



Фізична освіта і спорт

УДК 796.456 – 972.2 – 060.11 (045)

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.17737729>

Від функціональної діагностики до персоналізованої корекції: роль біомеханічного скринінгу у відновленні опорно-рухового апарату

Демьохін Дмитро Юрійович

викладач кафедри кінезіології та фізкультурно-спортивної реабілітації,
Національний університет фізичного виховання і спорту України, 03150, м.
Київ, вулиця Фізкультури 1, Україна
<https://orcid.org/0009-0001-1346-7465>

Усиченко Віталій Вікторович

кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент кафедри кінезіології
та фізкультурно-спортивної реабілітації, Національний університет
фізичного виховання і спорту України, 03150, м. Київ, вулиця
Фізкультури 1, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3302-5864>

Ричок Тетяна Миколаївна

кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент кафедри кінезіології
та фізкультурно-спортивної реабілітації, Національний університет
фізичного виховання і спорту України, 03150, м. Київ, вулиця
Фізкультури 1, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1280-7058>

Прийнято: 12.11.2025 | Опубліковано: 27.11.2025



Анотація: Відновільновальні заходи осіб із функціональними порушеннями опорно-рухового апарату (ОРА) часто стикається з обмеженою ефективністю. Традиційні профілактично-корекційні програми, як правило, базуються на універсальних протоколах або загальних діагнозах і не враховують індивідуальні біомеханічні особливості та рухові патерни людини. Неперсоналізовані програми призводять до кількох критичних недоліків: загальні вправи часто спрямовані на наслідок, а не на першопричину порушення. Це призводить до тимчасового полегшення, але не до довготривалої корекції. Виконання стандартних вправ на тлі некоректної біомеханіки може викликати надмірне навантаження на здорові структури, посилюючи компенсаторні механізми та збільшуючи ризик рецидиву або нових травм. Численні дослідження підтверджують, що функціональні порушення ОРА, навіть при схожих клінічних діагнозах, мають унікальний біомеханічний профіль у кожній людини. Таким чином, для досягнення максимальної функціональності, стабільності та довгострокового результату, необхідно перейти від універсальних схем до персоналізованої стратегії, заснованої на об'єктивних кількісних даних. Цей перехід вимагає впровадження біомеханічного діагностичного скринінгу як імперативу (обов'язкової умови) для ефективної розробки профілактично-корекційних програм.

Мета. Дослідження спрямоване на обґрунтування та систематизацію ролі біомеханічного діагностичного скринінгу як імперативу для індивідуалізації корекційних програм, а також на аналіз застосування сучасних технологічних інновацій у цій сфері.

Методи. Аналіз, синтез та узагальнення; систематизація та класифікація, порівняння та аналогія; історичний та логічний методи; абстрагування та ідеалізація.

Результати. Встановлено, що біомеханічний скринінг дозволяє здійснити точний перехід від ідентифікації функціональних дефіцитів до розробки



адаптивного та науково обґрунтованого алгоритму персоналізації корекційних втручань. Об'єктивні дані, отримані за допомогою інноваційних технологій, забезпечують основу для раннього виявлення дисфункцій та інтеграції зі штучним інтелектом для прогнозування ризиків.

Висновки. Впровадження *Wearable*-технологій та систем захоплення руху знаменує собою зміну парадигми діагностики та корекції порушень біомеханіки ОРА. Їхні ключові переваги включають високу точність біомеханічної оцінки, доступність моніторингу в реальних умовах та можливості ранньої ідентифікації функціональних дисфункцій. Надання об'єктивних кількісних даних для персоналізації корекційних програм, а також інтеграція зі штучним інтелектом для прогнозування ризиків, створюють потужну синергію. Як результат, ці технології, інтегровані в оздоровчий фітнес, фізичне виховання та фізкультурно-спортивну реабілітацію, формують нову інноваційну, адаптивну та науково обґрунтовану модель відновлення ОРА.

Ключові слова: здоров'я, біомеханічний скринінг, персоналізація, опорно-руховий апарат, *Wearable*-технології, рухові дисфункції.

From functional diagnostics to personalized correction: the role of biomechanical screening in musculoskeletal system restoration

Demiohin Dmytro Yuriyovych

Lecturer Department of Kinesiology and Physical Education and Sports
Rehabilitation National University of Physical Education and Sport of Ukraine 1

Fizkultury Street, Kyiv, 03150, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1346-7465>



Usychenko Vitalii Viktorovich

Candidate of Sciences in Physical Education and Sport (Ph.D.) Associate
Professor Department of Kinesiology and Physical Education and Sports
Rehabilitation National University of Physical Education and Sport of Ukraine 1
Fizkultury Street, Kyiv, 03150, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3302-5864>

Rychok Tetiana Mykolaivna

Candidate of Sciences in Physical Education and Sport (Ph.D.) Associate
Professor Department of Kinesiology and Physical Education and Sports
Rehabilitation National University of Physical Education and Sport of Ukraine 1
Fizkultury Street, Kyiv, 03150, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1280-7058>

Abstract: *Restoration measures for individuals with functional musculoskeletal system (MSS) disorders often face limited effectiveness. Traditional prophylactic and corrective programs are generally based on universal protocols or general diagnoses, failing to account for individual biomechanical characteristics and movement patterns. These non-personalized programs lead to critical drawbacks: general exercises often target the consequence rather than the root cause of the disorder. This results in temporary relief but not in long-term correction. Furthermore, executing standard exercises amidst incorrect biomechanics can overload healthy structures, exacerbating compensatory mechanisms and increasing the risk of relapse or new injuries. Numerous studies confirm that MSS functional disorders, even with similar clinical diagnoses, possess a unique biomechanical profile in each individual. Therefore, to achieve maximum functionality, stability, and long-term results, a transition from universal schemes to a personalized strategy based on objective quantitative data is imperative. This shift mandates the implementation of biomechanical diagnostic*



screening as a prerequisite for the effective development of corrective programs.

Objective. *The research aims to substantiate and systematize the role of biomechanical diagnostic screening as an imperative for the individualization of corrective programs, and to analyze the application of contemporary technological innovations in this field.*

The study employed methods of analysis, synthesis, and generalization; systematization and classification; comparison and analogy; historical and logical methods; abstraction and idealization for literature review and conceptual framework development.

Results. *It is established that biomechanical screening enables a precise transition from the identification of functional deficits to the development of an adaptive and scientifically grounded algorithm for personalizing corrective interventions. Objective data obtained through innovative technologies, such as Wearable devices and motion capture systems, provide a foundation for early detection of dysfunctions and integration with Artificial Intelligence (AI) for risk prediction.*

Conclusions. *The implementation of Wearable technologies and motion capture systems marks a paradigm shift in the diagnostics and correction of MSS biomechanics disorders. Their key advantages include high-precision biomechanical assessment, monitoring accessibility in real-world conditions, and the potential for early identification of functional dysfunctions. Providing objective quantitative data for personalized corrective programs, coupled with AI integration for risk forecasting, creates a powerful synergy. Consequently, these technologies, integrated into wellness fitness, physical education, and sports rehabilitation, form a new innovative, adaptive, and scientifically sound model for MSS restoration.*

Keywords: *health, biomechanical screening, personalization, musculoskeletal system. Wearable technologies, movement dysfunctions.*

Постановка проблеми. Біомеханічний скринінг розглядається дослідниками як комплексна система раннього виявлення дисфункцій рухового апарату, яка базується на кількісних і якісних показниках кінематики, динаміки



та нейром'язового контролю [5, 11]. На відміну від стандартних функціональних тестів, біомеханічний скринінг включає постурографічний аналіз, тривимірний руховий аналіз, застосування інерційних сенсорів, електроміографічні та стабілометричні вимірювання, а також карти оцінки постави [6, 7].

Узгоджені результати досліджень свідчать, що поєднання статичного та динамічного аналізу забезпечує найвищу діагностичну точність [14]. Дослідники підкреслюють, що окремі тести не здатні відобразити повну картину функціональних порушень, тому інтегративні моделі, що включають різні види аналізу, забезпечують найбільш повну оцінку рухового профілю [1, 2].

Особливе значення має оцінювання рухових ланцюгів – взаємодії суглобових сегментів при виконанні функціональних рухів. Порушення синергії рухів є ключовими предикторами травм [13], що підкреслює необхідність системного аналізу не лише ізольованої рухливості, але й динамічних координаційних патернів.

Стрімкий розвиток цифрових технологій у сфері біомеханіки та реабілітації сприяє переосмисленню підходів до діагностики стану опорно-рухового апарату (ОРА) [4].

Wearable-пристрої (смарт-сенсори, IMU-модулі, біомеханічні монітори) та системи захоплення руху (optical MoCap, markerless motion capture, стереоскопічні камери, LiDAR-сканери) відкривають можливості для високоточної, доступної та персоналізованої оцінки функціонального стану людини [4, 18]. На відміну від традиційних клінічних методів, сучасні мобільні та портативні рішення забезпечують безперервний збір кінематичних, динамічних та просторових параметрів у реальному часі, що значно розширює можливості моніторингу рухових порушень у спортивній підготовці, фізичному вихованні та оздоровчому фітнесі [10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перехід від діагностики до персоналізації корекційних програм є центральним напрямом розвитку сучасної



фітнес-реабілітації [1, 2]. За результатами численних досліджень, саме індивідуальні біомеханічні профілі слугують основою для відбору оптимальних корекційних інтервенцій, адаптації навантаження і контролю прогресу [12, 20].

У низці робіт [17, 19] запропоновано багатоступеневі моделі планування корекції, що включають:

1. Діагностичний рівень – збір даних біомеханічного скринінгу (мобільність, симетрія, патерни рухів, контроль положення тіла) [6, 9].

2. Аналітичний рівень – інтерпретація результатів, ідентифікація «слабких ланок», компенсаторних механізмів і факторів ризику [8, 12].

3. Корекційний рівень – розробка програми, спрямованої на усунення індивідуальних дисфункцій [3, 16].

4. Контрольний рівень – повторне оцінювання та адаптація тренувального плану [15, 22].

Такі моделі довели свою ефективність у фізичному вихованні студентів, де частка осіб із функціональними порушеннями становить від 60 % до 80 % [20, 21]. Аналогічні результати отримані у програмах оздоровчого фітнесу, де персоналізація вправ на основі рухового профілю підвищує ефективність тренувань на 25–35 % [6, 9, 22].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Існує багато окремих тестів та технологій біомеханічного скринінгу, але відсутній єдиний, валідований та економічно обґрунтований протокол скринінгу, який би комплексно охоплював критичні рухові патерни для різних категорій функціональних порушень ОРА. Науковці [4, 5, 22] успішно ідентифікують біомеханічні порушення. Проте, недостатньо досліджена та систематизована методика прямого переходу від кількісного біомеханічного показника до конкретного параметру корекційної вправи (наприклад, вибір кута, зміна темпу, обсягу). Іншими словами, існує прогалина між «діагностикою» і «персоналізацією корекційно-профілактичними заходів».



Більшість досліджень, що вивчають біомеханічний скринінг, фокусуються на короткострокових результатах або діагностичній точності.

Невирішеною залишається проблема довгострокової ефективності та прогностичної цінності біомеханічно персоналізованих програм у зниженні рівня рецидивів та покращенні якості життя через значний проміжок часу (6–12 місяців і більше).

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Дослідження спрямоване на обґрунтування та систематизацію ролі біомеханічного діагностичного скринінгу як імперативу для індивідуалізації корекційних програм, а також на аналіз застосування сучасних технологічних інновацій у цій сфері.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Інерційні вимірювальні одиниці IMU (акселерометри, гіроскопи, магнітометри) дозволяють реєструвати положення сегментів тіла, кутову швидкість, прискорення та варіабельність рухів.

Переваги IMU:

- висока точність при оцінці лінійних та кутових зміщень;
- можливість довготривалого моніторингу в умовах побутової активності;
- мобільність та відносно низька вартість;
- автоматизований аналіз функціональних тестів (FMS, Y-Balance, Sit-to-Stand тощо).

IMU вже використовуються для визначення ризику падінь, детекції асиметрій ходи, контролю прогресу у програмі реабілітації після травм хребта, кульшового та колінного суглобів.

Wearable-платформи для оцінки м'язового тонусу, електроміографічної активності м'язів

Рисунок 1

Інерційні вимірювальні одиниці (IMU) та їх застосування в аналізі рухів та функціональних тестів



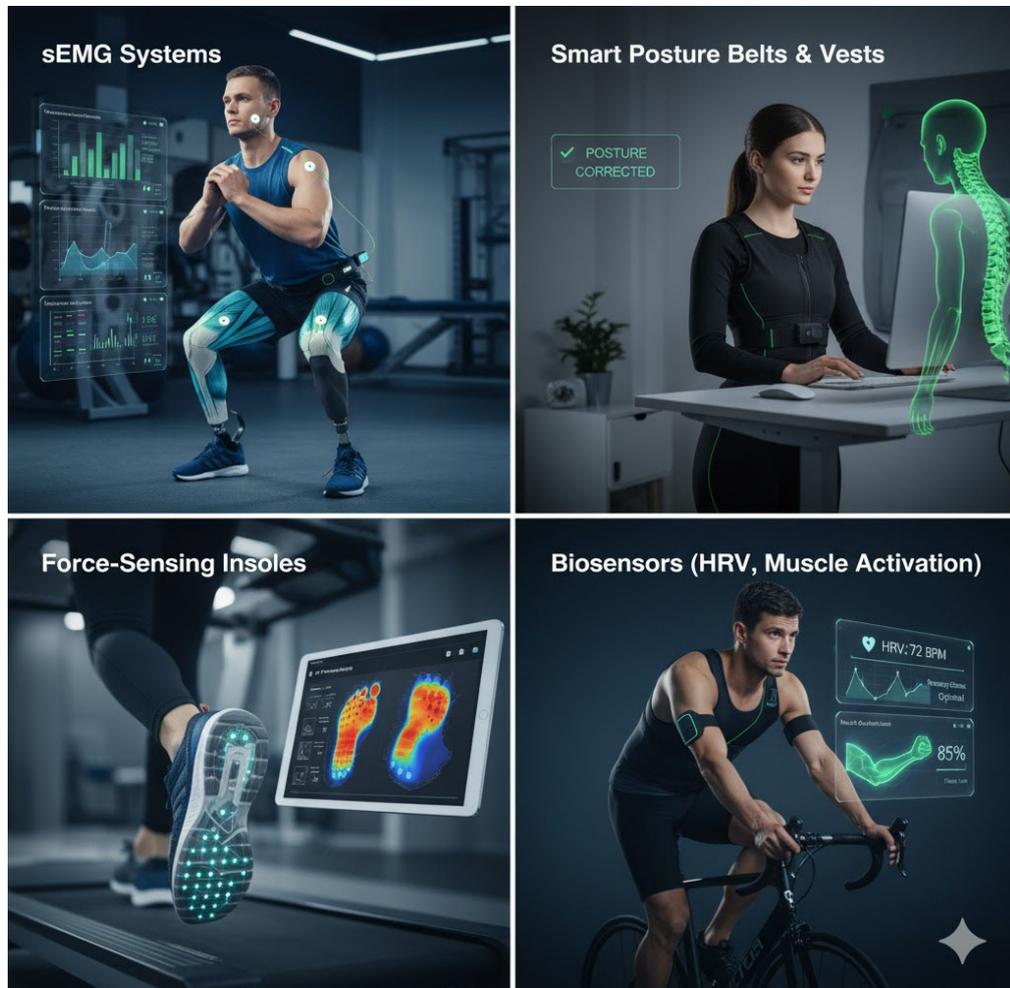
Джерело: представлено авторами та згенеровано AI

До таких технологій належать:

- sEMG-системи (поверхнева електроміографія) для виявлення порушень нейром'язового контролю;
- сенсорні пояси та жилети для моніторингу постави;
- force-sensing insoles для аналізу розподілу тиску стопи під час ходи і бігу;
- біосенсори (HRV, м'язова активація) для аналізу навантаження та відновлення (рис. 2).

Рисунок 2

Wearable-платформи для оцінки м'язового тону та втоми, включаючи sEMG-системи, сенсорні пояси, force-sensing insoles та біосенсори



Джерело: представлено авторами та згенеровано AI

Застосування таких пристроїв дає змогу формувати персоналізовані профілі рухової активності й визначати оптимальні параметри корекційно-тренувального втручання.

Системи захоплення руху (Motion Capture) у діагностиці порушень ОРА

Оптичні маркерні системи

Традиційні лабораторні MoCap-комплекси (Vicon, Qualisys) забезпечують високу точність (до 0,3 мм) та дозволяють комплексно аналізувати:

- біогеометрію постави;

- кінематику складних рухових актів;
- внутрішньосуглобову взаємодію сегментів;
- баланс, стабільність, компенсаційні патерни (рис. 3).

Рисунок 3

Оптичні маркерні системи захоплення руху (Motion Capture) у діагностиці порушень опорно-рухового апарату



Джерело: представлено авторами та згенеровано AI

Незважаючи на вартість і складність, маркерні системи є «золотим стандартом» у біомеханічній діагностиці.

Дослідження просторової організації тіла, проведене в межах нової парадигми із залученням діагностичного обладнання та сучасного програмного забезпечення, оптимізує науковий процес. Результати цих досліджень слугують базою для фундаментальних методологічних розробок, створення індивідуалізованих корекційних програм та передових оздоровчих технологій.

Масштабна поширеність порушень біомеханіки постави, патологій ОРА і рухових дисфункцій каталізує пошук нових підходів до їхнього виявлення та обліку. Це призводить до критичної потреби в інструментах, які можуть забезпечити повну об'єктивність і високу точність кількісних вимірювань (рис. 4).

Рисунок 4

Фотозображення, що ілюструє безмаркерні системи захоплення руху (Markerless MoCap)



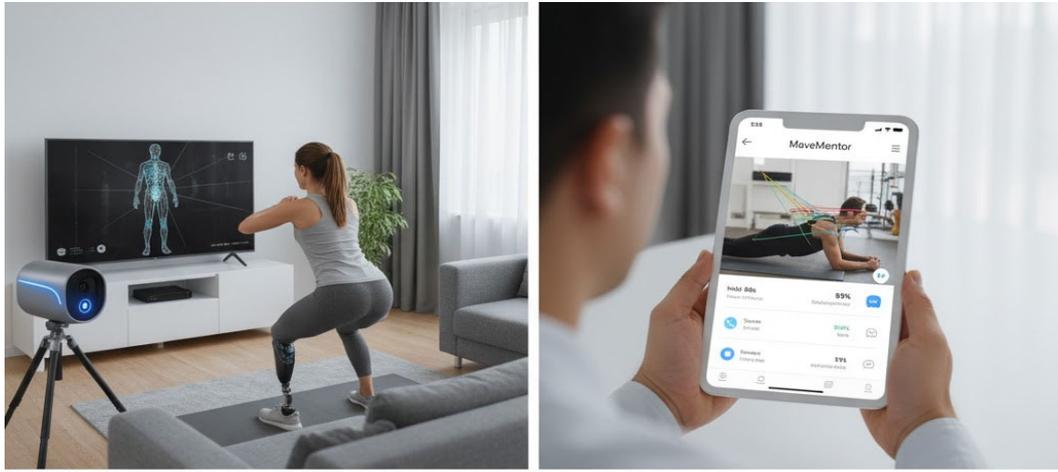
Джерело: представлено авторами та згенеровано AI

Перспективи розвитку технологій

Хмарна аналітика та дистанційний моніторинг: домашні MoCap-камери; мобільні додатки для контролю техніки вправ; хмарні персональні профілі руху; спільна робота тренера, фахівця з фізично-спортивної реабілітації та лікаря.

Рисунок 5

Хмарна аналітика та дистанційний моніторинг у оздоровчому фітнесі



Джерело: представлено авторами та згенеровано AI

Інтеграція з AI та машинним навчанням:

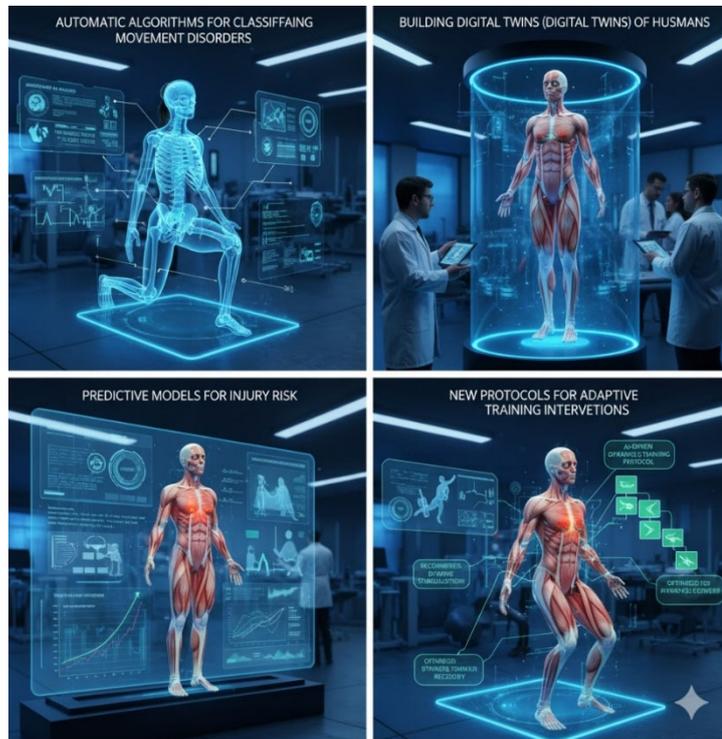
- автоматичні алгоритми для класифікації рухових порушень;
- побудова «цифрових двійників» (digital twins) людини;
- предиктивні моделі ризику травм;
- нові протоколи адаптивних тренувальних інтервенцій (рис. 6).

В умовах сучасного розвитку оптико-електронних технологій, що забезпечують точні вимірювання просторової організації тіла людини, зростає необхідність у їхньому впровадженні у фізичному вихованні та фітнесі. Для скринінг-оцінювання постави жінок другого періоду зрілого віку в нашому дослідженні застосовувався інструментарій комп'ютерної програми «APECS AI» (рис. 7).

Проведене дослідження підтвердило високий рівень відтворюваності вимірювань за більшістю показників, що є критерієм надійності. Це свідчить про доцільність використання «APECS AI» як надійного допоміжного засобу для оперативного біомеханічного скринінгу постави, особливо при проведенні масових обстежень фахівцями галузі фізичної культури та спорту.

Рисунок 6

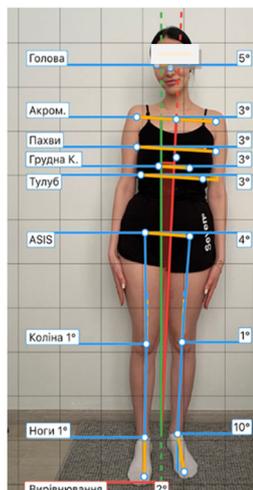
Інтеграція AI та машинного навчання у контексті рухових порушень, цифрових двійників, предиктивних моделей ризику травм та адаптивних тренувальних заходів



Джерело: представлено авторами та згенеровано AI

Рисунок 7

Оцінка біогеометричного профілю постави за допомогою комп'ютерної програми APECS AI



Джерело: власна розробка авторів [2]



Висновки. Впровадження Wearable-технологій та систем захоплення руху знаменує собою зміну парадигми діагностики та корекції порушень біомеханіки ОРА. Їхні ключові переваги включають високу точність біомеханічної оцінки, доступність моніторингу в реальних умовах та можливості ранньої ідентифікації функціональних дисфункцій. Надання об'єктивних кількісних даних для персоналізації корекційних програм, а також інтеграція зі штучним інтелектом для прогнозування ризиків, створюють потужну синергію. Як результат, ці технології, інтегровані в оздоровчий фітнес, фізичне виховання та фізкультурно-спортивну реабілітацію, формують нову інноваційну, адаптивну та науково обґрунтовану модель відновлення ОРА.

Список використаних джерел

1. Альошина А., Романюк В., Петрович В. Стан біомеханіки опорно-рухового апарату чоловіків зрілого віку, як передумова програмування корекційно-профілактичних та фізкультурно-оздоровчих занять. *Фізична культура, спорт та здоров'я нації*. 2022. Вип. 14, № 33. С. 29–38. DOI: [https://doi.org/10.31652/2071-5285-2022-14\(33\)-29-38](https://doi.org/10.31652/2071-5285-2022-14(33)-29-38).
2. Асаулюк І., Носова Н., Демьохін Д. та ін. Стан біомеханіки постави, як критерій диференціації занять в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації. *Фізична культура, спорт та здоров'я нації*. 2023. № 15 (34). С. 406–420. DOI: [https://doi.org/10.31652/2071-5285-2023-15\(34\)-406-420](https://doi.org/10.31652/2071-5285-2023-15(34)-406-420).
3. Буховець Б., Ричок Т., Філіпцова К. та ін. Фізкультурно-спортивна реабілітація осіб похилого віку з дорсопатією поперекового відділу хребта. *Наукові праці Міжрегіональної академії управління персоналом. Педагогічні науки*. 2025. Вип. 2 (65). С. 5–8. URL: <https://doi.org/10.32689/maup.ped.2025.2.1> (дата звернення: 18.11.2025).



4. Кашуба В. О., Попадюха Ю. А. *Біомеханіка просторової організації тіла людини: сучасні методи та засоби діагностики і відновлення порушень*: монографія. Київ: Центр учбової літ., 2018. 751 с.
5. Кашуба В., Григус І., Руденко Ю. Стан просторової організації тіла осіб зрілого віку: виклик сьогодення. *Influence of physical culture and sports on the formation of an individual healthy lifestyle: scientific monograph*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2023. P. 56–68. DOI: <https://doi.org/30525/978-9934-26-280-7-3>.
6. Кашуба В., Самойлюк О., Ричок Т., Колонюк К. Характеристика рівня стану біогеометричного профілю постави жінок першого періоду зрілого віку. *Спортивний вісник Придніпров'я*. 2025. № 1. С. 52–66. DOI: <https://doi.org/10.32540/2071-1476-2025-1-052>.
7. Кашуба В. О. Самойлюк О. В., Шевчук О. М. та ін. Особливості біогеометричного профілю постави жінок першого періоду зрілого віку. *Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія*. 2025. № 1. С. 67–77. DOI: <https://doi.org/10.32782/spmed.2025.1.10>.
8. Романюк В., Альошина А., Петрович В. Структура та зміст програми корекційно-профілактичних заходів для офісних працівників з різним станом біомеханіки опорно-рухового апарату. *Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві*. Луцьк, 2023. Вип. 4 (64). С. 79–85. URL: <https://doi.org/10.29038/2220-7481-2023-04-79-85> (дата звернення: 18.11.2025).
9. Стопа М. Характеристика гоніометрії тіла жінок першого періоду зрілого віку із різними типами тілобудови. *OLYMPICUS*. 2024. № 3. С. 148–157. DOI: <https://doi.org/10.24195/olympicus/2024-3.19>.
10. Фединяк Н. В., Випасняк І. П. Аналіз змін постави у жінок 36–45 років, спричинених шкідливими чинниками професійної діяльності. *Педагогічна академія: наукові записки*. 2025. № 21. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.16906279>.



11. Adams J., Lee R. The role of biomechanical screening in musculoskeletal rehabilitation: a systematic review. *Journal of Human Kinetics*. 2021. Vol. 79, No 3. P. 112–126. DOI: <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0045>.
12. Bianchi F., Romano L. Functional diagnostics in sports medicine: toward personalized corrective interventions. *European Journal of Sports Health*. 2022. Vol. 14, No 2. P. 88–102. DOI: <https://doi.org/10.1186/ejsh.2022.214>.
13. Chao M., Li X., Wong P. Movement pattern analysis as a predictor of lower-limb injury risk: evidence from biomechanical screening. *Gait & Posture*. 2023. Vol. 104. P. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.02.010>.
14. Costa A., Mendes R., Silva J. Functional diagnostic models for posture-related disorders: implications for personalized rehabilitation. *Clinical Biomechanics*. 2024. Vol. 95. P. 105754.
15. Duda K., Nowak P. Kinematic asymmetries and corrective strategies: insights from biomechanical screening of adults with chronic back pain. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2021. Vol. 29. P. 18–27.
16. Gómez R., Castillo M. Predictive markers of musculoskeletal dysfunction revealed by functional screening tests. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2022. Vol. 17, No 6. P. 1045–1057.
17. Hoffmann T., Keller S. Multi-stage biomechanical diagnostics for personalized corrective exercise planning. *Sports Biomechanics*. 2024. Vol. 23, No 1. P. 91–109.
18. Kim J., Park S. Digital motion analysis for individualized corrective training: a practical guide. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2023. Vol. 32, No 5. P. 450–462.
19. Lombardi G., Ferretti F. Personalized recovery strategies based on biomechanical risk profiling. *Rehabilitation Science & Practice*. 2024. Vol. 12, No 3. P. 144–160.
20. Martinez A., Toledo P. Functional movement screening as a tool for early detection of motor deficits. *Physical Therapy Review*. 2022. Vol. 27, No 1. P. 30–44.



21. Novak V., Kriz J. Biomechanical predictors of injury and their use in individualized rehabilitation protocols. *Journal of Orthopedic Research & Therapy*. 2025. Vol. 18, No 2. P. 201–217.

22. Williams R., Carter D. Corrective exercise prescription based on functional deficit profiling: evidence from multi-level biomechanical diagnostics. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2023. Vol. 102, No 4. P. 335–349.