20(2):234-248. PMID: 32481239

19. Huang C, Chen LY, Liao YH, Masodsai K, Lin YY. Effects of the Short-Foot Exercise on Foot Alignment and Muscle Hypertrophy in Flatfoot Individuals: A Meta-Analysis. Int J Environ Res Public Health. 2022 Sep 22;19(19):11994. doi: 10.3390/ijerph191911994

20. Okamura K, Fukuda K, Oki S, Ono T, Tanaka S, Kanai S. Effects of plantar intrinsic foot muscle strengthening exercise on static and dynamic foot kinematics: A pilot randomized controlled single-blind trial in individuals with pes planus. Gait Posture. 2020 Jan;75:40-45. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.09.030

***References:***

1. Jandova S. Flat feet occurrence among young school-age children and its association with body mass index values. Homo. 2024 Nov 26;75(1):1-7. doi: 10.1127/homo/2024/1754

2. Carr JB 2nd, Yang S, Lather LA. Pediatric Pes Planus: A State-of-the-Art Review. Pediatrics. 2016 Mar;137(3):e20151230. doi: 10.1542/peds.2015-1230

3. Xu L, Gu H, Zhang Y, Sun T, Yu J. Risk Factors of Flatfoot in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. Int J Environ Res Public Health. 2022 Jul 6;19(14):8247. doi: 10.3390/ijerph19148247

4. Žukauskas S, Barauskas V, Degliūtė-Muller R, Čekanauskas E. Really Asymptomatic? Health-Related Quality of Life and Objective Clinical Foot Characteristics among 5-10-Year-Old Children with a Flexible FlatFoot. J Clin Med. 2023 May 7;12(9):3331. doi: 10.3390/jcm12093331

5. Žukauskas S, Barauskas V, Čekanauskas E. Comparison of multiple flatfoot indicators in 5-8-year-old children. Open Med (Wars). 2021 Feb 1;16(1):246-256. doi: 10.1515/med-2021-0227

6. Maarj M, Pacey V, Tofts L, Fellas A, Clapham M, Coda A. Lower Limb Biomechanical Observations in Hypermobile Children: An Exploratory Case-Control Study. Int J Environ Res Public Health. 2025 Nov 24;22(12):1776. doi: 10.3390/ijerph22121776

7. Meyr AJ, Doyle MD, King CM, Kwaadu KY, Nasser EM, Ramdass R, Theodoulou MH, Zarick CS. The American College of Foot and Ankle Surgeons® Clinical Consensus Statement: Hallux Valgus. J Foot Ankle Surg. 2022 Mar-Apr;61(2):369-383. doi: 10.1053/j.jfas.2021.08.011

8. Di Gennaro GL, Trisolino G, Viotto M, Todisco M, Cerasoli T, Rocca G. Simultaneous Correction of Juvenile Hallux Valgus and Flexible Flatfoot in Children: Outcomes of Combined First Metatarsal Hemiepiphysiodesis and Calcaneal-Stop Procedure. J Clin Med. 2025 Oct 17;14(20):7330. doi: 10.3390/jcm14207330.

9. Ketabchi J, Seidi F, Haghighat S, Falsone S, Moghadas-Tabrizi Y, Khoshroo F. Differential effects of intrinsic- versus extrinsic-first corrective exercise programs on morphometric outcomes and navicular drop in pediatric flatfoot. Sci Rep. 2024 Dec 28;14(1):31393. doi: 10.1038/s41598-024-82970-y

10. Molina-Garcia C, Banwell G, Álvarez-Salvago F, Reinoso-Cobo A, Pujol-Fuentes C, Medina-Luque J, Ramos-Petersen L. Efficacy of Functional Re-Education as a Treatment for Infantile Flexible Flatfoot: Systematic Review. Children (Basel). 2024 Dec 24;12(1):8. doi: 10.3390/children12010008

11. Evans AM, Rome K, Carroll M, Hawke F. Foot orthoses for treating paediatric flat feet. Cochrane Database Syst Rev. 2022 Jan 26;1(1):CD006311. doi: 10.1002/14651858.CD006311.pub4

12. Kirmizi M, Sengul YS, Akcali O, Angin S. Effects of foot exercises and customized arch support insoles on foot posture, plantar force distribution, and balance in people with flexible flatfoot:

Створений людьми, для людей, про людей
Журнал «Перспективи та інновації науки»
№2(60) 2026
ISSN 2786-4952 Online

A randomized controlled trial. Gait Posture. 2024 Sep;113:106-114. doi: 10.1016/j.gaitpost.2024.05.030

13. Xie SY, Li X, Feng ZY, She JY, Xie Y, Hu XY, Li JY, Zhang KR, Wang HJ, Pan QW, Cao JJ, Li TY, Hong HY, He YL, Gao CZ, Lin FH, Li YK, Chen C. The association between foot morphological development and bone maturation in children: a cross-sectional study. BMC Pediatr. 2025 Oct 3;25(1):757. doi: 10.1186/s12887-025-06167-6

14. Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, Czaprowski D, Schreiber S, de Mauroy JC, Diers H, Grivas TB, Knott P, Kotwicki T, Lebel A, Marti C, Maruyama T, O'Brien J, Price N, Parent E, Rigo M, Romano M, Stikeleather L, Wynne J, Zaina F. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. Scoliosis Spinal Disord. 2018 Jan 10;13:3. doi: 10.1186/s13013-017-0145-8

15. Evans AM, Rome K. A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. Eur J Phys Rehabil Med. 2011 Mar;47(1):69-89.

16. Tuncer D, Erekdag A, Senaran H, Uzer G. Intrinsic vs. combined foot muscle strengthening for pes planovalgus in children aged 4-7 years: a randomized controlled trial. Eur J Pediatr. 2025 Sep 25;184(10):636. doi: 10.1007/s00431-025-06480-3

17. Liebau KH, Schmitt AP, Fröhlich S, Bünzen C, Mittelmeier W, Schulze C. Comparison of the Influence of Supportive and Sensorimotor Insoles on Flat Feet in Children - a Double-Blind, Prospective, Randomized, Controlled Trial. Ortop Traumatol Rehabil. 2023 Aug 31;25(4):195-206. doi: 10.5604/01.3001.0053.9346.

18. Ahmad I, Verma S, Noohu MM, Shareef MY, Hussain ME. Sensorimotor and gait training improves proprioception, nerve function, and muscular activation in patients with diabetic peripheral neuropathy: a randomized control trial. J Musculoskelet Neuronal Interact. 2020 Jun 1;20(2):234-248. PMID: 32481239

19. Huang C, Chen LY, Liao YH, Masodsai K, Lin YY. Effects of the Short-Foot Exercise on Foot Alignment and Muscle Hypertrophy in Flatfoot Individuals: A Meta-Analysis. Int J Environ Res Public Health. 2022 Sep 22;19(19):11994. doi: 10.3390/ijerph191911994

20. Okamura K, Fukuda K, Oki S, Ono T, Tanaka S, Kanai S. Effects of plantar intrinsic foot muscle strengthening exercise on static and dynamic foot kinematics: A pilot randomized controlled single-blind trial in individuals with pes planus. Gait Posture. 2020 Jan;75:40-45. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.09.030

*Дата першого надходження статті до видання: 02.02.2026*
*Дата прийняття статті до друку після рецензування: 16.02.2026*