ЕМПІРИКО-ВЕРИФІКАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА БОЛЬОВОГО СИНДРОМУ В УМОВАХ РІЗНОТИПНОЇ БІОГЕОМЕТРИЧНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОСТАВИ

[1,2] Демьохін Дмитро,[2]Асаулюк Інна, [2]Козловська Світлана
[1]Національний університет фізичного виховання і спорту України,
[2]Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського

Анотація. Актуальність теми дослідження. Актуалізація проблеми системної детермінації больового синдрому в контексті біогеометричної організації постави зумовлена необхідністю подолання редукціоністського підходу в сучасній постурології. Об'єктом наукової рефлексії виступає багатофакторна природа ноцицепції, що розглядається як інтегративний індикатор деструкції біомеханічного гомеостазу опорно-рухового апарату. **Метою дослідження** є теоретико-емпіричне обґрунтування та експериментально-статистична верифікація закономірностей структурно-функціональної детермінації взаємозв'язку між типологією біогеометричної організації постави та інтенсивністю больового синдрому у жінок як інтегративного індикатора морфофункціонального стану опорно-рухового апарату, що відображає рівень біомеханічної адаптації та ступінь постуральної дезінтеграції організму. **Методи дослідження***:* теоретичний аналіз і узагальнення літературних джерел; фотозйомка й аналіз постави, методи математичної статистики. ***Результати***. Системний аналіз отриманих результатів дозволив обґрунтувати закономірність функціональної залежності інтенсивності больового синдрому від типологічних варіантів біогеометричної організації постави ($p<0,05$). Верифіковано, що оптимальна архітектоніка тіла корелює з мінімальними проявами ноцицепції (VAS 21–22 мм), виступаючи маркером біомеханічного гомеостазу. Експліковано ступінь патогенного впливу різнотипних постуральних деформацій на формування больового феномену. Найбільш деструктивним детермінантом визначено тип постави «кругла спина» (70–80 мм), де

EMPIRICAL AND VERIFICATION CHARACTERISTICS OF PAIN SYNDROME IN CONDITIONS OF VARIOUS TYPES OF BIOGEOMETRIC POSTURAL ORGANIZATION

Demiohin Dmytro, Asauliuk Inna, Kozlovska Svetlana

Abstract. Relevance of the study. The increasing relevance of the systemic determination of pain syndrome in the context of biogeometric postural organization is driven by the need to overcome the reductionist approach in contemporary posturology. The object of scientific inquiry is the multifactorial nature of nociception, considered as an integrative indicator of the deterioration of the biomechanical homeostasis of the musculoskeletal system. **The aim** of the study is the theoretical and empirical substantiation, as well as experimental-statistical verification, of the regularities of structural-functional determination of the relationship between the typology of biogeometric postural organization and the intensity of pain syndrome in women as an integrative indicator of the morphofunctional state of the musculoskeletal system, reflecting the level of biomechanical adaptation and the degree of postural disintegration of the organism. **Methods.** Theoretical analysis and generalization of scientific literature; postural photography and analysis; methods of mathematical statistics. **Results.** System analysis of the obtained data substantiated a statistically significant relationship between the intensity of pain syndrome and the typological variants of biogeometric postural organization ($p < 0.05$). It was verified that optimal body architecture correlates with minimal manifestations of nociception (VAS 21–22 mm), serving as a marker of biomechanical homeostasis. The degree of pathological influence of various postural deformities on the

виражений м'язовий дисбаланс ініціює стійку біомеханічну дезадаптацію. При сколіотичному та гіпомобільно-сплощеному профілях встановлено диференційовані рівні ноцицептивної відповіді (59–64 мм та 40–46 мм відповідно), що відображає ступінь напруженості адаптаційно-компенсаторних механізмів. Встановлено ефект вікової кумуляції ноцицептивних проявів у жінок 30–40 років, що проявляється достовірним зростанням інтенсивності болю ($p < 0,05$). Це дозволяє розглядати больовий синдром не лише як суб'єктивний симптом, а як інтегральний маркер морфофункціональної неспроможності постуральної системи. Таким чином, результати підтверджують необхідність переходу до прецизійних, диференційованих технологій корекції, що базуються на системно-кількісній оцінці біогеометричного профілю постави. **Висновки**. Феноменологія постуральних порушень у сучасній науковій парадигмі вимагає рішучої відмови від ізольовано-функціонального аналізу, який нівелює складність ієрархічних зв'язків усередині біомеханічної системи. Натомість актуалізується перехід до побудови емпірично-верифікованої моделі, у межах якої інтенсивність больових проявів дефініюється як динамічна функція від топологічних характеристик біогеометричного профілю постави. Такий підхід дозволяє розглядати ноцицепцію не як автономний симптом, а як результативну ознаку морфофункціональної дезадаптації, що піддається кількісному моделюванню та статистичному прогнозуванню.

Ключові слова: *опорно-руховий апарат, біогеометричний профіль постави, больовий синдром; постуральні порушення, моторний стереотип ,морфофункціональний стан, жінки молодого віку ;корекційно-профілактичні заходи.*

development of pain phenomena was further explicated. The most destructive determinant was identified as the «round back» type of posture (70–80 mm), where pronounced muscular imbalance induces persistent biomechanical maladaptation. In scoliotic and hypomobile-flattened postural profiles, differentiated levels of nociceptive response were established (59–64 mm and 40–46 mm, respectively), reflecting the degree of activation of adaptive-compensatory mechanisms.An age-related accumulation effect of nociceptive manifestations was identified in women aged 30–40 years, expressed by a statistically significant increase in pain intensity ($p < 0.05$). This allows pain syndrome to be interpreted not merely as a subjective symptom but as an integral marker of morphofunctional insufficiency of the postural system.Thus, the results confirm the necessity of transitioning toward precision-based, differentiated correction technologies grounded in system-quantitative assessment of the biogeometric postural profile. **Conclusions.** The phenomenology of postural disorders in the contemporary scientific paradigm requires a decisive departure from isolated functional analysis, which underestimates the complexity of hierarchical interactions within the biomechanical system. Instead, a shift toward an empirically verified model is required, in which the intensity of pain manifestations is defined as a dynamic function of the topological characteristics of the biogeometric postural profile.Such an approach allows nociception to be regarded not as an autonomous symptom, but as an outcome indicator of morphofunctional maladaptation, amenable to quantitative modelling and statistical prediction.

Keywords: *musculoskeletal system, biogeometric postural profile, pain syndrome, postural disorders, motor stereotype, morphofunctional state, young women, corrective and preventive measures.*

Постановка наукової проблеми. Сучасний вектор розвитку біомеханіки людини та превентивної реабілітології детермінує необхідність концептуального переосмислення взаємозв'язку між просторовою архітектонікою тіла та рівнем

функціональної стабільності опорно-рухового апарату (ОРА) як єдиної біокінематичної системи [1, 2, 23]. У цьому контексті проблема системного вивчення просторової організації тіла (ПОТ) у кореляції з інтенсивністю больового синдрому набуває статусу фундаментального наукового запиту, спрямованого на верифікацію адаптаційно-компенсаторного потенціалу організму в умовах морфофункціональнихдевіаційпостурального гомеостазу [3, 4, 5, 15].

Незважаючи на значний обсяг сучасних наукових досліджень, присвячених постуральному контролю та біомеханіці вертикальної пози людини, у науковому дискурсі зберігається суттєва теоретико-методологічна лакуна щодо емпірично-верифікованої залежності ноцицептивних реакцій від варіативності біогеометричних профілів постави [6, 7, 8]. Сформована на сьогодні наукова колізія полягає у відсутності уніфікованої кількісно-обґрунтованої моделі, здатної інтегрувати м'язово-тонічні, біомеханічні, нейродинамічні та пропріоцептивні механізми регуляції у цілісну систему багатовимірної оцінки функціонального стану постурального апарату [11, 12, 13].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У низці сучасних досліджень підтверджується, що постуральні порушення супроводжуються багаторівневими змінами біомеханіки осьового скелета, зокрема порушеннями стабілізації, асиметріями навантаження та дисфункцією м'язово-фасціального корсету, що безпосередньо корелює з розвитком больових синдромів різної інтенсивності [14, 16]. При цьому підкреслюється поліетіологічний характер біомеханічних порушень постави, які асоціюються з хронізацією больової симптоматики та формуванням компенсаторно-декомпенсаторних змін у скелетно-м'язовій системі [5, 6].

Епідеміологічні та скринінгові дослідження засвідчують високу поширеність постуральних девіацій у популяції, зокрема у дітей та осіб молодого віку, де частота сколіотичних деформацій та функціональних порушень постави може досягати понад 70% випадків, що вказує на системний характер проблеми та її медико-соціальну значущість [17, 18, 19]. Водночас встановлено, що постуральні порушення не лише змінюють біомеханіку руху, але й впливають на топографію внутрішніх органів, функціональний стан дихальної та серцево-судинної систем, а також сприяють розвитку хронічних больових синдромів у дорослому віці [20, 21].

Переважання у сучасній науковій літературі [20, 21, 22] фрагментарно-описового підходу, за якого постуральнідевіації аналізуються переважно в межах клініко-феноменологічної парадигми, суттєво обмежує можливості побудови прогностичних моделей розвитку больового синдрому та знижує рівень доказовості інтерпретацій морфо-біомеханічних змін. Це, у свою чергу, актуалізує необхідність переходу до системно-кількісної дослідницької стратегії, заснованої на застосуванні стандартизованих шкал оцінювання болю, методів варіаційної статистики та багатофакторного математичного моделювання.

Зв'язок із науковими планами, темами. Роботу виконано згідно до «Організаційно-методичні основи застосування сучасних педагогічних технологій у фізичному вихованні та спорті» на 2023–2027 рр.», Плану НДР Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021–2025 рр. за темою 3.2 «Теоретико-методичні основи біомеханічних технологій у фізичному вихованні, спорті, реабілітації з урахуванням індивідуальних особливостей моторики людини» (номер держреєстрації 0121U107944).

Метою дослідженняє теоретико-емпіричне обґрунтування та експериментально-статистична верифікація закономірностей структурно-функціональної детермінації взаємозв'язку між типологією біогеометричної організації постави та інтенсивністю больового синдрому у жінок як інтегративного індикатора морфофункціонального стану ОРА, що відображає рівень біомеханічної адаптації та ступінь постуральної дезінтеграції організму.

Матеріали і методи дослідження. Теоретичний базис дослідження виступив інструментом епістемологічної концептуалізації та системно-структурної експлікації закономірностей генезису, функціонування та віково-детермінованої трансформації біогеометричного профілю постави жінок зрілого віку. В межах даної парадигми теоретичні методи забезпечили формування методологічного каркасу, що дозволив інтегрувати адаптаційно-компенсаторні механізми регуляції у цілісну модель диференційованої корекції постуральнихдевіацій. Використання комплексу загальнонаукових методів (абстрагування, системного моделювання та міждисциплінарного синтезу) уможливило конвергенцію знань із галузей біомеханіки, кінезіології та реабілітології в єдину дослідницьку парадигму.

Емпірична верифікація здійснювалася на базі реабілітаційного центру «HealthLife» шляхом багатоаспектної системної діагностики морфофункціонального стану респонденток (30–40 років). Пріоритетним інструментом об'єктивізації біогеометричних параметрів постала синергетична інтеграція цифрової фотограмметрії та AI-алгоритмізованої детермінації в програмному середовищі «APECS AI». Застосування інтелектуальної платформи забезпечило перехід від дескриптивно-якісного аналізу до квантитативної інтерпретації постуральних характеристик, що гарантує високу метричну валідность та репрезентативність отриманого масиву даних. З метою верифікації больового синдрому як інтегративного індикатора морфофункціональної дезадаптації постуральної системи, було здійснено прецизійне оцінювання інтенсивності ноцицептивних проявів у жінок зрілого віку. Вимірювання проводилося в контексті системної детермінації болю різнотипними варіантами біогеометричного профілю постави. Методологічним інструментом квантифікації больового феномену обрано візуально-аналогову шкалу (VAS) з діапазоном 0–100 мм. Обробка результатів дослідження здійснювалася з використанням сучасних методів варіаційної статистики, що забезпечило високий

рівень достовірності та репрезентативності отриманих висновків. Статистичний аналіз проводився за допомогою програмного забезпечення IBM SPSS Statistics.

Дослідження реалізовано з неухильним дотриманням етичних стандартів біомедичної етики (Гельсінська декларація), включаючи принципи конфіденційності та інформованої згоди.

Результати дослідження. З метою визначення структурно-функціональних характеристик біогеометричного профілю постави жінок молодого віку здійснено комплексний морфо-біомеханічний аналіз із застосуванням категоріального підходу до типологізаціїпостуральних станів. Досліджувану вибірку склали 60 осіб, стратифікованих за віковим критерієм на дві підгрупи: 30–35 років (n = 30) та 36–40 років (n = 30), що забезпечувало можливість виявлення віково-асоційованих трансформацій постуральної архітектоніки в межах раннього та пізнього періоду молодого віку (рис. 1).

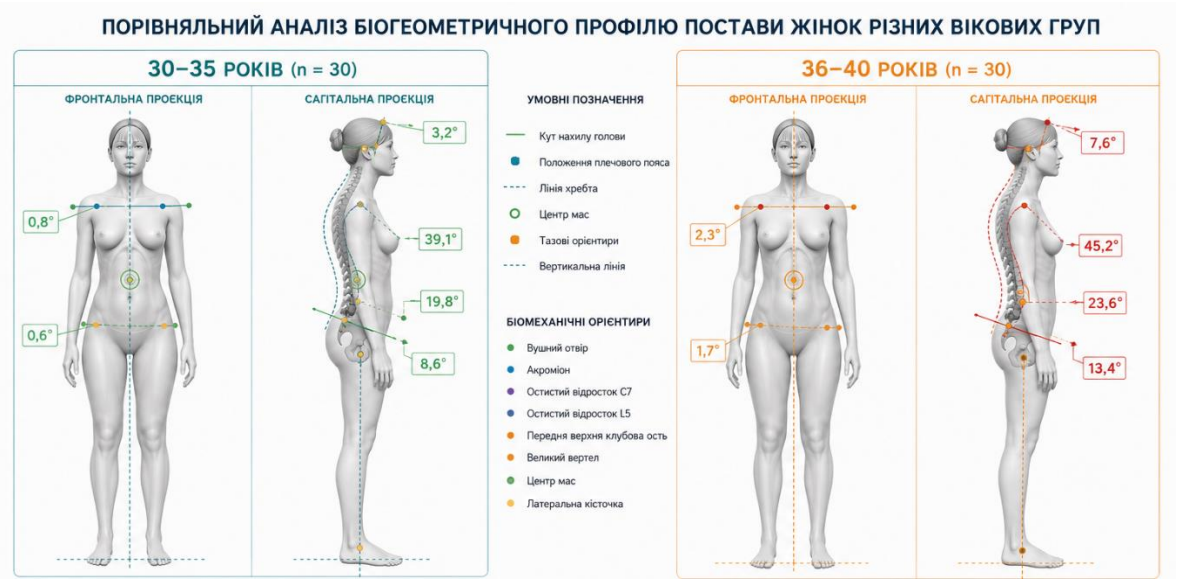

Рис. 1. Характеристика типу постави жінок молодого віку (n = 60)

Аналіз структурних типологічних варіантів біогеометричної організації постави виявив виражену детермінацію постурально-дисфункціональних станів у представниць обох вікових категорій. Встановлено критично низьку представленість осіб із нормативно інтегрованим постуральним профілем, що свідчить про системну деградацію постуральної стабільності в досліджуваній когорті.

Кількісна верифікація показників продемонструвала наступне: у віковому діапазоні 30–35 років нормативну поставу ідентифіковано лише у 23,3% респонденток (n = 7).

У підгрупі 36–40 років зафіксовано подальшу редукцію цього показника до 16,7% (n = 5), що підтверджує негативну вікову динаміку біогеометричних параметрів. Зазначена тенденція може бути інтерпретована як результат кумулятивної дії тривалих статико-динамічних навантажень та професійної гіподинамії, що в синергії з віково-асоційованими змінами нейром'язового контролю

веде до виснаження механізмів постуральної стабілізації. Таким чином, отримані емпіричні дані підтверджують гіпотезу про прогресуючу деформацію біогеометричногопатерну постави, що вимагає впровадження диференційованих корекційних заходів.

У межах реалізації експериментально-діагностичного етапу дослідження здійснено системну квантифікацію інтенсивності больового синдрому у вибірці жінок молодого віку з різними морфофункціональними варіантами біогеометричного профілю постави, із використанням візуально-аналогової шкали (VAS, 0–100 мм) як інструменту уніфікованої метризації суб'єктивно-детермінованих ноцицептивних реакцій.

Статистико-математична інтерпретація отриманого емпіричного масиву даних засвідчила наявність статистично достовірних міжгрупових відмінностей, детермінованих типологічною структурою постуральної організації ($p < 0,05$), що дозволяє констатувати не випадковий, а системно-детермінований характер взаємозв'язку між морфобіомеханічною архітектонікою тіла та інтенсивністю больової відповіді.

У межах першої вікової когорти (30–35 років) у осіб із нормотиповоюбіогеометричною організацією тіла встановлено низькоінтенсивний рівень больового синдрому (VAS = 21,3 ± 2,4 мм), що може бути інтерпретовано як прояв стану відносної біомеханічної рівноваги, функціональної гомеостатичностіпостуральної системи та адекватної адаптаційної відповіді м'язово-скелетного комплексу на осьове навантаження.

Натомість у групах із різнотипними постуральнимидевіаціями виявлено статистично значуще ($p < 0,05$) підвищення інтенсивності ноцицептивних проявів, що відображає ступінь дезінтеграції біомеханічної рівноваги:при гіперкіфотичному типі («кругла спина») – 70,3 ± 3,2 мм,при сколіотичнійпоставі– 59,0 ± 2,6 мм,при гіпомобільно-сплощеному типі («плоска спина») – 40,3 ± 1,7 мм.

Максимальна вираженість больового синдрому у випадку гіперкіфотичної конфігурації свідчить про домінування патологічного патернупостуральної компенсації, який характеризується стійкою дисбалансованістю тонічного гомеостазу, хронічною ексцентричною гіперактивацієюпаравертебрального м'язового пулу та формуванням ішемічно-гіпоксичнихмікроосередків у тканинних структурах спини.

У другій віковій групі (36–40 років) зафіксовано аналогічну, проте більш інтенсивну виражену траєкторію ноцицептивної ескалації, що свідчить про віково-асоційовану кумуляцію морфофункціональних порушень постуральної системи.

Емпірично встановлені значення VAS становили:нормотипова постава – 22,0 ± 1,6 мм, кругла спина – 79,6 ± 2,8 мм, сколіотична постава – 63,9 ± 2,4 мм, плоска спина – 45,8 ± 1,9 мм.

Отримані дані демонструють прогресивно-кумулятивний характер біомеханічної дезадаптації, що реалізується через зниження компенсаторного резерву постуральної системи, редукцію пропріоцептивного контролю та поглиблення дисфункції сегментарно-рефлекторної регуляції м'язового тонусу.

Компаративний аналіз між віковими групами виявив статистично достовірну тенденцію до зростання інтенсивності больового синдрому у групі 36–40 років, особливо в умовах сколіотичної та гіперкіфотичної деформації ($p < 0,05$), що дозволяє трактувати виявлені зміни як прояв віково-асоційованої декомпенсації постуральної системи з ознаками прогресивної хронізації біомеханічних порушень.

Отримані результати емпіричної верифікації дозволяють концептуалізувати виявлені закономірності в межах парадигми морфобіомеханічного детермінізму, згідно з якою порушення біогеометричного профілю постави виступають первинним структурно-функціональним тригером дезінтеграції системи «осьовий скелет – м'язово-фасціальний корсет –пропріоцептивний контроль».

Гіперкіфотична трансформація грудного відділу хребта («кругла спина») супроводжується зміщенням біомеханічної осі навантаження у вентральному напрямку, що призводить до системного перевантаження заднього м'язово-зв'язкового комплексу та формування стійкого ексцентричного режиму роботи антигравітаційної мускулатури. Даний біомеханічний стан детермінує розвиток:хронічної м'язової гіпертонії;локальної мікроциркуляторної недостатності;ішемічно-метаболічного дисбалансу паравертебральних тканин;сенсомоторної дезорганізації постурального контролю. У сукупності це формує високий рівень ноцицептивної аферентації, що емпірично відображається піковими значеннями VAS.

Сплощена постуральна модель як форма редукції амортизаційно-ресорного потенціалу хребта. Умови «плоскої спини» характеризуються зниженням фізіологічної вираженості сагітальних вигинів хребта, що призводить до функціональної нівеляції його ресорної та демпферної здатності. Унаслідок цього кожен осьовий механічний імпульс трансформується у пряме компресійне навантаження на:міжхребцеві диски,зв'язковий апарат.

Клініко-функціонально це проявляється формуванням стійкого, проте менш інтенсивного больового синдрому, що має характер хронічного механічного дискомфорту з елементами функціональної перевтоми.

Дискусія. Отримані в дослідженні результати підтверджують концептуальне положення [20, 21, 22, 23] про системну взаємозалежність між типологією біогеометричної організації постави та інтенсивністю больового синдрому, що узгоджується з сучасними уявленнями про постуральну систему як багаторівневий функціональний континуум, інтегрований у єдину біокінематичну модель організму.

Порівняльний аналіз із даними сучасних наукових досліджень [4, 5, 18] дозволяє констатувати, що отримані результати узгоджуються з положеннями про ключову

роль м'язово-фасціального дисбалансу та порушення пропріоцептивної регуляції у формуванні больових синдромів при постуральнихдевіаціях. Зокрема, домінування високих значень больового синдрому при гіперкіфотичному типі постави може бути пояснене феноменом хронічного перевантаження заднього м'язового ланцюга, що призводить до розвитку ішемічно-метаболічних змін та сенсомоторної дезорганізації.

Водночас отримані дані щодо відносно меншої інтенсивності больового синдрому при «плоскій спині» дозволяють розглядати цей тип постуральної організації як варіант функціональної декомпенсації з переважанням компресійних навантажень над тракційними, що формує інший патернноцицептивної відповіді– більш дифузний, але менш інтенсивний за суб'єктивною оцінкою.Особливої уваги потребує виявлена вікова динаміка зростання інтенсивності больового синдрому, що може бути інтерпретована як прояв кумулятивного ефекту мікротравматизації та поступового виснаження адаптаційно-компенсаторних механізмів постуральної системи. Це узгоджується з концепцією прогресуючої редукції нейром'язового контролю у процесі вікової трансформації моторного стереотипу [17].

Висновки. Трансформація поглядів на етіологію постуральнихдевіацій зумовлює необхідність екстраполяції принципів системного підходу на аналіз сомато-сенсорних реакцій. У цьому контексті феноменологія постуральних порушень вимагає подолання гносеологічної обмеженості ізольовано-функціональних оцінок. Пріоритетним стає конструювання інтегральної емпірично-верифікованої матриці, де інтенсивність больового синдрому виступає корелятом специфічної архітектоніки біогеометричного профілю. Подібна детермінація дозволяє верифікувати больовий феномен як біомеханічний дериват просторових дисфункцій осьового скелета, забезпечуючи перехід від якісного опису до прецизійного кількісного аналізу причинно-наслідкових комплексів. У результаті дослідження встановлено, що інтенсивність больового синдрому у жінок молодого віку достовірно залежить від типу біогеометричного профілю постави ($p<0,05$). Виявлено, що у жінок із нормальною поставою рівень болю за шкалою VAS відповідає низьким значенням (21–22 мм), що свідчить про відсутність або мінімальні прояви больового синдрому. У жінок із порушеннями постави зафіксовано статистично значуще підвищення показників VAS ($p < 0,05$), при цьому: найвищі значення характерні для типу «кругла спина» (70–80 мм); середні – для сколіотичної постави (59–64 мм); відносно нижчі, але достовірно підвищені – для плоскої спини (40–46 мм). Встановлено, що найбільш несприятливим типом порушення постави щодо формування больового синдрому є «кругла спина», що обумовлено вираженими біомеханічними змінами та м'язовим дисбалансом. Встановлено вікову тенденцію до підвищення інтенсивності больового синдрому у жінок вікової групи 36–40 років порівняно з обстежуваними 30–35 років. При цьому для більшості типів порушень постави виявлені відмінності характеризувалися статистичною значущістю ($p<0,05$). Отримані результати підтверджують наявність тісного взаємозв'язку між порушеннями біогеометричного

профілю постави та функціональним станом опорно-рухового апарату, зокрема рівнем больового синдрому. Отримані результати формують теоретико-методологічне підґрунтя для подальшої розробки диференційованих корекційно-профілактичних технологій, спрямованих на оптимізацію біомеханічного статусу постуральної системи та редукцію ноцицептивного навантаження.

Перспективи подальших досліджень вбачаємо у поглибленому вивченні взаємозв'язку між проявами больового синдрому та різнотипною біогеометричною організацією постави, а також у розробці диференційованих підходів до фізичної терапії з урахуванням емпірико-верифікаційних характеристик.

Список літературних джерел

1. Асаулюк І., Носова Н., Демьохін Д., Покропивний О., Маринчук П. (2023). Стан біомеханіки постави, як критерій диференціації занять в процесі фізкультурно-спортивної реабілітації. *Фізична культура, спорт та здоров'я нації*, (15), 406–420. https://doi.org/10.31652/2071-5285-2023-15(34)-406-420
2. Демьохін Д., Асаулюк І. (2024). Стан біомеханіки постави та особливості соматометричних показників жінок другого періоду зрілого віку. *Спортивний вісник Придніпров'я*, (1), 34–42. https://doi.org/10.32540/2071-1476-2024-1-034
3. Кашуба В., Попадюха Ю. (2018). *Біомеханіка просторової організації тіла людини: сучасні методи та засоби діагностики і відновлення порушень: монографія*. Центр учбової літератури.
4. Кашуба В., Гончарова Н., Носова Н. (2020). Біомеханіка просторової організації тіла людини: теоретичні та практичні аспекти. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*, (2), 67–85.
5. Кашуба В. О., Григус І. М., Руденко Ю. В. (2023). Стан просторової організації тіла осіб зрілого віку: виклик сьогодення. *Influence of physical culture and sport sonthe formation of anindividual healthy life style: Scientific monograph* (pp. 56–68). Baltija Publishing. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-280-7-3
6. Кашуба В. О., Самойлюк О. В., Шевчук О. М., Ярмолинський Л. М., Покропивний О. М. (2025). Особливості біогеометричного профілю постави жінок першого періоду зрілого віку. *Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія*,

References

1. Asauliuk, I., Nosova, N., Demokhin, D., Pokropyvnyi, O., & Marynchuk, P. (2023). *Stan biomekhaniky postavy, yak kryterii dyferentsiatsii zaniat v protsesi fizkulturno-sportyvnoi reabilitatsii* [The state of posture biomechanics as a criterion for differentiating classes in the process of physical culture and sports rehabilitation]. *Fizychna kultura, sport ta zdorovia natsii* [Physical Culture, Sport and Health of the Nation], (15), 406–420. https://doi.org/10.31652/2071-5285-2023-15(34)-406-420
2. Demokhin, D., & Asauliuk, I. (2024). *Stan biomekhaniky postavy ta osoblyvosti somatometrychnykh pokaznykiv zhinok druhoho periodu zriloho viku* [The state of posture biomechanics and features of somatometric indicators of women of the second period of mature age]. *Sportyvnyi visnyk Prydniprovia* [Sport Scientific Bulletin of the Dnieper Region], (1), 34–42. https://doi.org/10.32540/2071-1476-2024-1-034
3. Kashuba, V., & Popadiukha, Yu. (2018). *Biomekhanika prostorovoi orhanizatsii tila liudyny: suchasni metody ta zasoby diahnostyky i vidnovlennia porushen: monohrafiia* [Biomechanics of the spatial organization of the human body: Modern methods and tools for diagnostics and restoration of disorders: Monograph]. Tsentr uchbovoi literatury.
4. Kashuba, V., Goncharova, N., & Nosova, N. (2020). *Biomekhanika prostorovoi orhanizatsii tila liudyny: teoretychni ta praktychni aspekty* [Biomechanics of spatial organization of the human body: Theoretical and practical aspects]. *Teoriia i metodyka fizychnoho*

(1), 67–77. https://doi.org/10.32782/spmed.2025.1.10

7. Armstrong, K., Li, M., & Delp, S. (2025). *Validation of markerless pose estimation for clinical gait analysis: A multi-center study*. *Journal of Biomechanics, 164*, 111928. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2024.111928

8. Arshad, R., et al. (2024). *Reliability of subjective movement quality assessments vs. instrumental biomechanical analysis*. *Physical Therapy in Sport, 62*, 45–53. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2024.01.005

9. Bae, J., & Lee, H. (2025). *A taxonomic approach to biomechanical metrics in corrective kinesiology*. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 22*(1), 412. https://doi.org/10.3390/ijerph22010412

10. Bafrouei, S., et al. (2025). *Motor retraining vs. strength conditioning for musculoskeletal injury prevention: A systematic review*. *British Journal of Sports Medicine, 59*(2), 110–121. https://doi.org/10.1136/bjsports-2024-108210

11. Barzegari, A., & Majelan, A. S. (2023). *Neural plastic effects of motor learning in postural control rehabilitation*. *Journal of Motor Behavior, 55*(4), 412–425. https://doi.org/10.1080/00222895.2023.2189012

12. Cotton, R. J., et al. (2023). *Real-world gait analysis using markerless motion capture and computer vision*. *Nature Communications, 14*, 4567. https://doi.org/10.1038/s41467-023-39876-w

13. Cotton, R. J., & Sinz, F. (2025). *Uncertainty quantification in biomechanical pose estimation via confidence intervals*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 13*, 1104567. https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1104567

14. De Souza, R., et al. (2024). *Evidence-based kinesiology: Integrating biomechanical metrics into clinical decision-making*. *Sports Biomechanics, 23*(1), 89–106. https://doi.org/10.1080/14763141.2024.2210456

15. Jankowicz-Szymańska, A., et al.

vykhovannia i sportu [Theory and Methods of Physical Education and Sport], (2), 67–85.

5. Kashuba, V. O., Hryhus, I. M., & Rudenko, Yu. V. (2023). *Stan prostorovoi orhanizatsii tila osib zriloho viku: vyklyk sohodennia* [The state of spatial organization of the body of mature people: A challenge of today]. In *Influence of physical culture and sports on the formation of an individual healthy lifestyle: Scientific monograph* (pp. 56–68). Baltija Publishing. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-280-7-3

6. Kashuba, V. O., Samoiluk, O. V., Shevchuk, O. M., Yarmolinskyi, L. M., & Pokropyvnyi, O. M. (2025). *Osoblyvosti bioheometrychnoho profiliu postavy zhinok pershoho periodu zriloho viku* [Features of the biogeometric posture profile of women of the first period of mature age]. *Sportyvna medytsyna, fizychna terapiia ta erhoterapiia* [Sports Medicine, Physical Therapy and Ergotherapy], (1), 67–77. https://doi.org/10.32782/spmed.2025.1.10

7. Armstrong, K., Li, M., & Delp, S. (2025). *Validation of markerless pose estimation for clinical gait analysis: A multi-center study*. *Journal of Biomechanics, 164*, 111928. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2024.111928

8. Arshad, R., et al. (2024). *Reliability of subjective movement quality assessments vs. instrumental biomechanical analysis*. *Physical Therapy in Sport, 62*, 45–53. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2024.01.005

9. Bae, J., & Lee, H. (2025). *A taxonomic approach to biomechanical metrics in corrective kinesiology*. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 22*(1), 412. https://doi.org/10.3390/ijerph22010412

10. Bafrouei, S., et al. (2025). *Motor retraining vs. strength conditioning for musculoskeletal injury prevention: A systematic review*. *British Journal of Sports Medicine, 59*(2), 110–121. https://doi.org/10.1136/bjsports-2024-108210

11. Barzegari, A., & Majelan, A. S. (2023). *Neural plastic effects of motor learning in postural control rehabilitation*. *Journal of Motor Behavior, 55*(4), 412–

(2024). *Instrumental vs. clinical assessment of postural stability in orthopedic patients*. *Gait & Posture*, *108*, 122–130. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2024.02.008

16. Law, T., et al. (2023). *Effects of quantitative feedback on gait symmetry in post-surgical rehabilitation*. *Clinical Rehabilitation*, *37*(12), 1580–1594. https://doi.org/10.1177/02692155231189456

17. Lee, S., & Kim, J. (2025). *The role of cognitive engagement in motor retraining programs*. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *22*, 14. https://doi.org/10.1186/s12984-025-01123-y

18. O'Sullivan, K., et al. (2024). *Digital transformation of corrective exercise: An algorithmic approach*. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*, *22*, e2024012. https://doi.org/10.17784/mtprehabjournal.2024.22.1245

19. Pacheco, M. M., et al. (2025). *Sensory integration and motor learning in functional movement modeling*. *Human Movement Science*, *93*, 103189. https://doi.org/10.1016/j.humov.2024.103189

20. Rivaroli, S., et al. (2024). *Artificial intelligence-driven video analysis of compensatory gait patterns*. *European Spine Journal*, *33*, 2012–2025. https://doi.org/10.1007/s00586-024-08145-w

21. Smith, L., Brown, T., & Keller, M. (2025). *Gait coordination as a predictor of neurocognitive decline*. *Aging Clinical and Experimental Research*, *37*, 512. https://doi.org/10.1007/s40520-025-02688-w

22. Spilz, A., Kaps, P., & Eskofier, B. (2025). *Deep learning for movement quality assessment using IMU and pose data*. *Sensors*, *25*(3), 892. https://doi.org/10.3390/s25030892

23. Wan, X., et al. (2023). *Contextual interpretation of biomechanical data in individualized kinesiology*. *Journal of Rehabilitation Medicine*, *55*, jrm00345. https://doi.org/10.2340/jrm.v55.12345

425. https://doi.org/10.1080/00222895.2023.2189012

12. Cotton, R. J., et al. (2023). *Real-world gait analysis using markerless motion capture and computer vision*. *Nature Communications*, *14*, 4567. https://doi.org/10.1038/s41467-023-39876-w

13. Cotton, R. J., & Sinz, F. (2025). *Uncertainty quantification in biomechanical pose estimation via confidence intervals*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *13*, 1104567. https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1104567

14. De Souza, R., et al. (2024). *Evidence-based kinesiology: Integrating biomechanical metrics into clinical decision-making*. *Sports Biomechanics*, *23*(1), 89–106. https://doi.org/10.1080/14763141.2024.2210456

15. Jankowicz-Szymańska, A., et al. (2024). *Instrumental vs. clinical assessment of postural stability in orthopedic patients*. *Gait & Posture*, *108*, 122–130. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2024.02.008

16. Law, T., et al. (2023). *Effects of quantitative feedback on gait symmetry in post-surgical rehabilitation*. *Clinical Rehabilitation*, *37*(12), 1580–1594. https://doi.org/10.1177/02692155231189456

17. Lee, S., & Kim, J. (2025). *The role of cognitive engagement in motor retraining programs*. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *22*, 14. https://doi.org/10.1186/s12984-025-01123-y

18. O'Sullivan, K., et al. (2024). *Digital transformation of corrective exercise: An algorithmic approach*. *Manual Therapy, Posturology & Rehabilitation Journal*, *22*, e2024012. https://doi.org/10.17784/mtprehabjournal.2024.22.1245

19. Pacheco, M. M., et al. (2025). *Sensory integration and motor learning in functional movement modeling*. *Human Movement Science*, *93*, 103189. https://doi.org/10.1016/j.humov.2024.103189

20. Rivaroli, S., et al. (2024). *Artificial*

intelligence-driven video analysis of compensatory gait patterns. *European Spine Journal*, *33*, 2012–2025. https://doi.org/10.1007/s00586-024-08145-w

21. Smith, L., Brown, T., & Keller, M. (2025). *Gait coordination as a predictor of neurocognitive decline*. *Aging Clinical and Experimental Research*, *37*, 512. https://doi.org/10.1007/s40520-025-02688-w

22. Spilz, A., Kaps, P., & Eskofier, B. (2025). *Deep learning for movement quality assessment using IMU and pose data*. *Sensors*, *25*(3), 892. https://doi.org/10.3390/s25030892

23. Wan, X., et al. (2023). *Contextual interpretation of biomechanical data in individualized kinesiology*. *Journal of Rehabilitation Medicine*, *55*, jrm00345. https://doi.org/10.2340/jrm.v55.12345

Отримано /Received 13.04.2026
Прийнято до друку/ Accepted 02.05.2026
Опубліковано / Published 29. 05.2026

DOI: 10.31652/2071-5285-2026-21(40)-29-40

Відомості про авторів:

Демьохін Д. Ю.; orcid.org/0009-0001-1346-7465; Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського

Асаулюк І.О.; orcid.org/0000-0001-8119-2726; Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського

Козловська С.; orcid.org/0000-0001-8696-9354; Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу Creative Commons Attribution License