

ТИЩЕНКО Валерія

Запорізький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9540-9612>e-mail: valeria-znu@znu.edu.ua**СОКОЛОВА Ольга**

Запорізький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-1062-0935>sokolova-znu@gmail.com**П'ЯТНИЧУК Дмитро**

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

<https://orcid.org/0000-0003-4668-9491>dmytro.piatnychuk@pnu.edu.ua**П'ЯТНИЧУК Галина**

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

<https://orcid.org/0000-0001-8559-5688>halyna.piatnychuk@pnu.edu.ua**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В БІОМЕХАНІЧНОМУ КОНТРОЛІ У ФІЗИЧНОМУ ВИХОВАННІ І СПОРТІ**

У статті розглянуто сучасні підходи до біомеханічного контролю у фізичному вихованні та спорті, що базуються на використанні новітніх технологій, включаючи відеоаналіз, електроміографію, інерційні сенсори та штучний інтелект. Удосконалення методологічних засад біомеханічного контролю не лише підвищує ефективність тренувального процесу шляхом детального аналізу кінематичних та динамічних параметрів рухової діяльності, але й сприяє зниженню травматизації спортсменів через ідентифікацію критичних навантажень, оптимізацію технічних компонентів руху та персоналізовану корекцію індивідуальних біомеханічних характеристик. Визначено актуальність впровадження цих технологій для підвищення ефективності тренувального процесу, оптимізації технічної підготовки спортсменів та зниження ризиків травматизму. Здійснено науковий аналіз застосування систем відеоаналізу (Dartfish, Kinovea, Vicon Motion Systems), силових платформ (Kistler, AMTI, Bertec) та електроміографічних комплексів (Delsys, Noraxon, BTS Bioengineering), які дозволяють отримати точні дані щодо механіки рухів, розподілу навантаження та рівня м'язової активності під час виконання фізичних вправ. Особливу увагу приділено перспективам використання інерційних сенсорів (Xsens, Moticon, STT Systems) для безконтактного аналізу рухової активності в умовах польових досліджень. Розглянуто роль штучного інтелекту у спортивній біомеханіці, зокрема можливості використання OpenPose, AI Motion Analysis та Google DeepMind для автоматизованого аналізу техніки виконання рухів. Показано, що такі інструменти сприяють персоналізації тренувальних програм, корекції технічних помилок у реальному часі та підвищенню ефективності фізичної підготовки. Дослідження спрямоване на виявлення найбільш ефективних методів застосування відеоаналізу, електроміографії, інерційних сенсорів та штучного інтелекту у спортивній біомеханіці. Застосування новітніх технологій у біомеханічному контролі значно покращує якість тренувального процесу, підвищує спортивні результати та сприяє зменшенню травматизму. Подальша еволюція та комплексна інтеграція цих методів створює передумови для поглибленого наукового аналізу біомеханічних аспектів рухової діяльності, сприяє розробці високотехнологічних алгоритмів контролю та прогнозування результативності спортсменів, а також забезпечує науково обґрунтовану оптимізацію тренувальних програм з урахуванням індивідуальних морфофункціональних та адаптаційних характеристик. Отримані результати сприятимуть удосконаленню науково-методичних підходів до використання біомеханічного контролю у спортивній діяльності та фізичному вихованні. Перспективи подальших досліджень пов'язані з інтеграцією мультисенсорних платформ, розвитком адаптивних реабілітаційних технологій та створенням автоматизованих систем моніторингу рухових характеристик.

Ключові слова: біомеханічний контроль, інерційні сенсори, штучний інтелект, оптимізація тренувального процесу, профілактика травм, рухова активність, кінематичний аналіз.

[https://doi.org/10.31891/pcs.2025.1\(1\).95](https://doi.org/10.31891/pcs.2025.1(1).95)

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

У сучасному спорті та фізичному вихованні важливо здійснювати точний

контроль за руховою активністю спортсменів з метою покращення техніки виконання вправ, підвищення ефективності тренувального процесу та зниження ризику травматизму. Традиційні методи контролю не

завжди дозволяють отримати повну картину біомеханічних характеристик рухів, що створює потребу у використанні новітніх технологій. Біомеханічний аналіз із застосуванням сучасних цифрових систем, штучного інтелекту та сенсорних технологій відкриває нові можливості для оптимізації спортивної підготовки [9].

Розвиток сучасного спорту і фізичного виховання неможливий без впровадження високотехнологічних методів аналізу та контролю рухової діяльності. У світі, де технологічний прогрес стрімко змінює підходи до підготовки спортсменів, з'являється нагальна потреба в застосуванні науково обґрунтованих підходів до моніторингу біомеханічних характеристик рухів [4]. Біомеханічний контроль виступає ключовим інструментом у дослідженні механізмів рухової активності, дозволяючи здійснювати високоточний аналіз кінематичних і кінетичних параметрів спортсменів.

Інтеграція новітніх технологій, таких як відеоаналіз, електроміографія, інерційні сенсори та штучний інтелект, значно розширює можливості спортивної науки, забезпечуючи комплексний підхід до оптимізації тренувального процесу. Використання цих інструментів сприяє персоналізації навантажень, що критично важливо у запобіганні перенавантаженню, оптимізації технічних аспектів рухів та профілактиці спортивних травм.

У контексті фізичного виховання біомеханічний аналіз відкриває нові горизонти для корекції рухових порушень, адаптації навчальних програм та вдосконалення підходів до розвитку координації, сили та витривалості [1, 8]. Запровадження сучасних технологій у навчальний процес дозволяє створювати більш ефективні методики викладання, підвищувати рівень фізичної підготовленості учнів і студентів та розробляти науково обґрунтовані рекомендації щодо поліпшення рухових навичок.

В умовах безперервного технологічного розвитку актуальним є подальше вдосконалення біомеханічних методів, їхня інтеграція у мультидисциплінарні дослідження та застосування автоматизованих алгоритмів аналізу рухової активності. Висока точність вимірювань,

швидкість обробки даних і можливість адаптивного моніторингу відкривають перспективи для створення інноваційних рішень, які сприятимуть покращенню результатів спортсменів, зниженню рівня травматизму та підвищенню ефективності фізичного виховання на всіх рівнях [13, 18].

Сучасний розвиток спорту та фізичного виховання вимагає постійного вдосконалення методів контролю та оцінки фізичних характеристик спортсменів. У зв'язку з цим, інтеграція новітніх біомеханічних технологій у процес аналізу рухових патернів та спортивної діяльності є одним із ключових напрямів наукових досліджень. Вдосконалення методології біомеханічного контролю сприяє не лише підвищенню ефективності тренувального процесу, але й мінімізації ризиків травматизму та корекції індивідуальних особливостей спортсменів.

Впровадження технологій відеоаналізу, електроміографії, інерційних датчиків та штучного інтелекту у спортивну практику дозволяє проводити комплексну оцінку рухових характеристик та адаптувати тренувальні програми з урахуванням індивідуальних можливостей спортсмена. Такий підхід не тільки сприяє покращенню технічної майстерності, але й оптимізує навантаження відповідно до рівня підготовленості та функціональних можливостей спортсменів [17].

Біомеханічний контроль також набуває важливого значення у фізичному вихованні, де його використання дозволяє вдосконалити навчальний процес, підвищити мотивацію до занять спортом та запобігти можливим порушенням опорно-рухового апарату в молодому віці. Систематичний моніторинг рухової активності сприяє формуванню здорових звичок і покращенню фізичного розвитку учнів і студентів.

Враховуючи стрімкий розвиток технологій, подальші дослідження у сфері біомеханічного аналізу повинні бути спрямовані на розширення спектру методологічних підходів, впровадження автоматизованих систем обробки даних та інтеграцію мультисенсорних платформ для підвищення точності та інформативності оцінки рухових характеристик.

2. ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Мета дослідження – аналіз та оцінка ефективності новітніх біомеханічних технологій у фізичному вихованні та спорті, визначення їх впливу на оптимізацію тренувального процесу, зниження ризику травматизму та підвищення загальної фізичної підготовленості спортсменів і осіб, що займаються фізичною активністю.

3. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОВНИМ ОБҐРУНТУВАННЯМ ОТРИМАНИХ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Біомеханічний контроль є ключовим елементом сучасного спортивного тренування та фізичного виховання. Завдяки новітнім технологіям стало можливим більш точне оцінювання рухової активності, визначення ефективності техніки виконання вправ та зниження ризику травм.

Одним з найефективніших методів біомеханічного контролю є використання відеоаналізу та 3D-моделювання. Камери високої швидкості та програмне забезпечення дозволяють детально розбирати кожен рух спортсмена, виявляти помилки та вдосконалювати техніку виконання.

Системи відеоаналізу, такі як Dartfish, Kinovea та Vicon Motion Systems, широко застосовуються в спортивній науці та тренувальному процесі для аналізу техніки рухів. Їх використання базується на сучасних методах цифрової обробки зображень та кінематичного аналізу, що дозволяє отримувати точні дані про рухи спортсменів.

Dartfish – спеціалізоване програмне забезпечення, яке використовується для глибокого аналізу техніки рухів за допомогою відеозаписів, і дозволяє тренерам і спортсменам оцінювати траєкторію рухів, визначати ефективність виконання технічних елементів та порівнювати результати у динаміці. Dartfish активно використовується у професійному спорті завдяки функціям уповільненого відтворення, накладання відео та побудови аналітичних звітів. Dartfish необхідно у плаванні для детального аналізу техніки гребка або для навчання школярів правильній біомеханіці бігу через візуальні порівняння.

Kinovea – безкоштовний інструмент для відеоаналізу, що використовується у спортивній науці та навчальному процесі, особливістю якого є можливість вимірювання

кутів у суглобах, аналізу швидкості рухів та автоматичного порівняння різних фаз виконання вправ. Kinovea підходить для тренувань, реабілітації та навчальних цілей, забезпечуючи зворотний зв'язок між спортсменами та тренерами. Kinovea використовується у тенісі для аналізу траєкторії удару та положення ракетки або допомагає викладачам фізкультури аналізувати виконання базових вправ учнями, надаючи точний візуальний зворотний зв'язок [12].

Vicon Motion Systems – високоточна система тривимірного (3D) аналізу рухів, яка використовується у спортивній біомеханіці та медичних дослідженнях, яка працює на основі інфрачервоних камер і маркерів, що дозволяє створювати детальні кінематичні моделі рухів спортсменів. Технологія забезпечує високий рівень точності та дозволяє оцінювати параметри рухової діяльності в реальному часі, та застосовується у біомеханічному аналізі бігунів для виявлення дисбалансів у техніці або у дослідницьких цілях для оцінки впливу вправ на постуральну стабільність учнів.

Використання цих технологій необхідні для високої точності аналізу рухів спортсменів, можливості деталізованого розбору техніки виконання, оптимізації тренувального процесу завдяки точним даним, зменшенню ризику травм через виявлення технічних помилок, використанню у реабілітаційних програмах для контролю відновлення після травм [16].

Сучасні силові платформи дозволяють визначати розподіл навантаження на кінцівки, оцінювати рівновагу та аналізувати біомеханічні показники стрибків, приземлення та інших рухів. Силові платформи є важливими інструментами у біомеханічному аналізі, оскільки дозволяють кількісно оцінити силу взаємодії спортсмена з поверхнею та параметри рівноваги.

Kistler – використовується для вимірювання динамічних характеристик рухів, аналізу силових показників та реактивних навантажень. Система має високу точність та необхідна для досліджень стрибкових характеристик, бігу, рівноваги та аналізу механіки рухів. Kistler застосовується у бобслеї для аналізу сили поштовху під час старту, що допомагає коригувати техніку розгону або використовується у навчальних

програмах для оцінки координації та моторного розвитку дітей під час стрибкових тестів.

AMTI (Advanced Mechanical Technology, Inc.) – відома своєю універсальністю та широким спектром застосувань, включаючи клінічні, спортивні та біомеханічні дослідження. Її платформи дозволяють точно аналізувати баланс, силу відштовхування та механіку рухів спортсменів у режимі реального часу. AMTI використовується у спортивних танцях для оцінки симетрії навантаження під час складних поворотів та стрибків або визначати механіку ходи у дітей з ортопедичними проблемами та коригувати індивідуальні фізичні вправи.

Bertec – система, що спеціалізується на аналізі розподілу тиску та реактивних сил під час руху. Завдяки інтеграції з іншими біомеханічними методами дозволяє комплексно оцінювати ефективність рухів, їх економічність та потенційні ризики травматизації. Bertec застосовується у стрільбі з лука для аналізу стійкості та рівноваги спортсмена під час прицілювання або використовується у програмах корекційної фізкультури для дітей з порушеннями координації рухів.

Електроміографічний аналіз використовується для дослідження активності м'язів під час фізичних вправ, що дозволяє оцінювати ефективність тренувань, запобігати перевантаженням та травмам, також вимірює м'язову активність у реальному часі, аналізує симетрії роботи м'язів (Delsys, Noraxon, BTS Bioengineering).

Delsys – один із провідних виробників бездротових систем ЕМГ, що використовує високочутливі датчики для реєстрації електричної активності м'язів у реальному часі, дозволяють аналізувати нейром'язову взаємодію під час виконання спортивних вправ, а також використовуються у клінічній реабілітації для оцінки м'язової дисфункції та адаптації після травм. Delsys використовується у важкій атлетиці для аналізу активації м'язових груп під час підйому ваги або застосовується для оцінки м'язового навантаження під час виконання силових вправ у шкільних програмах.

Noraxon – комплексна система біомеханічного аналізу, що включає інструменти для електроміографії, кінематичного аналізу та силових

вимірювань. Noraxon забезпечує точну оцінку м'язової активності, асиметрії рухів і кінетики спортсменів, що допомагає оптимізувати тренувальний процес і зменшити ризик травм. Noraxon застосовується у бігу на довгі дистанції для оцінки роботи м'язів ніг і прогнозування втоми або використовується для вивчення правильності виконання базових рухових навичок у дітей.

BTS Bioengineering – високотехнологічна система, що поєднує ЕМГ-аналіз, аналіз ходи та постурального балансу. Її застосування включає не тільки спортивну біомеханіку, а й медичні дослідження, ортопедію та нейрофізіологію. BTS Bioengineering дозволяє проводити комплексний аналіз м'язової діяльності та рухових патернів, що є важливим для діагностики та відновлення після травм. BTS Bioengineering використовується у футболі для оцінки м'язової координації під час удару по м'ячу [5, 19] або застосовується у реабілітаційних програмах для оцінки рівноваги та координації рухів учнів.

Електроміографія є потужним методом оцінки м'язової активності, що широко застосовується у спортивній біомеханіці, реабілітації та клінічній медицині. Системи, такі як Delsys, Noraxon та BTS Bioengineering, забезпечують високу точність вимірювань та дозволяють проводити глибокий аналіз м'язової функції під час рухової діяльності. Переваги застосування цих технологій у високій точності вимірювання електричної активності м'язів, аналізі м'язового навантаження у реальному часі, використанні у спортивній реабілітації для корекції м'язових дисбалансів, оптимізації тренувального процесу на основі нейром'язової ефективності, комплексному підході до оцінки рухових порушень та їх корекції [11, 14].

Завдяки носимим датчикам руху (Xsens, Moticon, STT Systems) можна здійснювати контроль за переміщенням спортсменів у просторі, вимірювати швидкість, прискорення та траєкторію руху, аналізувати техніку бігу, ходьбу, ударні дії у спорті.

Xsens – це передова інерційна система, що використовується для високоточних вимірювань рухів спортсменів у реальному часі. Завдяки вбудованим гіроскопам та акселерометрам, Xsens дозволяє отримувати детальну інформацію про динаміку рухів без

необхідності встановлення маркерів або камер. Xsens широко застосовується у біомеханіці, реабілітації та професійному спорті для аналізу техніки бігу, стрибків, ходьби та ударних дій. Також застосовується у бігових дисциплінах для аналізу техніки руху та ідентифікації неефективних патернів руху або використовується у навчальних програмах для оцінки координації рухів та балансу під час виконання вправ.

Moticon – це бездротова система аналізу рухів, що базується на використанні інтелектуальних устілок з вбудованими датчиками тиску. Moticon забезпечує високоточний аналіз розподілу навантаження на стопу, оцінку рівноваги та динамічних характеристик рухів. Її активно застосовують у реабілітації, ортопедії та спортивному тренуванні для аналізу бігу, ходьби та стрибків. Moticon використовується у баскетболі та гандболі для оцінки біомеханіки стрибків [15] та зміни напрямку руху або допомагає аналізувати навантаження на стопу школярів під час бігу та ходьби, що дозволяє виявити проблеми з розподілом ваги.

STT Systems – це система тривимірного аналізу рухів, що використовує як інерційні сенсори, так і оптичне сканування, та дозволяє виконувати комплексну оцінку рухової діяльності спортсменів, визначати порушення в техніці та аналізувати параметри рухів для покращення спортивних результатів. STT Systems вживається у спортивній біомеханіці, кінезіології та ергономічних дослідженнях. Крім того, використовується у спортивній гімнастиці та тенісі для точного визначення траєкторій руху та технічних параметрів виконання вправ або застосовується у шкільних уроках фізичної культури для оцінки правильної техніки виконання вправ та профілактики травм.

Сучасні інерційні системи та датчики руху є потужними інструментами для аналізу техніки виконання рухів у спорті, та дозволяють оцінювати швидкість, прискорення, положення тіла та інші кінематичні параметри без використання стаціонарного обладнання. Особливістю застосування є безконтактний та мобільний аналіз рухів, висока точність вимірювань у реальному часі, можливість використання у польових умовах без необхідності стаціонарного обладнання, детальний аналіз

рухів для оптимізації техніки та попередження травм.

Штучний інтелект (AI) та машинне навчання відкривають нові можливості у біомеханічному аналізі (OpenPose, AI Motion Analysis, Google DeepMind). Сучасні алгоритми можуть автоматично визначати помилки у техніці виконання вправ, прогнозувати ризик травм та формувати індивідуальні рекомендації для спортсменів.

OpenPose – це система комп'ютерного зору, що використовує нейронні мережі для визначення ключових точок тіла людини у відеопотоці, яка дозволяє аналізувати рухові патерни спортсменів, оцінювати їхню техніку та проводити корекцію у реальному часі. Використання OpenPose у біомеханічному аналізі забезпечує безконтактний метод оцінки положення тіла без необхідності маркерів або складного обладнання. Можна навести приклад використання у волейболі [3] для аналізу рухів гравців, дозволяючи тренерам виявляти помилки у координації та балансі або застосування для моніторингу постави учнів під час виконання фізичних вправ у школах.

AI Motion Analysis – програмна платформа, що використовує алгоритми глибокого навчання для аналізу рухових дій спортсменів, визначає помилки у техніці виконання вправ, прогнозувати потенційні травми та створювати персоналізовані рекомендації щодо вдосконалення рухових навичок. AI Motion Analysis активно використовується у професійному спорті та фізичній терапії. Наприклад, у тенісі для оцінки ударів і вдосконалення техніки або для корекції бігової техніки учнів у рамках шкільних занять з легкої атлетики [2, 7].

Google DeepMind – потужна платформа штучного інтелекту, що використовується для аналізу великих обсягів біомеханічних даних. DeepMind здатна проводити складний кінематичний аналіз, прогнозувати результати тренувального процесу та створювати адаптивні стратегії тренувань. Її використання відкриває нові можливості для персоналізованого підходу до фізичної підготовки. Google DeepMind допомагає прогнозувати витривалість спортсменів у марафоні, оптимізуючи їхню стратегію бігу або аналізує дані про рухову активність дітей для створення персоналізованих програм фізичної підготовки [6].

Системи на основі штучного інтелекту дозволяють автоматично аналізувати рухові патерни, забезпечують високою точністю оцінки технічних характеристик рухів, використовуються у реальному часі для корекції помилок, прогнозують ризиків травм та оптимізація навантажень, здійснюють адаптивний підхід до тренувальних програм.

Сучасні технології біомеханічного контролю мають широкий спектр застосування у різних сферах людської діяльності, включаючи як традиційні види спорту, так і новітні дисципліни, що вимагають високого рівня моторного контролю та когнітивної витривалості. Зокрема, методи аналізу кінематичних і кінетичних параметрів, електроміографії, інерційного моніторингу та штучного інтелекту набувають все більшого значення не лише у фізично-орієнтованих видах спорту, а й у високотехнологічних сферах, таких як кіберспорт [17].

У межах кіберспортивної діяльності, яка характеризується високими вимогами до точності дрібної моторики, швидкості реакції та ергономічної стабільності, біомеханічні технології можуть забезпечити об'єктивний контроль фізіологічних і моторних характеристик гравців, що відкриває нові можливості для оптимізації навантажень, профілактики професійних дисфункцій та підвищення загальної ефективності виконання ігрових завдань. Так електроміографія (*Delsys, Noraxon, BTS Bioengineering*) – для аналізу м'язової активності під час тривалих ігрових сесій; аналіз рухів та пози (*Vicon Motion Systems, OpenPose, AI Motion Analysis*) – для оцінки постави, мікрорухів рук і ергономіки сидіння; силові платформи (*Kistler, AMTI, Bertec*) – для аналізу стабільності сидячого положення та рівноваги; інерційні сенсори (*Xsens, Moticon, STT Systems*) – для оцінки моторики верхніх кінцівок і корекції рухових патернів; штучний інтелект (*Google DeepMind*) – для персоналізованого аналізу ергономіки та розробки рекомендацій щодо зменшення навантаження на м'язи та суглоби.

Вищезазначені технології можуть допомогти в профілактиці кіберспортивних травм (тунельний синдром, синдром зап'ясткового каналу, постуральні розлади) та покращенні реакційної швидкості і моторного контролю.

Результати проведеного дослідження дозволили довести, що застосування новітніх технологій у біомеханічному контролі значно покращує якість тренувального процесу, підвищує спортивні результати та сприяє зменшенню травматизму. Поєднання відеоаналізу, електроміографії, інерційних датчиків та штучного інтелекту відкриває нові горизонти для науки про рух людини та фізичне виховання. У подальшому впровадження цих технологій дозволить ще більше персоналізувати тренувальний процес та покращити ефективність підготовки спортсменів.

4. ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМКУ

Впровадження новітніх технологій у біомеханічний контроль спортивної діяльності та фізичного виховання сприяє значному розширенню можливостей оцінки та покращення технічних характеристик рухової діяльності. Системи відеоаналізу, електроміографії, датчиків руху та інерційних сенсорів забезпечують багатовимірний підхід до аналізу рухових патернів, що дозволяє формувати об'єктивні та персоналізовані тренувальні програми.

Синергія класичних методів біомеханічного аналізу та сучасних цифрових технологій дозволяє не лише підвищити ефективність підготовки спортсменів, а й оптимізувати програми фізичної реабілітації, розширюючи можливості адаптивного спорту та корекційної фізкультури. Використання штучного інтелекту для обробки великих масивів біомеханічних даних відкриває перспективи створення автоматизованих систем корекції техніки виконання вправ та прогнозування спортивних результатів.

З огляду на швидку еволюцію технологій, подальші дослідження у сфері біомеханічного аналізу мають бути спрямовані на інтеграцію різних сенсорних та аналітичних платформ, що дозволить ще більш детально та комплексно оцінювати рухові характеристики людини. Таким чином, використання передових біомеханічних технологій у фізичному вихованні та спорті є невід'ємною складовою сучасного науково обґрунтованого підходу до тренувального процесу та

покращення фізичної підготовленості спортсменів.

Перспективи подальших досліджень у сфері біомеханічного аналізу рухової активності повинні зосередитися на інтеграції багатокomпонентних аналітичних систем, що поєднують кінематичні, кінетичні та нейрофізіологічні параметри. Впровадження мультисенсорних платформ та штучного інтелекту дозволить підвищити точність вимірювань, автоматизувати аналіз рухових патернів і сприяти персоналізації тренувальних програм.

Важливим напрямом є розробка мобільних біомеханічних систем, які дозволять здійснювати моніторинг рухової активності в реальних умовах, зокрема в польових тренуваннях та під час змагальної діяльності, що надасть змогу в режимі

реального часу відстежувати динаміку навантаження, прогнозувати розвиток втоми та коригувати тренувальні плани відповідно до індивідуальних особливостей спортсменів. Також доцільним є розширення досліджень у сфері адаптивного спорту та реабілітаційної біомеханіки. Використання біомеханічного аналізу в розробці протезів, ортезів та реабілітаційних програм допоможе покращити рухові функції людей з обмеженими можливостями та сприятиме їхній соціальній адаптації через фізичну активність. Зважаючи на швидку цифрову трансформацію науки та технологій, перспективним є створення автоматизованих баз даних рухових характеристик спортсменів різного рівня підготовки, що дозволить здійснювати порівняльний аналіз і підвищити ефективність методик підготовки.

Література

1. Антонюк О., Павлюк О., Чопик Т., Тостановський Я., & Киданчук, М. Закордонний досвід використання інформаційних технологій у фізичному вихованні, спорті та фітнесі. *Physical culture and sport: scientific perspective*. 2024. № 2. С. 66-73.
2. Бобровник В. І., & Совенко С. П. Експериментальна перевірка ефективності багатофункціональних біомеханічних моделей основних елементів технічних дій легкоатлетів, які спеціалізуються у спортивній ходьбі, у процесі технічної підготовки. *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15 : Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)* : зб. наукових праць / За ред. О. В. Тимошенка. Київ : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2024. Вип. 10 (183). С. 46-60.
3. Жула Л., Жула В., & Лошакова Г. Використання методів біомеханічного контролю в підготовці волейболісток ігрового амплуа ліберо. *Вісник Національного університету "Чернігівський колегіум" імені Г.Г. Шевченка*. 2024. № 181(25). С. 38-42.
4. Івченко В., Кашуба В., Литвиненко Ю., Ярмолинський Л., & Никитюк Р. Практичний аспект реалізації біомеханічного аналізу у спорті. *Physical culture sports and health of the nation*. 2024. № 17 (36)). С. 209-220.
5. Лисенчук Г., Тищенко В. Технології контролю техніко-тактичної підготовленості в футболі. *Наука в олімпійському спорті*. Київ : Олімпійська літ-ра, 2020. № 1. С. 48-52.
6. Пришляк В. М., Некрасов Г. Г., Цап І. Г. Роль інновацій у розвитку сучасних спортивних ігор та їх вплив на фізичну активність і спортивні досягнення. *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15 : Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)* : зб. наукових праць / За ред. О. В. Тимошенка. Київ : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2024. Вип. 8 (181). С. 209-213.
7. Совенко С. П. Методологія технічної підготовки легкоатлетів, які спеціалізуються у спортивній ходьбі, у системі багаторічного удосконалення. *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15 : Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)* : зб. наукових праць / За ред. О. В. Тимошенка. Київ : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2024. Вип. 12 (185). С. 179-188.
8. Тищенко В., Омеляненко Г., Крюков Ю., Яковченко А. Підвищення ефективності процесу фізичного виховання школярів сучасними фітнес-технологіями. *Фізичне виховання та спорт*. 2022. Т. 1. С. 36-41.
9. Boujdi, R., Rouani, A., Elouakfaoui, A., Lamri, D., & Ibrahimi, A. (2023). The effectiveness of a physical education teaching intervention based on biomechanical modeling on anaerobic power and sprint running performance of youth male students with deficit force profile. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 2023. Vol. 24. P. 423-434.
10. Dupuy, A., Campbell, M. J., Harrison, A. J., & Toth, A. J. On the necessity for biomechanics research in esports. *Sports Biomechanics*. 2024. P. 1-13.
11. Gou, X., & Xiong, W. Research on the application of sports biomechanics in optimizing the effect of physical training. *Molecular & Cellular Biomechanics*. 2025. Vol. 22(2).
12. Helmi, B., Hidayah, T., Pramono, H., Hartono, M., & Iskandar, T. Using a Biomechanical Analysis Approach to the Accuracy of Shooting Throws in Petanque Sport: Literature Review. *Physical Education Theory and Methodology*. 2024. Vol. 24(1). P. 130-135.

13. Jaitner, T. (2024). Sports Measurement and Information Systems and Biomechanical Feedback Training. In *Sports Technology: Technologies, Fields of Application, Sports Equipment and Materials for Sport* (pp. 141-149). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
14. Li, M. (2024). Research on the application of biomechanics analysis in optimizing physical education movement techniques. *Molecular & Cellular Biomechanics*, 21(3). P. 496-496.
15. Lochman V., Tyshchenko V., Tovstopiatko F., Pyptiuk P., Ivanenko S., Pozmogova N. Use of innovative technical means to increase the training process effectiveness in handball. *Journal of Physical Education and Sport*. 2021. Vol. 21 (4). Art 215. P. 1695–1704.
16. Ma, Q., & Huo, P. Simulation analysis of sports training process optimisation based on motion biomechanical analysis. *International Journal of Nanotechnology*. 2022. Vol. 19(6-11). P. 999-1015.
17. Nagorna, V., Mytko, A., Borysova, O., Potop, V., Petrenko, H., Zhyhailova, L., ... & Lorenzetti, S. Innovative technologies in sports games: A comprehensive investigation of theory and practice. *Journal of Physical Education and Sport*. 2024. P. 585-596.
18. Penichet-Tomas, A. Applied Biomechanics in Sports Performance, Injury Prevention, and Rehabilitation. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14(24). P. 11623.
19. Plakias, S., Tsatalas, T., Mina, M. A., Kokkotis, C., Kellis, E., & Giakas, G. A bibliometric analysis of soccer biomechanics. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14(15). P. 6430.
20. Tai, W. H., Zhang, R., & Zhao, L. Cutting-Edge Research in Sports Biomechanics: From Basic Science to Applied Technology. *Bioengineering*. 2023. Vol. 10(6). P. 668.
21. Vancini, R. L., Andrade, M. S., De Lira, C. A. B., & Russomano, T. Recent Advances in Biomechanics Research: Implications for Sports Performance and Injury Prevention. *Health Nexus*. 2023. Vol. 1(3). P. 7-20.

References

1. Antonyuk O., Pavlyuk O., Chopyk T., Tostanovs'kyi YA., & Kydanchuk, M. (2024). Zakordonnyy dosvid vykorystannya informatsiynykh tekhnolohiy u fizychnomu vykhovanni, sporti ta fitnesi [Foreign experience in the use of information technologies in physical education, sports and fitness]. *Physical culture and sport: scientific perspective*, 2, 66-73. [in Ukrainian]
2. Bobrovnyk V. I., & Sovenko S. P. (2024). Eksperymental'na perevirka efektyvnosti bahatofunktsional'nykh biomekhanichnykh modeley osnovnykh elementiv tekhnichnykh diy lehkoatletiv, yaki spetsializuyut'sya u sportyvnyi khod'bi, u protsesi tekhnichnoyi pidhotovky [Experimental verification of the effectiveness of multifunctional biomechanical models of the main elements of technical actions of track and field athletes specializing in sports walking, in the process of technical training]. *Naukovyy chasopys Ukrayins'koho derzhavnoho universytetu imeni Mykhayla Drahomanova. Seriya 15 : Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoyi kul'tury (fizychna kul'tura i sport) : zb. naukovykh prats' / Za red. O. V. Tymoshenka*. Kyiv : Vyd-vo UDU imeni Mykhayla Drahomanova, 10 (183), 46-60. [in Ukrainian]
3. Zhula L., Zhula V., & Loshakova H. (2024). Vykorystannya metodiv biomekhanichnoho kontrolyu v pidhotovtsi voleybolistok ihrovoho amplua libero [The use of biomechanical control methods in the training of volleyball players of the libero role]. *Visnyk Natsional'noho universytetu "Chernihiv's'kyi kolehium" imeni TH Shevchenka*, 181(25), 38-42.
4. Ivchenko V., Kashuba V., Lytvynenko YU., Yarmolyns'kyi L., & Nykytyuk R. (2024). Praktychnyy aspekt realizatsiyi biomekhanichnoho analizu u sporti [Practical aspect of implementing biomechanical analysis in sports]. *Physical culture sports and health of the nation*, 17 (36)), 209-220. [in Ukrainian]
5. Lysenchuk H., Tyshchenko V. (2020). Tekhnolohiyi kontrolyu tekhniko-taktychnoyi pidhotovlenosti v futboli [Technologies for controlling technical and tactical readiness in football]. *Nauka v olymпыyskom sporte*. Kyiv : Olimpiys'ka lit-ra, 1, 48-52. [in Ukrainian]
6. Pryshlyak V. M., Nekrasov H. H., Tsap I. H. (2024). Rol' innovatsiy u rozvytku suchasnykh sportyvnykh ihor ta yikh vplyv na fizychnu aktyvnist' i sportyvni dosyahnennya [The role of innovations in the development of modern sports games and their impact on physical activity and sports achievements]. *Naukovyy chasopys Ukrayins'koho derzhavnoho universytetu imeni Mykhayla Drahomanova. Seriya 15 : Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoyi kul'tury (fizychna kul'tura i sport) : zb. naukovykh prats' / Za red. O. V. Tymoshenka*. Kyiv : Vyd-vo UDU imeni Mykhayla Drahomanova, 8 (181), 209-213. [in Ukrainian]
7. Sovenko S. P. (2024). Metodolohiya tekhnichnoyi pidhotovky lehkoatletiv, yaki spetsializuyut'sya u sportyvnyi khod'bi, u systemi bahatorichnoho udoskonalennya [Methodology of technical training of track and field athletes specializing in sports walking, in the system of long-term improvement]. *Naukovyy chasopys Ukrayins'koho derzhavnoho universytetu imeni Mykhayla Drahomanova. Seriya 15 : Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoyi kul'tury (fizychna kul'tura i sport) : zb. naukovykh prats' / Za red. O. V. Tymoshenka*. Kyiv : Vyd-vo UDU imeni Mykhayla Drahomanova, 12 (185), 179-188. [in Ukrainian]
8. Tyshchenko V., Omel'yanenko H., Kryukov YU., Yakovchenko A. (2022). Pidvyshchennya efektyvnosti protsesu fizychnoho vykhovannya shkol'nyariv suchasnymi fitnes-tekhnolohiyamy [Increasing the efficiency of the process of physical education of schoolchildren using modern fitness technologies]. *Fizychnye vykhovannya ta sport*, 1, 36-41. [in Ukrainian]
9. Boujdi, R., Rouani, A., Elouakfaoui, A., Lamri, D., & Ibrahimi, A. (2023). The effectiveness of a physical education teaching intervention based on biomechanical modeling on anaerobic power and sprint running performance of youth male students with deficit force profile. *International Journal of Chemical and Biochemical Science*, 24, 423-434.
10. Dupuy, A., Campbell, M. J., Harrison, A. J., & Toth, A. J. (2024). On the necessity for biomechanics research in esports. *Sports Biomechanics*, 1-13.

11. Gou, X., & Xiong, W. (2025). Research on the application of sports biomechanics in optimizing the effect of physical training. *Molecular & Cellular Biomechanics*, 22(2).
12. Helmi, B., Hidayah, T., Pramono, H., Hartono, M., & Iskandar, T. (2024). Using a Biomechanical Analysis Approach to the Accuracy of Shooting Throws in Petanque Sport: Literature Review. *Physical Education Theory and Methodology*, 24(1), 130-135.
13. Jaitner, T. (2024). Sports Measurement and Information Systems and Biomechanical Feedback Training. In *Sports Technology: Technologies, Fields of Application, Sports Equipment and Materials for Sport* (pp. 141-149). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
14. Li, M. (2024). Research on the application of biomechanics analysis in optimizing physical education movement techniques. *Molecular & Cellular Biomechanics*, 21(3), 496-496.
15. Lochman V., Tyshchenko V., Tovstopyatko F., Pyptiuk P., Ivanenko S., Pozmogova N. (2021). Use of innovative technical means to increase the training process effectiveness in handball. *Journal of Physical Education and Sport*, (4), 1695–1704.
16. Ma, Q., & Huo, P. (2022). Simulation analysis of sports training process optimisation based on motion biomechanical analysis. *International Journal of Nanotechnology*, 19(6-11), 999-1015.
17. Nagorna, V., Mytko, A., Borysova, O., Potop, V., Petrenko, H., Zhyhailova, L., ... & Lorenzetti, S. (2024). Innovative technologies in sports games: A comprehensive investigation of theory and practice. *Journal of Physical Education and Sport*, 585-596.
18. Penichet-Tomas, A. (2024). Applied Biomechanics in Sports Performance, Injury Prevention, and Rehabilitation. *Applied Sciences*, 14(24), 11623.
19. Plakias, S., Tsatalas, T., Mina, M. A., Kokkotis, C., Kellis, E., & Giakas, G. (2024). A bibliometric analysis of soccer biomechanics. *Applied Sciences*, 14(15), 6430.
20. Tai, W. H., Zhang, R., & Zhao, L. (2023). Cutting-Edge Research in Sports Biomechanics: From Basic Science to Applied Technology. *Bioengineering*, 10(6), 668.
21. Vancini, R. L., Andrade, M. S., De Lira, C. A. B., & Russomano, T. (2023). Recent Advances in Biomechanics Research: Implications for Sports Performance and Injury Prevention. *Health Nexus*, 1(3), 7-20.

Abstract

TYSHCHENKO Valeria, SOKOLOVA Olha

Zaporizhzhia National University

PIATNYCHUK Dmytro, PYATNYCHUK Halyna

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

MODERN TECHNOLOGIES IN BIOMECHANICAL CONTROL IN PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS

The article examines modern approaches to biomechanical control in physical education and sports, based on the use of advanced technologies, including video analysis, electromyography, inertial sensors, and artificial intelligence. The refinement of methodological foundations for biomechanical control not only enhances the effectiveness of the training process through a detailed analysis of kinematic and dynamic parameters of motor activity but also contributes to reducing sports injuries by identifying critical loads, optimizing technical movement components, and providing personalized correction of individual biomechanical characteristics. The relevance of implementing these technologies for improving the efficiency of the training process, optimizing athletes' technical preparation, and reducing injury risks has been established. A scientific analysis of the application of video analysis systems (Dartfish, Kinovea, Vicon Motion Systems), force platforms (Kistler, AMTI, Bertec), and electromyographic complexes (Delsys, Noraxon, BTS Bioengineering) has been conducted, allowing for the precise assessment of movement mechanics, load distribution, and muscle activity levels during physical exercises. Special attention is given to the prospects of using inertial sensors (Xsens, Moticon, STT Systems) for contactless analysis of motor activity in field research conditions. The role of artificial intelligence in sports biomechanics is examined, particularly the potential applications of OpenPose, AI Motion Analysis, and Google DeepMind for automated movement technique analysis. These tools have been shown to contribute to the personalization of training programs, the correction of technical errors in real time, and the overall improvement of physical performance. The study aims to identify the most effective methods for applying video analysis, electromyography, inertial sensors, and artificial intelligence in sports biomechanics. The use of modern technologies in biomechanical control significantly enhances the quality of the training process, improves athletic performance, and reduces injury incidence. The further evolution and comprehensive integration of these methods create prerequisites for an in-depth scientific analysis of the biomechanical aspects of motor activity, contribute to the development of high-tech control and performance prediction algorithms, and ensure scientifically grounded optimization of training programs, taking into account individual morphofunctional and adaptive characteristics. The obtained results will contribute to the advancement of scientific and methodological approaches to the use of biomechanical control in sports and physical education. Future research prospects are associated with the integration of multisensory platforms, the development of adaptive rehabilitation technologies, and the creation of automated systems for monitoring motor characteristics.

Keywords: biomechanical control, inertial sensors, artificial intelligence, training process optimization, injury prevention, motor activity, kinematic analysis.

Стаття надійшла до редакції 22.02.2025 р.