

КАПИТЕЛ 12 / CHAPTER 12¹²

POSTURAL INSTABILITY IN FOOT DEFORMITIES: BIOMECHANICAL MECHANISMS AND REHABILITATION OPPORTUNITIES OF PHYSICAL THERAPY

DOI: 10.30890/2709-2313.2025-43-01-019

Актуальність теми. Здоров'я стопи є ключовим чинником ефективного функціонування опорно-рухового апарату людини, адже саме вона виконує роль основної опори тіла, забезпечує амортизацію під час ходьби, бігу, стрибків і підтримує рівновагу у вертикальному положенні. Стопа виступає початковою ланкою кінематичного ланцюга нижньої кінцівки та має безпосередній вплив на положення тазу, хребта і, зрештою, на загальну поставу. Будь-які порушення її структури чи функцій запускають каскад компенсаторних змін у біомеханіці всього тіла. Саме тому своєчасна діагностика, профілактика і корекція деформацій стопи є одним із найважливіших завдань сучасної фізичної терапії.

Монографія є фрагментом науково-дослідної роботи «Інтеграція індивідуальних устілок із цифровим моніторингом за допомогою платформи STRIDE ONE для вивчення змін у біомеханіці ходи пацієнтів із порушеннями опорно-рухового апарату», Реєстраційний номер 0125u002517 №867 від 17.05.2025 року.

Постановка експериментального дослідження. У дослідженні взяли участь 30 осіб віком від 20 до 45 років, серед яких - 12 чоловіків та 18 жінок.

Усіх учасників було поділено на дві групи:

- основна група (n = 15) - проходила курс комплексної фізичної терапії, розробленої на основі сенсомоторних, стабілізаційних і ортопедичних методик;
- контрольна група (n = 15) — отримувала стандартні рекомендації: гігієнічні вправи, масаж стоп, використання ортопедичного взуття.

На початку дослідження в обох групах спостерігалися ознаки зниження поздовжнього зводу стопи, незначна вальгусна установка п'ятки, а також відхилення великого пальця (кут hallux valgus у середньому 15–17°).

¹²Authors: Davybida Natalia, Novakova Lyubov, Korin Petro



Після курсу фізичної терапії в основній групі зафіксовано достовірне покращення морфологічних показників ($p < 0.05$), тоді як у контрольній - зміни були незначними.

Аналіз динаміки больового синдрому (VAS)

Інтенсивність болю за шкалою VAS у основній групі зменшилась з $5,8 \pm 1,1$ до $2,1 \pm 0,8$ бала, тоді як у контрольній — з $5,6 \pm 1,2$ до $4,9 \pm 1,0$ бала. Це відображає значущий клінічний ефект програми.

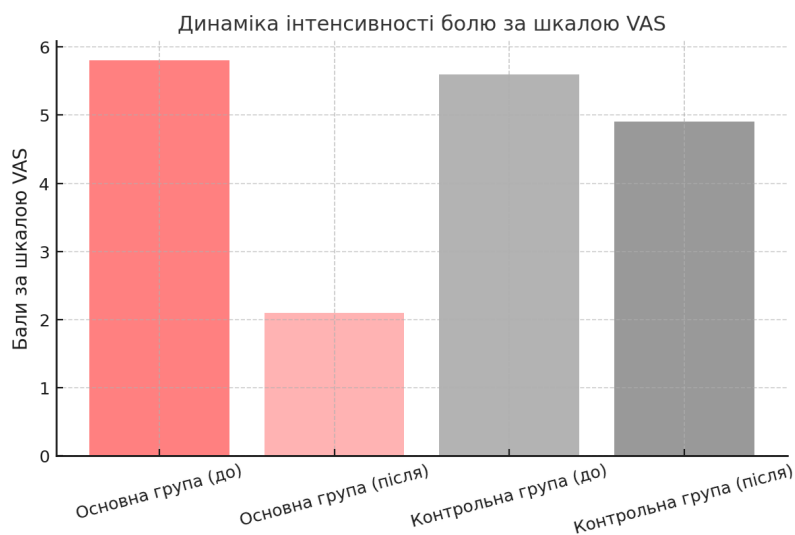


Рис. 5.1 - Порівняння рівня больових відчуттів за шкалою VAS у основній та контрольній групах до і після курсу фізичної терапії.

Отримані результати підтверджують ефективність фізичної терапії у зменшенні больового синдрому, що узгоджується з даними стабілографії (зниження компенсаторних коливань) та плантографії (зменшення площі навантаження).

Зростання індексу Фрідлянда в основній групі на початку дослідження склало $27,1 \pm 0,8$ після дослідження $30,3 \pm 0,6$ що свідчить про відновлення висоти поздовжнього зводу. У контрольній групі зміни мінімальні на початку дослідження було $27,4 \pm 0,7$ після 8-ми тижневого заняття стало $28,0 \pm 0,8$.

У результаті програми фізичної терапії спостерігалось відновлення поздовжнього зводу, зменшення вальгусного відхилення п'ятки та корекція положення великого пальця, що свідчить про позитивну перебудову біомеханіки стопи

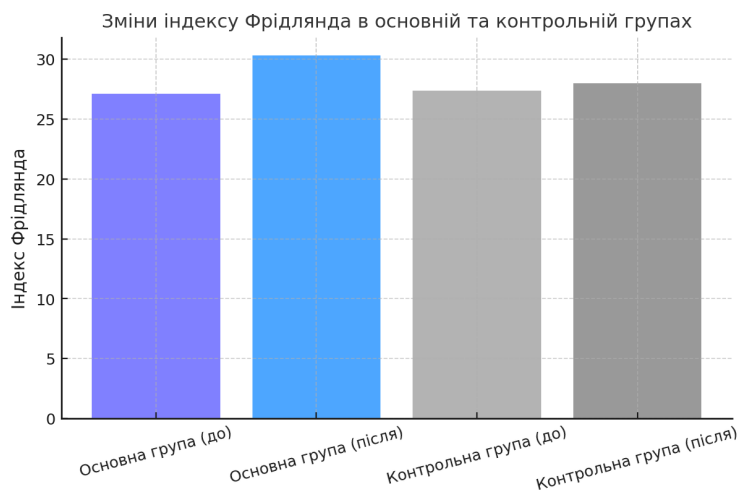


Рис. 5.2 - Порівняння показників індексу Фрідлянда до і після курсу фізичної терапії в основній та контрольній групах.

Площа еліпса коливань центру тиску (COP) у основній групі зменшилась з $375,2 \pm 38,4$ до $242,6 \pm 31,8$ мм², що вказує на покращення постурального контролю. У контрольній групі достовірних змін не виявлено.

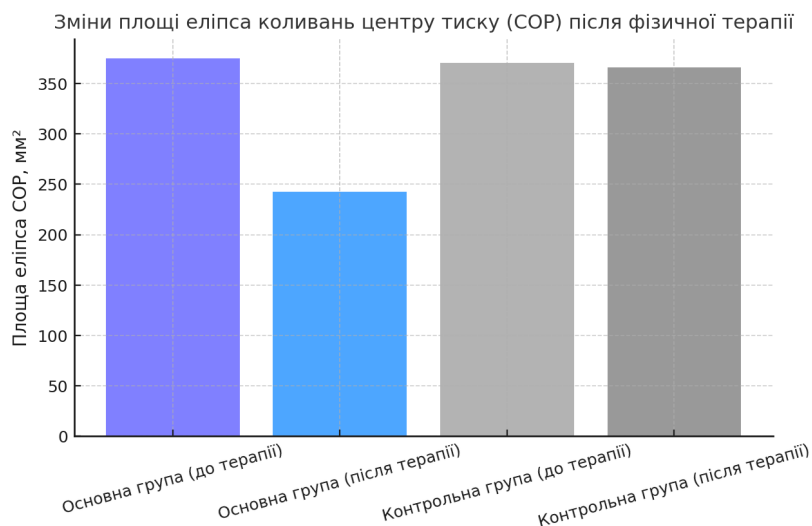


Рис. 5.3 - Порівняння площі еліпса коливань центру тиску (COP) у основній і контрольній групах до та після курсу фізичної терапії.

Зниження площі та швидкості коливань центру тиску вказує на покращення постуральної стабільності, а зменшення коефіцієнта EO/EC - на підвищення ролі пропріоцептивного контролю замість домінування зорової аферентації.

У контрольній групі подібних змін не виявлено ($p > 0.05$).

Вдосконалення динамічної рівноваги (Y-Balance Test) у трьох напрямках



зросли: anterior до терапії на $86,3 \pm 4,8$ та після терапії $92,7 \pm 3,6$ %; posteromedial до терапії на $82,5 \pm 5,1$ після терапії на $90,9 \pm 4,3$ %; posterolateral до терапії $84,1 \pm 4,6$ та після терапії $91,2 \pm 3,9$ %. Сумарний Composite Score підвищився з $84,3 \pm 4,8$ до $91,6 \pm 4,0$ %.

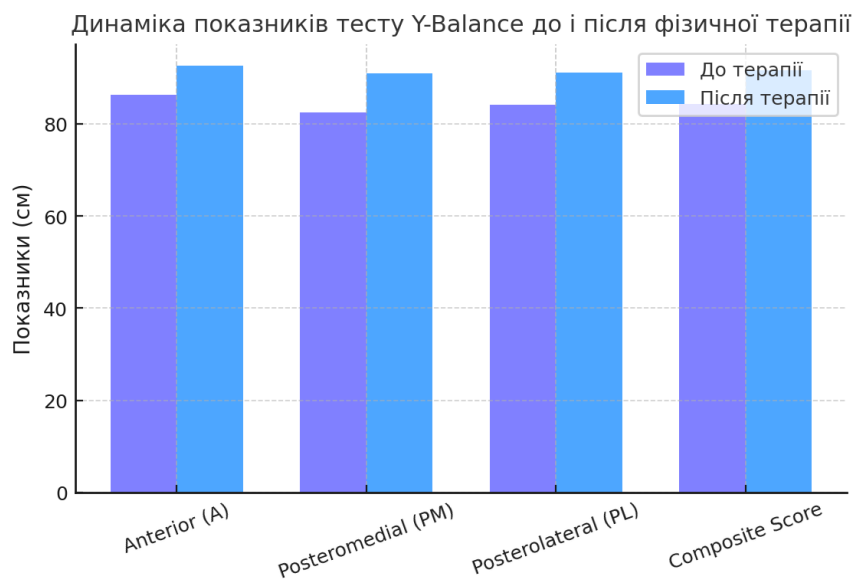


Рис. 5.4 - Порівняння результатів тесту Y-Balance (у напрямках Anterior, Posteromedial, Posterolateral та Composite Score) до і після курсу фізичної терапії.

Покращення показників у всіх трьох напрямках свідчить про підвищення динамічної стабільності, симетрії та пропріоцептивної чутливості, що є безпосереднім результатом застосування сенсомоторного тренінгу у структурі фізичної терапії.

Нормалізація кінематики ходи (Gait View). Після терапії довжина кроку зросла до терапії $58,2 \pm 4,7$ та після терапії на $66,8 \pm 4,2$ см, ширина кроку зменшилась до терапії на $12,1 \pm 1,8$ після занять на $9,5 \pm 1,3$ см, швидкість ходи підвищилася до занять $0,98 \pm 0,09$ після проведених 3 фаз терапії на $1,23 \pm 0,08$ м/с), а симетричний індекс знизився до терапії на $11,2 \pm 2,7$ та після терапії на $6,1 \pm 2,0$ %.

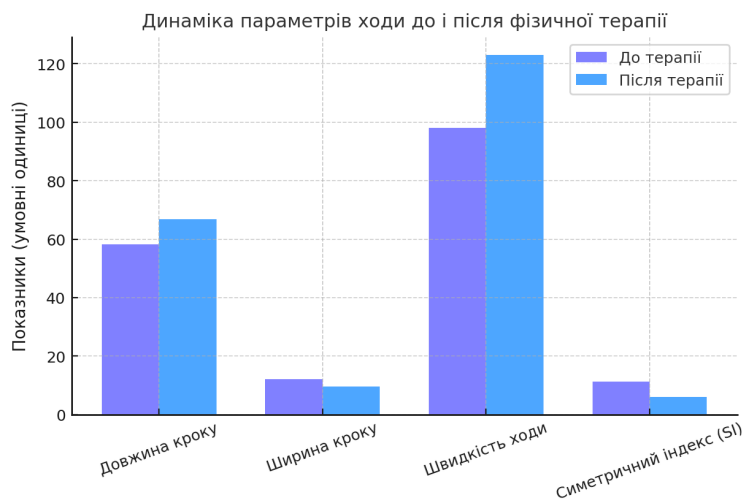


Рис. 5.5 - Порівняння основних параметрів ходи (довжина, ширина кроку, швидкість та симетричність) до і після курсу фізичної терапії.

Після проведення курсу фізичної терапії відеоаналіз ходи продемонстрував виражене покращення біомеханічних параметрів руху нижніх кінцівок. Зокрема, спостерігалось збільшення амплітуди рухів у гомілковостопних і колінних суглобах, подовження довжини кроку, зменшення ширини опори та підвищення симетрії циклу ходи. Ці зміни свідчать про оптимізацію міжсегментарної координації та більш збалансований розподіл навантаження під час руху.

Відновлення природного патерну перекату стопи сприяло формуванню більш економічного та біомеханічно ефективного способу пересування, що характеризувався зниженням енергетичних витрат, зменшенням часу подвійної опори та відсутністю компенсаторних рухів тулуба. Крім того, зменшення асиметрії опори свідчило про підвищення стабільності та рівноваги під час фаз переносу та опори.

Узагальнено, результати відеоаналізу підтвердили, що авторська програма фізичної терапії сприяла нормалізації просторово-часових параметрів ходи, відновленню кінематичного ланцюга стопа–гомілка–стегно та зменшенню больового синдрому, що, у свою чергу, забезпечило якісне покращення функціональної мобільності та постурального контролю пацієнтів.

Розподіл навантаження по відділах стопи (P-Map). Результати цифрової плантографії свідчили про суттєву модифікацію зонального розподілу



навантаження по відділах стопи після реалізації програми фізичної терапії. Зокрема, поздовжній індекс до терапії становив 38.5% а після терапії він зменшився до 30.6%. Поперечний індекс до початку дослідження становив 42.3% а після 8 тижнів дослідження він зменшився на 38.4 %. Площа опори до терапії становила 72.1% а після терапії 65.3%. Кут hallux valgus 16.8% після терапії 10.9%.

Відділ стопи	До терапії	Після терапії	Δ , %
П'яткова зона	40 %	36 %	-10 %
Середній відділ (зводу)	20 %	16 %	-20 %
Передній відділ (плесна)	30 %	36 %	+20 %
Пальцева зона	10 %	12 %	+20 %

Тобто, загальна тенденція - зменшення навантаження на середній відділ (зв'язано з підйомом зводу) і перенесення частини навантаження на передній відділ при стабілізації п'яткової опори. Отримані дані демонструють відновлення фізіологічного патерну перекату стопи з п'ятки на передній відділ, що є важливим показником біомеханічної ефективності опори та збалансованої роботи м'язово-зв'язкового апарату стопи. Такий перерозподіл навантаження зменшує ризик формування больових синдромів у п'ятковій ділянці, нормалізує роботу підошовних м'язів і сприяє підвищенню стійкості та пропріоцептивного контролю під час стояння і ходи.

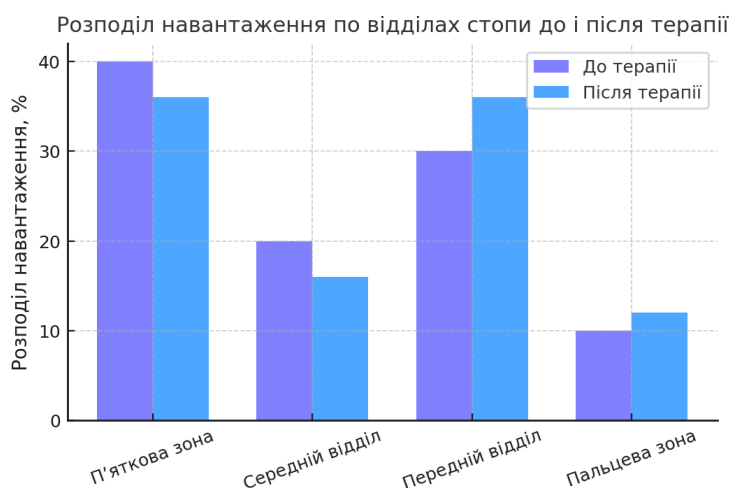


Рис. 5.6 - Порівняльна динаміка розподілу навантаження по відділах стопи (Р-Map) до і після курсу фізичної терапії.



У динаміці це проявлялося більш плавним перекатом, зменшенням латерального зміщення центру тиску (COP) та збалансованим залученням переднього й середнього відділів стопи, що відображає покращення функціональної взаємодії між біомеханічними ланками нижньої кінцівки.

Індекс симетрії опори (Foot Load Symmetry Index). Результати стабілографічного аналізу виявили достовірне покращення параметрів симетрії навантаження між правою та лівою ногою після реалізації курсу фізичної терапії. Показник індексу симетрії опори (Foot Load Symmetry Index, FLSI) зріс із $86,4 \pm 3,2 \%$ до $94,8 \pm 2,1 \%$ ($p < 0,05$), що свідчить про суттєве відновлення рівноваги між кінцівками під час статичного та динамічного навантаження.

Отримані дані демонструють підвищення функціональної збалансованості нижніх кінцівок, що є результатом оптимізації пострурального контролю і зменшення латеральних відхилень центру тиску (COP). Це відображає більш ефективну взаємодію пропріоцептивних, вестибулярних і зорових механізмів регуляції пози, а також зниження домінування однієї кінцівки у процесі підтримання вертикальної стійкості.

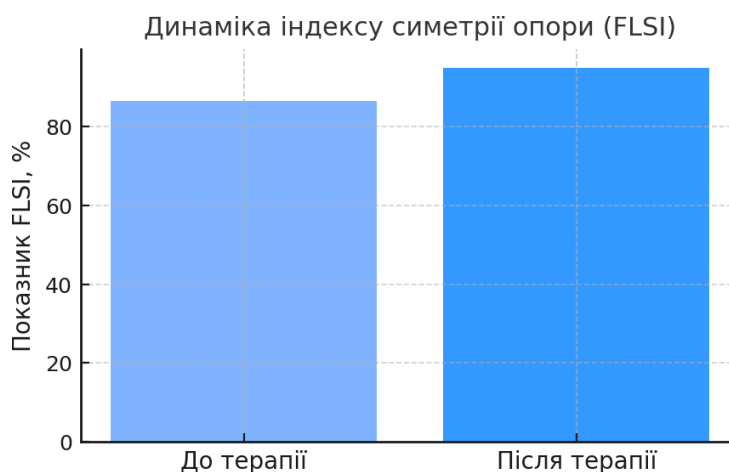


Рис. 5.7 - Динаміка показників симетрії опори до і після курсу фізичної терапії.

Крім того, гармонізація розподілу навантаження по відділах стопи свідчить про відновлення симетричного патерну опори, що сприяє формуванню стабільнішої біомеханічної системи «стопа–гомілка–стегно». Це підтверджує ефективність застосованої програми фізичної терапії, спрямованої на



сенсомоторну інтеграцію, активізацію коротких м'язів стопи та покращення пропріоцептивного контролю.

Таким чином, відновлення симетрії опори є важливим критерієм покращення функціональної стабільності і може розглядатися як один із провідних показників ефективності застосованої програми фізичної терапії.

М'язова витривалість литкових м'язів (10 підйомів на носки). Після проходження курсу фізичної терапії було зафіксовано достовірне підвищення м'язової витривалості литкових м'язів. Кількість підйомів на носки зросла з $14,6 \pm 3,2$ до $21,8 \pm 2,7$ повторів ($p < 0,05$), що свідчить про значне покращення функціонального стану триголового м'яза гомілки. Отримані зміни демонструють збільшення силової витривалості, покращення аеробної продуктивності м'язових волокон та оптимізацію нейром'язової координації під час фаз опори і відштовхування в ході.

Підвищення витривалості литкових м'язів сприяло стабілізації гомілковостопного суглоба, зменшенню компенсаторних рухів у фронтальній площині та формуванню більш енергетично економного патерну ходи. Це свідчить про відновлення синергії між м'язами задньої групи гомілки і короткими м'язами стопи, що підвищує ефективність пропріоцептивного контролю та зменшує ризик перевантаження зв'язково-суглобового апарату нижніх кінцівок.

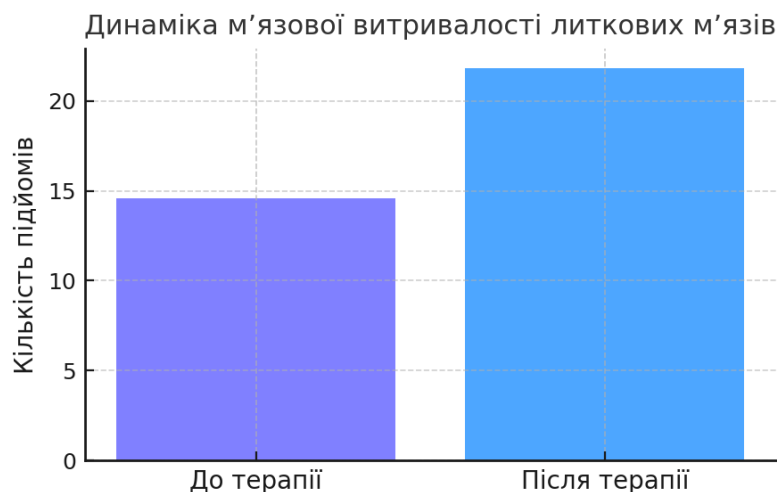


Рис. 5.8 - Динаміка кількості підйомів на носки до і після курсу фізичної терапії.



Таким чином, результати підтверджують, що комплексна програма фізичної терапії сприяє не лише зростанню силових показників, але й відновленню оптимальної біомеханіки рухів та функціональної стабільності нижніх сегментів опорно-рухового апарату.

Комплексна програма фізичної терапії забезпечує морфологічну корекцію стопи, покращення постуральної стабільності, зниження болю та нормалізацію ходи; ефекти підтверджені взаємопов'язаними змінами у VAS, індекси Фрідлянда, COP, Y-Balance, кінематиці ходи, P-Map та індекси симетрії.

Висновки.

У результаті проведеного теоретико-експериментального дослідження, присвяченого вивченню механізмів виникнення деформацій стопи та їх впливу на постуральну стабільність, а також оцінці ролі фізичної терапії у їх корекції, отримано такі узагальнення. Морфологічні зміни після курсу терапії виражалися у зростанні індексу Фрідлянда з $27,1 \pm 0,8$ до $30,3 \pm 0,6$ ($p < 0.05$), зменшенні кута hallux valgus на 34,7 % та відхилення осі п'ятки на 35,7 %. Це свідчить про відновлення поздовжнього зводу та покращення біомеханічного вирівнювання стопи. Рівень болю за шкалою VAS зменшився на 63,8 %, що супроводжувалося покращенням рівноваги, ходи та зниженням м'язової втоми. Встановлено кореляцію між зменшенням болю і підвищенням симетрії опори ($-0,58$). Показники постуральної стабільності істотно покращилися: площа коливань COP зменшилась на 35,3 %, швидкість коливань — на 27,7 %, а індекс стабільності зріс на 23 %. Це свідчить про підвищення ефективності сенсомоторного контролю та інтеграції пропріоцептивних сигналів. Результати Y-Balance Test продемонстрували збільшення досягнень у всіх трьох напрямках на 7–10 %, що відображає покращення динамічної рівноваги та симетрії рухів нижніх кінцівок. Параметри ходи підтвердили покращення кінематики: довжина кроку збільшилась на 14,8 %, швидкість — на 25,5 %, ширина кроку зменшилась на 21,5 %, а симетричний індекс знизився на 45,5 %. Це свідчить про



нормалізацію патерну перекату стопи та оптимізацію рухових стратегій. Кореляційний аналіз виявив значущі взаємозв'язки між показниками: індекс Фрідлянда та площа COP ($r = -0,63$), індекс Фрідлянда та Y-Balance (0,71), м'язова витривалість та швидкість ходи (0,65). Це підтверджує функціональну взаємозалежність морфологічних і стабілографічних параметрів.