

УДК 616.718-007.5-08

Юрій ВИХЛЯЄВ

доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри біобезпеки і здоров'я людини, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Берестейський просп., 37, м. Київ, Україна, 03056 (Vukh46@i.ua)

ORCID: 0000-0001-8446-8070

SCOPUS: 59218895200

Владислав СЛОБОДЯН

аспірант кафедри біобезпеки і здоров'я людини, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Берестейський просп., 37, м. Київ, Україна, 03056 (slobodyanvg@gmail.com)

ORCID: 0009-0005-8135-6029

Бібліографічний опис статті: Вихляєв Ю., Слободян В. (2025). Персоніфікований підхід до консервативного лікування плоскостопості у дорослих (огляд літератури). *Фітотерапія. Часопис*, 4, 87–95, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2025-4-87>

ПЕРСОНІФІКОВАНИЙ ПІДХІД ДО КОНСЕРВАТИВНОГО ЛІКУВАННЯ ПЛОСКСТОПОСТІ У ДОРΟΣЛИХ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Актуальність. Плоскостопість дорослих є складною прогресуючою деформацією з поширеністю 15,6% серед загальної популяції. Гетерогенність клінічних проявів створює потребу в індивідуалізованому підході до лікування, оскільки пацієнти з однаковою структурною деформацією демонструють різні симптоматику та відповідь на терапевтичні втручання. У сфері лікування плоскостопості персоналізовані інструменти практично відсутні.

Мета дослідження – систематизація та критичний аналіз сучасних наукових даних щодо консервативних методів лікування плоскостопості в дорослих з особливим акцентом на можливості персоналізованих терапевтичних підходів.

Матеріал і методи. Проведено аналіз наукової літератури з використанням міжнародних баз даних медичних публікацій. Пошук здійснювався за ключовими словами, що стосуються консервативного лікування плоскостопості в дорослих, персоналізованих підходів до терапії та мультимодальних стратегій лікування.

Результати дослідження. Встановлено, що мультимодальна терапія плоскостопості базується на розумінні багатofакторної природи патології та створює синергетичний ефект через одночасне адресування різних патофізіологічних механізмів. Найефективнішою комбінацією визначено зміцнення заднього великогомілкового м'яза в поєднанні з розтягуванням клубово-поперекового м'яза та вправами для стопи (ВР: 3,32, 95% ДІ: 1,78, 4,89). Виявлено три типи синергетичної взаємодії: біомеханічну, нейрофізіологічну та тканинну синергію. Консервативна терапія ефективно зменшує біль і покращує функцію, але не змінює базової структурної деформації стопи. Ідентифіковано критичні прогалини, що перешкоджають розвитку персоналізованого лікування: відсутність прогностичних біомаркерів, методологічні обмеження досліджень, не стандартизовані діагностичні критерії та обмежене використання біомеханічних інструментів у клінічній практиці.

Висновки. Мультимодальна терапія плоскостопості демонструє суттєві переваги над ізольованими втручаннями завдяки синергетичному ефекту одночасного впливу на різні патофізіологічні механізми. Доказова база для персоналізованих терапевтичних стратегій залишається критично недостатньою через відсутність прогностичних біомаркерів, валідованих методів стратифікації пацієнтів і науково обґрунтованих критеріїв вибору оптимальних терапевтичних втручань. Сучасні технологічні можливості створюють передумови для персоналізації лікування плоскостопості, проте їх клінічна інтеграція залишається обмеженою через недостатню валідацію ефективності та відсутність стандартизованих протоколів застосування.

Ключові слова: плоскостопість, консервативне лікування, персоналізована медицина, мультимодальна терапія, ортопедичні засоби, фізичні вправи, реабілітація.

Yurii VYKHLIAIEV

Doctor of Pedagogic Sciences, Professor, Professor at the Department of Biosafety and Human Health, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Beresteyskyi ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056 (Vykh46@i.ua)

ORCID: 0000-0001-8446-8070

SCOPUS: 59218895200

Vladyslav SLOBODIAN

Postgraduate Student at the Department of Biosafety and Human Health, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Beresteyskyi ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056 (slobodyanvg@gmail.com)

ORCID: 0009-0005-8135-6029

To cite this article: Vykhliaiev Yu., Slobodyan V. (2025). Personifikovanyi pidkhid do konservatyvnoho likuvannya ploskostoposti u doroslykh (ohliad literatury) [Personalized approach to conservative treatment of flat feet in adults (literature review)]. *Fitoterapiia. Chasopys – Phytotherapy. Journal*, 4, 87–95, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2025-4-87>

PERSONALISED APPROACH TO CONSERVATIVE TREATMENT OF FLAT FEET IN ADULTS (LITERATURE REVIEW)

Actuality. Adult flatfoot is a complex progressive deformity with a prevalence of 15.6% in the general population. The heterogeneity of clinical manifestations creates a need for an individualised approach to treatment, as patients with the same structural deformity demonstrate different symptoms and response to therapeutic interventions. In the field of flatfoot treatment, personalised tools are practically non-existent.

The purpose of the study is to systematise and critically analyse current scientific data on conservative methods of treating flat feet in adults with a special focus on the possibility of personalised therapeutic approaches.

Material and methods. The scientific literature was analysed using international databases of medical publications. The search was carried out using keywords related to conservative treatment of flat feet in adults, personalised approaches to therapy and multimodal treatment strategies.

Research results. It has been established that multimodal therapy of flat feet is based on an understanding of the multifactorial nature of the pathology and creates a synergistic effect through the simultaneous addressing of various pathophysiological mechanisms. Strengthening the posterior tibialis muscle in combination with stretching the iliolumbar muscle and foot exercises was found to be the most effective combination (RR: 3.32, 95% CI: 1.78, 4.89). Three types of synergistic interaction were identified: biomechanical, neurophysiological and tissue synergy. Conservative therapy effectively reduces pain and improves function, but does not change the underlying structural deformity of the foot. Critical gaps that impede the development of personalised treatment have been identified: lack of prognostic biomarkers, methodological limitations of studies, non-standardised diagnostic criteria and limited use of biomechanical tools in clinical practice.

Conclusions. Multimodal therapy for flat feet demonstrates significant advantages over isolated interventions due to the synergistic effect of simultaneously affecting different pathophysiological mechanisms. The evidence base for personalised therapeutic strategies remains critically insufficient due to the lack of predictive biomarkers, validated patient stratification methods and scientifically based criteria for selecting optimal therapeutic interventions. Modern technological capabilities create the prerequisites for personalising the treatment of flat feet, but their clinical integration remains limited due to insufficient validation of efficacy and the lack of standardised application protocols.

Key words: flat feet, conservative treatment, personalised medicine, multimodal therapy, orthopaedic devices, exercise, rehabilitation.

Вступ. Актуальність. Плоскостопість дорослих є складною прогресуючою деформацією з поширеністю 15,6% серед загальної популяції дорослих (Salinas-Torres, Salinas-Torres, Carranza-García, Herrera-Orozco, Tristán-Rodríguez, 2023). Ця патологія, тепер класифікована як Progressive Collapsing Foot Deformity (PCFD) (Myerson, Thordarson, Johnson, Hintermann, Sangeorzan, Deland, Schon, Ellis, de Cesar Netto, 2020), суттєво впливає на функціональні можливості і якість життя пацієнтів, особливо в контексті супутніх деформацій та системних порушень.

Консервативне лікування залишається терапією першої лінії для більшості пацієнтів, особливо на

ранніх стадіях захворювання, демонструючи ефективність у 83–87,5% випадків із задоволеністю пацієнтів від 60,6 до 89% (Apollo Medicine, 2020). Сучасні підходи передбачають широкий спектр втручань: від ортопедичних засобів до мультимодальних програм, що поєднують вправи, мануальну терапію та фізіотерапевтичні методи.

Гетерогенність клінічних проявів плоскостопості створює очевидну потребу в індивідуалізованому підході до лікування. Пацієнти з однаковою структурною деформацією можуть демонструвати різні симптоматику та відповідь на ідентичні терапевтичні втручання. Мережевий метааналіз (Hoang, Chen, Chou,

2021) підтвердив, що активні втручання (вправи) перевершують пасивні методи (ортези) у зменшенні болю, що вказує на необхідність переосмислення традиційних підходів до лікування. Проте, на відміну від інших галузей медицини, де персоналізовані підходи активно розвиваються, у сфері лікування плоскостопості такі інструменти практично відсутні.

Мета дослідження – систематизація та критичний аналіз сучасних наукових даних щодо консервативних методів лікування плоскостопості в дорослих з особливим акцентом на можливості персоналізованих терапевтичних підходів.

Матеріали та методи дослідження. Проведено аналіз наукової літератури з використанням міжнародних баз даних медичних публікацій. Пошук здійснювався за ключовими словами, що стосуються консервативного лікування плоскостопості в дорослих, персоналізованих підходів до терапії та мультимодальних стратегій лікування.

Результати дослідження та їх обговорення. Мультимодальна терапія плоскостопості базується на розумінні багатофакторної природи цієї патології, де різні терапевтичні втручання можуть адресувати окремі патофізіологічні механізми, створюючи синергетичний ефект. На відміну від монотерапії, комбіновані підходи дають змогу одночасно коригувати структурні деформації, м'язову дисфункцію, біомеханічні порушення та больовий синдром.

Плоскостопість має каскад взаємопов'язаних порушень: м'язову слабкість, зв'язкову недостатність, змінену кінематику ходи та компенсаторні адаптації. Біомеханічні дослідження підтверджують, що задній великогомілковий м'яз не може самостійно підтримувати медіальне склепіння стопи (Watanabe, Kitaoka, Fujii, Crevoisier, Berglund, Zhao, Kaufman, An, 2013), що обґрунтовує необхідність мультимодального підходу.

Метааналіз ідентифікував найбільш ефективну комбінацію терапевтичних втручань: зміцнення заднього великогомілкового м'яза (РТТ) в поєднанні з розтягуванням клубово-поперекового м'яза та вправами для стопи (BP: 3,32, 95% ДІ: 1,78, 4,89) (Jia, Sai, Zhang, 2024). Ця комбінація демонструє принцип регіонального балансу, де:

- зміцнення РТТ відновлює локальну стабільність медіального склепіння;
- розтягування клубово-поперекового м'яза корегує проксимальні компенсаторні патерни;
- вправи забезпечують загальне покращення функції стопи.

Дослідження підтверджують переваги комбінованого підходу в лікуванні плоскостопості. Поєднання

спеціалізованих вправ для стопи з індивідуальними устілками протягом 6 тижнів дало кращі результати, ніж застосування лише устілок: пацієнти відзначили зменшення болю ($p = 0,002$), покращення функції нижніх кінцівок ($p = 0,03$) і ефективніший перерозподіл навантаження (Elsayed, Alotaibi, Shaheen, Farouk, Farrag, 2023). В іншому дослідженні також комбінований підхід забезпечив вищу ефективність щодо покращення положення стопи, розподілу тиску та динамічної рівноваги, тоді як устілки окремо впливали переважно на статичну стабільність і зменшення пікового тиску (Kirmizi, Sengul, Akcali, Angin, 2024).

Також варто звернути увагу на м'язи стабілізатори таза. Додавання зміцнення *m. gluteus medius* до комплексу вправ для стопи за 8 тижнів дало кращу підтримку поздовжнього склепіння, ніж самі лише вправи для стопи (Engkananuwat, Kanlayanaphotporn, 2023). Одночасна корекція на обох рівнях має механізм синергії, запобігає розвитку нових компенсаторних патернів та забезпечує стійкі результати.

Критерії адаптації терапевтичної стратегії базуються на динаміці показників протягом лікування. Відсутність покращення впродовж чотирьох-шести тижнів може вказувати на необхідність модифікації підходу або зміни акцентів у терапії. Цей часовий проміжок підтверджується клінічними дослідженнями: метааналіз показав, що більшість досліджень стосуються 8–12 тижнів терапії, при цьому лише невелика частина – 4–6 тижнів (Jia, Sai, Zhang, 2024). Розвиток побічних ефектів, ускладнень, зміна індивідуальних потреб або життєвих обставин пацієнта також може потребувати адаптації довгострокової стратегії лікування.

Успішна мультимодальна терапія базується на п'яти ключових принципах:

- 1) механістичний підхід – кожен компонент терапевтичної програми повинен адресувати специфічний патофізіологічний механізм плоскостопості;
- 2) персоналізація – вимагає індивідуального вибору та ранжування компонентів на підставі основних порушень у конкретного пацієнта;
- 3) координація – забезпечує синхронізацію різних втручань для максимізації синергетичних ефектів та мінімізації протиріч;
- 4) адаптивність – передбачає готовність до модифікації терапевтичної стратегії залежно від індивідуальної відповіді пацієнта;
- 5) довгостроковість – передбачає планування підтримуючої терапії для збереження досягнутих результатів.

Ці принципи узгоджуються із сучасними підходами в реабілітаційній медицині. Досвід нейрореа-

білітації підтверджує, що найефективніші програми поєднують персоналізацію з мультидисциплінарною координацією та довгостроковим плануванням (Moldavska, Oprya, & Yermuraki, 2025), що підкреслює універсальність цих принципів для різних патологій опорно-рухового апарату.

Аналіз механізмів дії різних втручань виявляє три типи синергетичної взаємодії, що пояснюють переваги мультимодальних підходів. Біомеханічна синергія виникає через те, що різні втручання впливають на різні ланки біомеханічного ланцюга: ортези забезпечують пасивну корекцію, вправи створюють активну стабілізацію, а мануальні техніки відновлюють рухливість суглобових структур.

Потрібно вказати на практичні спроби застосувати синергічні підходи в розробці тренажерів для реабілітації внутрішнього подовжнього зводу стопи із залученням терапевтичних вправ, масажу, вібростимулювання, електростимулювання й електрофорезу одночасно (Вихляєв, 2006). Запропонований автором пристрій надає можливість пацієнту виконувати вправу котіння валика, тобто повертально-поступальні рухи кінцівки з різною амплітудою, та одночасно одержувати масаж і вібромасаж, електростимуляційний вплив як на кістково-м'язові структури стопи, так і на основні м'язові групи гомілки, що утримують аркоподібні зводи стопи, зокрема задній великогомілковий (*tibialis posterior*) і довгий малоомілковий м'язи (*peroneus longus*), і при цьому одержувати електрофорез стопи з введенням лікарняних препаратів. На жаль, серійне виробництво «пристрою для зміцнення склепіння стопи» не було налагоджено і він залишився непомітним європейській спільноті терапевтів. Також були розроблені інші пристрої для корекції деформацій стоп і стимулювання рефлексогенних зон (Вихляєв, 2018; Худецький, Вихляєв, 2018), що використали симульовану дію на м'язово-суглобні структури стопи.

Нейрофізіологічна синергія реалізується через стимуляцію різних аспектів нервової системи: пропріоцептивне перенавчання покращує сенсомоторний контроль, ортези та тейпування забезпечують постійну сенсорну стимуляцію, а електростимулювання здійснює цілеспрямовану нейромодуляцію.

Важливість корекції порушень моторного контролю підтверджується дослідженнями в суміжних областях ортопедії. Зокрема, у пацієнтів з остеохондрозом поперекового відділу комбінація ударно-хвильової терапії з програмою релаксаційних вправ за методом К. Левіта значно покращила моторні стереотипи та зменшила міотонічну реакцію м'язів попереково-тазової зони (Kolesnichenko, Holka, Hresko,

Burlaka, Vesnin, Vvedensky, Vvedensky, 2025). Аналогічні принципи нейрофізіологічної корекції можуть бути адаптовані для оптимізації моторних патернів у разі плоскостопості, особливо враховуючи взаємозв'язок між порушеннями кінематики стопи та компенсаторними змінами на рівні гомілки й таза.

Тканинна синергія проявляється в комплексному впливі на різні типи тканин: м'язово-фасціальну систему (вправи, масаж), кістково-суглобову систему (ортези, мобілізація), нервову систему (електростимулювання, пропріоцептивне тренування), біохімічні особливості складу тканин (Galkin, Savchenko, Nikitina, Dugan, 2013; Galkin, Besarab, Lutsenko, 2017). Перспективним напрямом може бути метаболічна підтримка шляхом застосування спеціалізованих дієтичних добавок. Дослідження показують, що добавки на основі гліцину можуть покращувати остеогенез, метаболізм кісткової тканини та сприяти детоксикації організму (Volodina, Korotkevich, Romaniuk, Galkin, Kolybo, Komisarenko, 2024), що теоретично може підсилювати ефекти механічних втручань на тканинному рівні.

Важливою знахідкою сучасних досліджень є обмеження структурної корекції в разі консервативного лікування. Жодні терапевтичні втручання не показали значущого впливу на висоту склепіння (Hoang, Chen, Chou, 2021). Це вказує на те, що консервативна терапія може ефективно зменшувати біль і покращувати функцію, але не змінює базової структурної деформації стопи.

Обмежені можливості структурної корекції можуть пояснюватися складністю процесів репаративного остеогенезу в дорослих. Репаративний остеогенез являє собою поетапний механізм відновлення кісткової тканини, що передбачає ендохондральну осифікацію та ремоделювання (Sukhonos, Korenkov, Sukhodub, 2024). У дорослих пацієнтів ці процеси значно уповільнені порівняно з дітьми, що може пояснювати, чому консервативне лікування плоскостопості ефективно впливає на функціональні параметри, але практично не змінює морфологічних характеристик кісткових структур стопи.

Наші результати значно розширюють висновки попередніх систематичних оглядів, особливо щодо ролі мультимодальних підходів.

Попри визнання важливості персоналізованого підходу та гетерогенності клінічних проявів плоскостопості, доказова база для персоналізованих терапевтичних стратегій залишається недостатньою. Клініцисти стикаються з пацієнтами, які демонструють різну відповідь на ідентичні втручання, проте науковій літературі бракує обґрунтованих критеріїв для персоналізації.

Переконливі докази необхідності персоналізованого підходу походять з епідеміологічних досліджень супутніх деформацій. Жінки з плоскостопістю демонструють значно нижчу силу м'язів тазового дна та вищу частоту дисфункцій (Toprak Celenay, Yardimci, Altay, 2024), що розширює розуміння плоскостопості до системного порушення кінематики нижніх кінцівок і таза. Наявність плоскостопості негативно впливає на результати хірургічної корекції hallux valgus (Tay, Goh, Thever, Yeo, Koo, 2022) і підвищує ризик рецидиву вальгусної деформації (Heyes, Vosoughi, Weigelt, Mason, Molloy, 2020). Порушення остеогенезу та метаболізму також ускладнюють пошук причин розладів кістково-м'язових структур (Volodina, Korotkevich, Romanyuk, Galkin, Kolybo, Komisarenko, 2023).

Ці дані свідчать про необхідність комплексного підходу до лікування, проте конкретні алгоритми не розроблені. Розбіжність між структурними та клінічними проявами вказує на важливість факторів, які наразі не ідентифіковані або не враховуються в терапевтичному плануванні.

Біомеханічна різноманітність плоскостопості створює передумови для персоналізації. У різних пацієнтів спостерігаються варіабельні патерни компенсаторних адаптацій, що впливають на кінематику ходи, розподіл навантажень і м'язову активацію. Ефективність різних терапевтичних втручань повинна залежати від індивідуальних біомеханічних характеристик, проте апробовані методи для такої оцінки відсутні. Більшість досліджень використовували усереднені вибірки без стратифікації за клінічними особливостями, що створює бар'єр для побудови персоналізованих стратегій (Oerlemans, Peeters, Munnik-Hagewoud, Nijholt, Witlox, Verheyen, 2023).

Аналіз наукової літератури виявляє кілька критичних прогалин, які перешкоджають розвитку персоналізованого лікування плоскостопості. Відсутність прогностичних біомаркерів є однією з найбільших прогалин. На відміну від інших галузей медицини, де генетичні, біохімічні або візуалізаційні біомаркери використовуються для персоналізації лікування, у разі плоскостопості такі інструменти практично не розроблені. Не зрозуміло, які саме клінічні, біомеханічні або лабораторні параметри можуть передбачати успішність різних терапевтичних втручань.

Методологічні обмеження чинних досліджень також створюють серйозні перешкоди. Більшість РКД включали 20–60 пацієнтів і тривали декілька тижнів. Розмір вибірки коливався від 8 до 80 осіб (у середньому ~35), причому лише одне дослі-

дження мало адекватну рандомізацію (Herchenröder, Wilfling, Steinhäuser, 2021). Для дорослих було проведено всього 5 досліджень (4 РКД і 1 проспективне) із сумарно кількома сотнями пацієнтів (Oerlemans, Peeters, Munnik-Hagewoud, Nijholt, Witlox, Verheyen, 2023). Недостатність вибірок означає низьку статистичну потужність, через що реальні відмінності між підгрупами можуть не проявитися. Практично жодне дослідження не стратифікувало учасників за типом плоскостопості (гнучке vs. ригідне, з гіpermобільністю vs. з нормою) – усіх аналізували разом. Це «розмиває» результати: якщо метод допомагає одній підгрупі і не допомагає іншій, сукупний ефект виявляється середнім. Майбутні дослідження мають включати більші вибірки та попередню стратифікацію пацієнтів за релевантними ознаками.

Стандартизація діагностичних критеріїв залишається нерозв'язаною проблемою. Відсутність універсально прийнятих критеріїв діагностики та класифікації плоскостопості ускладнює порівняння результатів досліджень і розробку алгоритмів персоналізації. В одному метааналізі зазначено, що навіть за використання однакових приладів (наприклад, силових платформ або 3D motion capture) дослідження значно відрізняються за протоколами вимірювання (Desmyttere, Fieuws, Desloovere, 2021). Різні дослідження використовують різні методи діагностики, що робить неможливим метааналіз та синтез даних для виявлення предикторів відповіді на лікування.

Попри доступність сучасних технологічних засобів для аналізу біомеханіки стопи (електроміографії, тривимірної плантографії, оптичного аналізу ходи тощо), вони рідко використовуються в клінічній практиці під час прийняття рішень щодо втручання. Більшість досліджень, присвячених використанню біомеханічних інструментів, зосереджені на оцінці, а не на прогнозуванні ефективності терапії. Сучасні біомеханічні системи здебільшого застосовуються для постфактум аналізу, але майже не інтегруються в процес прийняття клінічних рішень (Bishop, Thewlis, Hillier, 2017).

Тривимірне сканування стопи та комп'ютерне моделювання дають змогу виготовляти індивідуалізовані устілки з урахуванням анатомічних особливостей пацієнта. Устілки, надруковані на 3D-принтері, забезпечують краще зменшення болю та вищу задоволеність лікуванням упродовж 4 тижнів порівняно зі стандартними виробами (Bari, Ahmed, Farhan, Al-Shenqiti, Zafar, 2025). Це пов'язано з точним відтворенням рельєфу стопи, посиленою підтримкою склепіння та кращим розподілом тиску.

Дослідження демонструють потенціал технологій штучного інтелекту для аналізу складних взаємозв'язків між різними аспектами патології стопи. Використання *deep learning* для аналізу рентгенографічних зображень дало можливість виявити кореляції, які могли б залишитися непоміченими під час традиційного аналізу (Choi, Lee, Ahn, Kim, Kang, Kim, 2025). Проте це дослідження стосувалося лише діагностичних аспектів, а не терапевтичного планування.

Серед потенційно корисних технологій – електроміографія (EMG) у режимі біозворотного зв'язку для навчання пацієнтів правильно активувати м'язи стопи (деякі дослідження показали, що вправи з EMG-біофідбеком є ефективнішими) (Jia, Sai, Zhang, 2024). Також розглядається використання розумних устілок із сенсорами, що в реальному часі відстежують тиск і дають сигнал пацієнту чи лікарю про неправильну ходу або потребу змінити навантаження. У сфері матеріалів цікавим є впровадження ауксетичних структур в устілках (матеріал, що розширюється попереково в разі стискання) – вони краще амортизують і розподіляють навантаження (Simarmata, Martawidjaja, Harito, Tobing, 2025). Нарешті, розвиток телемедицини та мобільних застосунків дає змогу проводити дистанційний моніторинг виконання вправ і прогресу пацієнта, а також коригувати програму лікування на основі даних, що пацієнт вводить сам (больові оцінки, фото стоп, відео виконання вправ). Ці діджитал-інструменти вписуються в концепцію персоналізації, адже дають зворотний зв'язок і адаптують лікування до конкретної людини навіть поза клінікою.

Психологічні наслідки для пацієнтів також заслуговують на увагу. Неуспішні спроби лікування можуть знижувати довіру пацієнтів до медичної допомоги та їх мотивацію до дотримання терапевтичних рекомендацій. Відсутність чітких критеріїв для вибору лікування також ускладнює процес інформованої згоди та може призводити до нереалістичних очікувань від терапії.

На основі аналізу чинних прогалин можна визначити кілька пріоритетних напрямів для майбутніх досліджень персоналізованого лікування плоскостопості.

Розробка та валідація прогностичних моделей повинна стати першочерговим завданням. Такі моделі мають передбачати комплексну оцінку клінічних, біомеханічних, рентгенологічних і, можливо, генетичних факторів для прогнозування відповіді на різні терапевтичні втручання. Використання сучасних методів машинного навчання сприятиме

виявленню складних патернів взаємодій між різними факторами.

Стратифікаційні дослідження необхідні для ідентифікації клінічно значущих підтипів плоскостопості, які можуть потребувати різних терапевтичних підходів. Такі дослідження повинні містити детальний аналіз етіологічних факторів, біомеханічних характеристик, патернів супутніх деформацій та функціональних порушень для створення клінічно релевантної таксономії.

Біомаркерні дослідження мають на меті ідентифікувати лабораторні, візуалізаційні або функціональні маркери, які корелюють з ефективністю конкретних терапевтичних втручань. Це може передбачати аналіз маркерів запалення, метаболізму сполучної тканини, нейрому'язової функції або генетичних поліморфізмів.

Технологічні дослідження повинні фокусуватися на розробці та валідації цифрових інструментів для оцінки індивідуальних характеристик пацієнтів та підбору оптимальних терапевтичних стратегій. Це стосується розробки алгоритмів штучного інтелекту, систем підтримки прийняття клінічних рішень та інтегрованих платформ для моніторингу результатів лікування.

Реалістична стратегія впровадження має поетапний підхід. Перший етап (1–2 роки) передбачає стандартизацію базових підходів: уніфіковані діагностичні критерії, скринінг супутніх деформацій та застосування комбінації «короткі вправи для стопи + індивідуалізовані ортези» як терапії першої лінії. Другий етап (3–5 років) стосується впровадження мультимодальних протоколів, навчання медичних працівників розширених технік і створення регіональних центрів біомеханічної діагностики. Третій етап (понад 5 років) передбачає впровадження персоналізованих технологічних рішень: ШІ-системи для підбору терапії, 3D-друк устілок, телемедичний моніторинг і програми персоналізованої медицини на основі біомаркерів.

Успішність стратегії впровадження може оцінюватися через зменшення варіабельності результатів лікування між різними клініками, підвищення загальної задоволеності пацієнтів терапією, скорочення середнього часу до досягнення клінічно значущого поліпшення та зменшення кількості невдалих терапевтичних спроб, що потребують зміни стратегії лікування.

Висновки. 1. Мультимодальна терапія плоскостопості, що базується на одночасному адресуванні різних патофізіологічних механізмів через біомеханічну, нейрофізіологічну та тканинну синергію, демонструє суттєві переваги над

ізолюваними втручаннями. Найефективніша комбінація передбачає зміцнення заднього великогомілкового м'язу, розтягування клубово-поперекowego м'язу та вправи для відновлення стопи та гомілки, при цьому консервативна терапія ефективно зменшує біль і покращує функцію без зміни базової структурної деформації стопи.

2. Попри гетерогенність клінічних проявів плоскостопості й очевидну потребу в індивідуалізованому підході до лікування, доказова база для персоналізованих терапевтичних стратегій залишається критично недостатньою. Відсутні прогностичні біомаркери, валідовані методи стратифікації

пацієнтів та науково обґрунтовані критерії вибору оптимальних терапевтичних втручань залежно від індивідуальних характеристик пацієнтів.

3. Сучасні технологічні можливості, включно з тривимірним скануванням стопи, системами штучного інтелекту, електроміографією з біозворотним зв'язком і телемедициними платформами, створюють передумови для персоналізації лікування плоскостопості, проте їх клінічна інтеграція залишається обмеженою через недостатню валідацію ефективності та відсутність стандартизованих протоколів застосування в рутинній практиці.

ЛІТЕРАТУРА

- Kirmizi M., Sengul Y. S., 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. Vol. 113. P. 106–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2024.05.030>.
- Jia Y., Sai X., Zhang E. Comparing the efficacy of exercise therapy on adult flexible flatfoot individuals through a network meta-analysis of randomized controlled trials. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14 (1). 21186. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72149-w>.
- Herchenröder M., Wilfling D., Steinhäuser J. Evidence for foot orthoses for adults with flatfoot: a systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2021. Vol. 14 (1). P. 57. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13047-021-00499-z>.
- Heyes G. J., Vosoughi A. R., Weigelt L., Mason L., Molloy A. Pes Planus Deformity and Its Association with Hallux Valgus Recurrence Following Scarf Osteotomy. *Foot & Ankle International*. 2020. Vol. 41 (10). P. 1212–1218. DOI: <https://doi.org/10.1177/1071100720937645>.
- Choi Y. H., Lee S. W., Ahn J. H., Kim G. J., Kang M. H., Kim Y. C. Hallux valgus and pes planus: Correlation analysis using deep learning-assisted radiographic angle measurements. *Foot and Ankle Surgery*. 2025. Vol. 31 (2). P. 170–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fas.2024.09.003>.
- Tay A. Y. W., Goh G. S., Thever Y., Yeo N. E. M., Koo K. Impact of pes planus on clinical outcomes of hallux valgus surgery. *Foot and Ankle Surgery*. 2022. Vol. 28 (3). P. 331–337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fas.2021.04.004>.
- Toprak Celenay S., Yardimci F. B., Altay H. Pelvic floor muscle strength and dysfunctions in women with pes planus: A case-control study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2024. Vol. 39. P. 38–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2024.02.024>.
- Aenumulapalli A., Kulkarni M. M., Gandotra A. R. Prevalence of flexible flat foot in adults: A cross-sectional study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2017. Vol. 11 (6). AC17–AC20. DOI: <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/25022.10018>.
- Pita-Fernandez S. et al. Flat foot in a random population and its impact on quality of life and functionality. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2017. Vol. 11 (4). LC22–LC27. DOI: <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/25383.9968>.
- Вихляев Ю. М. Корекція функціонального стану студентів технічними засобами : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2006. 308 с.
- Худецький І. Ю., Вихляев Ю. М. Апарат коригувальної дії на зводи стопи та стимулювання рефлексогенних зон. Опубл. 10.05.2018. *Бюл.* № 9.
- Вихляев Ю. М. Пристрій-дошка для корекції деформацій стоп та стимулювання рефлексогенних зон. Опубл. 10.05.2018. *Бюл.* № 9.
- Volodina T. T. et al. Implementation of dietary supplements with effect of dezintoxication and improvement of osteogenesis and metabolism. *Science and Innovation*. 2017. Vol. 13 (6). P. 39–50. DOI: <https://doi.org/10.15407/scin13.06.041>.
- Galkin O. Yu., Besarab A. B., Lutsenko T. N. Characteristics of enzyme-linked immunosorbent assay for detection of IgG antibodies specific to Chlamydia trachomatis heat shock protein (HSP-60). *The Ukrainian Biochemical Journal*. 2017. Vol. 89 (1). P. 22–30. DOI: [10.15407/ubj89.01.022](https://doi.org/10.15407/ubj89.01.022).
- Galkin O. Yu., Savchenko A. A., Nikitina K. I., Dugan O. M. Obtaining and study of properties of new monoclonal antibodies against human IgE. *The Ukrainian Biochemical Journal*. 2013. Vol. 85 (5). P. 81–87. DOI: [10.15407/ubj85.05.081](https://doi.org/10.15407/ubj85.05.081).
- Salinas-Torres V. M. et al. Prevalence and Clinical Factors Associated with Pes Planus Among Children and Adults. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. 2023. Vol. 62 (5). P. 899–903. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2023.05.007>.
- Myerson M. S. et al. Classification and Nomenclature: Progressive Collapsing Foot Deformity. *Foot & Ankle International*. 2020. Vol. 41 (10). P. 1271–1276. DOI: <https://doi.org/10.1177/1071100720950722>.
- Hoang N. T., Chen S., Chou L. W. The Impact of Foot Orthoses and Exercises on Pain and Navicular Drop for Adult Flatfoot: A Network Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18 (15). 8063. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18158063>.
- Apollo Medicine. Nonsurgical treatment of adult acquired flatfoot is effective: A systematic review. *Apollo Medicine*. 2020. Vol. 17 (2). P. 66–71. DOI: https://doi.org/10.4103/am.am_15_20.
- Watanabe K. et al. Posterior tibial tendon dysfunction and flatfoot: analysis with simulated walking. *Gait & Posture*. 2013. Vol. 37 (2). P. 264–268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.07.015>.

- Oerlemans L. N. T. et al. Foot orthoses for flexible flatfoot: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2023. Vol. 24 (1). P. 16. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06044-8>.
- Bishop C., Thewlis D., Hillier S. Custom foot orthoses for adults with flexible pes planus: a systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2017. Vol. 10. P. 55. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13047-017-0234-y>.
- Desmyttere G., Fieuews S., Desloovere K. Do gait analysis outcomes correlate with patient-reported outcomes in adult flatfoot? *Gait & Posture*. 2021. Vol. 85. P. 157–166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.01.013>.
- Elsayed W. et al. The combined effect of short foot exercises and orthosis in symptomatic flexible flatfoot: a randomized controlled trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2023. Vol. 59 (3). P. 396–405. DOI: <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.23.07846-2>.
- Engkananuwat P., Kanlayanaphotporn R. Gluteus medius muscle strengthening exercise effects on medial longitudinal arch height. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 2023. Vol. 19 (1). P. 57–66. DOI: <https://doi.org/10.12965/jer.2244572.286>.
- Bari A. Z. et al. Comparing Prefabricated and 3D-Printed Foot Orthoses. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2025. Vol. 104 (4). P. 298–304. DOI: <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000002585>
- Simarmata T. P. et al. Three-Dimensional Printed Auxetic Insole Orthotics. *Designs*. 2025. Vol. 9 (1). P. 15. DOI: <https://doi.org/10.3390/designs9010015>.
- Kolesnichenko V. et al. Alteration in motor control in patients with low back pain. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Medicine*. 2025. Vol. 33 (1 (52)). P. 93–102. DOI: <https://doi.org/10.26565/2313-6693-2025-52-08>
- Sukhonos O., Korenkov O., Sukhodub L. A modern view on reparative osteogenesis. *Eastern Ukrainian Medical Journal*. 2024. Vol. 12 (3). P. 476–491. DOI: [https://doi.org/10.21272/eumj.2024;12\(3\):476-491](https://doi.org/10.21272/eumj.2024;12(3):476-491).
- Moldavska Kh. O., Oprya Ye. V., Yermuraki P. P. Neurorehabilitation in the face of modern challenges. *The Odesa Medical Journal*. 2025. Vol. 1. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-2008-2025-1-12>.
- Volodina T., Korotkevich N., Romaniuk S. et al. Implementation of Dietary Supplements... *Science and Innovation*. 2024. Vol. 13 (6). P. 39–50. DOI: <https://doi.org/10.15407/scine13.06.039>.

REFERENCES

- Kirmizi, M., Sengul, Y. S., Akcali, O., & Angin, S. (2024). 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*, 113, 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2024.05.030>.
- Jia, Y., Sai, X., & Zhang, E. (2024). Comparing the efficacy of exercise therapy on adult flexible flatfoot individuals through a network meta-analysis of randomized controlled trials. *Scientific Reports*, 14 (1), 21186. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72149-w>.
- Herchenröder, M., Wilfling, D., & Steinhäuser, J. (2021). Evidence for foot orthoses for adults with flatfoot: a systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*, 14 (1), 57. <https://doi.org/10.1186/s13047-021-00499-z>.
- Heyes, G.J., Vosoughi, A.R., Weigelt, L., Mason, L., & Molloy, A. (2020). Pes Planus Deformity and Its Association With Hallux Valgus Recurrence Following Scarf Osteotomy. *Foot & ankle international*, 41 (10), 1212–1218. <https://doi.org/10.1177/1071100720937645>.
- Choi, Y.H., Lee, S.W., Ahn, J.H., Kim, G.J., Kang, M.H., & Kim, Y.C. (2025). Hallux valgus and pes planus: Correlation analysis using deep learning-assisted radiographic angle measurements. *Foot and ankle surgery: official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*, 31 (2), 170–176. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2024.09.003>.
- Tay, A.Y.W., Goh, G.S., Thever, Y., Yeo, N.E.M., & Koo, K. (2022). Impact of pes planus on clinical outcomes of hallux valgus surgery. *Foot and ankle surgery: official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*, 28 (3), 331–337. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2021.04.004>.
- Toprak Celenay, S., Yardimci, F.B., & Altay, H. (2024). Pelvic floor muscle strength and dysfunctions in women with pes planus: A case-control study. *Journal of bodywork and movement therapies*, 39, 38–42. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2024.02.024>.
- Aenumulapalli, A., Kulkarni, M.M., & Gandotra, A.R. (2017). Prevalence of flexible flat foot in adults: A cross-sectional study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 11 (6), AC17-AC20. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/25022.10018>.
- Pita-Fernandez, S., Gonzalez-Martin, C., Alonso-Tajes, F., Seoane-Pillado, T., Pertega-Diaz, S., Perez-Garcia, S., Corvinos-Martin, L., & Balboa-Barreiro, V. (2017). Flat foot in a random population and its impact on quality of life and functionality. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 11 (4), LC22–LC27. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/25383.9968>.
- Vykhliaiev, Y.M. (2006). *Korektsiia funktsionalnoho stanu studentiv tekhnichnykh zasobamy* [Correction of the functional state of students using technical means]. NTUU “KPI”. 308 p. [in Ukrainian].
- Khudetskyi, I.Y., & Vykhliaiev, Y.M. (2018). Aparat koryhuvalnoi dii na zvody stopy ta stymuliuвання рефлексогенних зон [Corrective device for foot arches and stimulation of reflexogenic zones]. Bulletin No. 9 [in Ukrainian].
- Vykhliaiev, Y.M. (2018). *Prystrii-doshka dlia korektsii deformatsii stop ta stymuliuвання рефлексогенних зон* [Board device for correcting foot deformities and stimulating reflexogenic zones]. Bulletin No. 9 [in Ukrainian].
- Volodina, T.T., Korotkevich, N.V., Romanyuk, S.I., Galkin, O.Y., Kolybo, D.V., Komisarenko, S.V. (2017). Implementation of dietary supplements with effect of dezintoxication and improvement of osteogenesis and metabolism. *Science and Innovation*, 13 (6), 39–50. <https://doi.org/10.15407/scin13.06.041>.
- Galkin, O.Yu., Besarab, A.B., & Lutsenko, T.N. (2017). Characteristics of enzyme-linked immunosorbent assay for detection of IgG antibodies specific to Chlamydia trachomatis heat shock protein (HSP-60). *The Ukrainian Biochemical Journal*, 89 (1), 22–30. <https://doi.org/10.15407/ubj89.01.022>.
- Galkin, O. Yu., Savchenko, A.A., Nikitina, K.I., Dugan, O.M. (2013). Obtaining and study of properties of new monoclonal antibodies against human IgE. *The Ukrainian Biochemical Journal*, 85 (5), 81–87. <https://doi.org/10.15407/ubj85.05.081>.
- Salinas-Torres, V.M., Salinas-Torres, R.A., Carranza-García, L.E., Herrera-Orozco, J., & Tristán-Rodríguez, J.L. (2023). Prevalence and Clinical Factors Associated With Pes Planus Among Children and Adults: A Population-Based Synthesis and Systematic

Review. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 62 (5), 899–903. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2023.05.007>.

Myerson, M.S., Thordarson, D.B., Johnson, J.E., Hintermann, B., Sangeorzan, B.J., Deland, J.T., Schon, L.C., Ellis, S.J., & de Cesar Netto, C. (2020). Classification and Nomenclature: Progressive Collapsing Foot Deformity. *Foot & ankle international*, 41 (10), 1271–1276. <https://doi.org/10.1177/1071100720950722>.

Hoang, N.T., Chen, S., & Chou, L.W. (2021). The Impact of Foot Orthoses and Exercises on Pain and Navicular Drop for Adult Flatfoot: A Network Meta-Analysis. *International journal of environmental research and public health*, 18 (15), 8063. <https://doi.org/10.3390/ijerph18158063>.

Herchenröder, M., Wilfling, D., & Steinhäuser, J. (2021). Evidence for foot orthoses for adults with flatfoot: a systematic review. *Journal of foot and ankle research*, 14 (1), 57. <https://doi.org/10.1186/s13047-021-00499-z>.

Apollo Medicine. (2020). Nonsurgical treatment of adult acquired flatfoot is effective: A systematic review. *Apollo Medicine*, 17 (2), 66–71. https://doi.org/10.4103/am.am_15_20.

Watanabe, K., Kitaoka, H.B., Fujii, T., Crevoisier, X., Berglund, L.J., Zhao, K.D., Kaufman, K.R., & An, K.N. (2013). Posterior tibial tendon dysfunction and flatfoot: analysis with simulated walking. *Gait & posture*, 37 (2), 264–268. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.07.015>.

Oerlemans, L.N.T., Peeters, C.M.M., Munnik-Hagewoud, R., Nijholt, I.M., Witlox, A., & Verheyen, C.C.P.M. (2023). Foot orthoses for flexible flatfeet in children and adults: a systematic review and meta-analysis of patient-reported outcomes. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 24 (1), 16. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06044-8>.

Bishop, C., Thewlis, D., & Hillier, S. (2017). Custom foot orthoses for adults with flexible pes planus: a systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*, 10, 55. <https://doi.org/10.1186/s13047-017-0234-y>.

Desmyttere, G., Fieuws, S., & Desloovere, K. (2021). Do gait analysis outcomes correlate with patient-reported outcomes in adult flatfoot? A systematic review and meta-analysis. *Gait & Posture*, 85, 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.01.013>.

Elsayed, W., Alotaibi, S., Shaheen, A., Farouk, M., & Farrag, A. (2023). The combined effect of short foot exercises and orthosis in symptomatic flexible flatfoot: a randomized controlled trial. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 59 (3), 396–405. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.23.07846-2>.

Engkananuwat, P., & Kanlayanaphotporn, R. (2023). Gluteus medius muscle strengthening exercise effects on medial longitudinal arch height in individuals with flexible flatfoot: a randomized controlled trial. *Journal of exercise rehabilitation*, 19 (1), 57–66. <https://doi.org/10.12965/jer.2244572.286>.

Bari, A.Z., Ahmed, N., Farhan, M., Al-Shenqiti, A., & Zafar, M.S. (2025). Comparing Prefabricated and 3D-Printed Foot Orthoses for the Management of Flat Foot Condition: A Randomized Controlled Trial. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 104 (4), 298–304. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000002585>.

Simarmata, T.P., Martawidjaja, M., Harito, C., & Tobing, C.C.L. (2025). Three-Dimensional Printed Auxetic Insole Orthotics for Flat Foot Patients with Quality Function Development/Theory of Inventive Problem Solving/Analytical Hierarchy Process Methods. *Designs*, 9 (1), 15. <https://doi.org/10.3390/designs9010015>.

Kolesnichenko, V., Holka, H., Hresko, I., Burlaka, V., Vesnin, V., Vvedensky, B., & Vvedensky, D. (2025). Alteration in motor control in patients with low back pain and myotonic syndrome of lumbar osteochondrosis. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Medicine*, 33 (1 (52)), 93–102. <https://doi.org/10.26565/2313-6693-2025-52-08>.

Sukhonos, O., Korenkov, O., & Sukhodub, L. (2024). A modern view on reparative osteogenesis: main stages and their patterns. *Eastern Ukrainian Medical Journal*, 12 (3), 476–491. [https://doi.org/10.21272/eumj.2024;12\(3\):476-491](https://doi.org/10.21272/eumj.2024;12(3):476-491).

Moldavska, Kh.O., Oprya, Ye.V., & Yermuraki, P.P. (2025). Neurorehabilitation in the face of modern challenges: Global practices and development prospects in Ukraine. *The Odesa Medical Journal*, 1. <https://doi.org/10.32782/2226-2008-2025-1-12>.

Volodina, T., Korotkevich, N., Romaniuk, S., Galkin, O., Kolybo, D., & Komisarenko, S. (2024). Implementation of Dietary Supplements with Effect of Decontamination and Improvement of Osteogenesis and Metabolism. *Science and Innovation*, 13 (6), 39–50. <https://doi.org/10.15407/scine13.06.039>.

Стаття надійшла до редакції: 30.08.2025

Стаття прийнята до друку: 20.11.2025

Опубліковано: 29.12.2025

Конфлікт інтересів: відсутній.

Внесок авторів:

Вихляєв Ю.М. – ідея, дизайн дослідження, корекція статті;

Слободян В.Г. – збір та аналіз літератури, написання статті.

Електронна пошта для спілкування: Vykh46@i.ua