

УДК 612.76:796(075)
DOI <https://doi.org/10.26661/2663-5925-2024-1-33>

БІОМЕХАНІЧНІ ЯКОСТІ ОРГАНІЗМУ ЯК ОСНОВА ПІДВИЩЕННЯ СПОРТИВНОЇ МАЙСТЕРНОСТІ

Максимчук Б. А.

*доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри фізичного виховання, спорту та здоров'я людини
Ізмаїльський державний гуманітарний університет
вул. Репіна, 12, Ізмаїл, Одеська область, Україна
orcid.org/0000-0002-4168-1223
0674256781@ukr.net*

Баштовенко О. А.

*кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри фізичного виховання, спорту та здоров'я людини
Ізмаїльський державний гуманітарний університет
вул. Репіна, 12, Ізмаїл, Одеська область, Україна
orcid.org/0000-0002-6793-7880
osiabasht@gmail.com*

Сілаєв В. В.

*старший викладач кафедри фізичного виховання, спорту та здоров'я людини
Ізмаїльський державний гуманітарний університет
вул. Репіна, 12, Ізмаїл, Одеська область, Україна
orcid.org/0009-0004-2306-4004
vitaliy.silayev.94@gmail.com*

Рошчін І. Г.

*доктор педагогічних наук, заслужений тренер України,
доцент кафедри фізичного виховання, спорту та здоров'я людини
Ізмаїльський державний гуманітарний університет
вул. Репіна, 12, Ізмаїл, Одеська область, Україна
orcid.org/0000-0002-5345-2313
roshchinihor@gmail.com*

Максимчук І. А.

*кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри фізичного виховання, спорту та здоров'я людини
Ізмаїльський державний гуманітарний університет
вул. Репіна, 12, Ізмаїл, Одеська область, Україна
orcid.org/0000-0002-4361-3507
0963113686@ukr.net*

Ключові слова:

біомеханіка, спорт, фізичні вправи, рухи, спортивні результати, тренування, змагання, травми, оптимізація.

У статті розглядається тема біомеханіки спорту, а саме вивчення рухів спортсменів та їх вплив на спортивні результати. Біомеханіка спорту досліджує механічні властивості тіла спортсмена та взаємодії між тілом і навколишнім середовищем під час виконання фізичних вправ. Описуються основні засади біомеханіки, а також їх застосування в процесі тренувань і змагань. Окрема увага приділяється ролі біомеханіки в запобіганні травмам та оптимізації спортивних показників. Біомеханіка спорту може бути застосована в різних галузях, а саме: тренування спортсменів, оскільки може допомогти тренерам розробити більш ефективні програми тренувань, враховуючи індивідуальні особливості кожного спортсмена; при профілактиці травм, бо розуміння принципів біомеханіки дає змогу розробляти методи запобігання травмам, пов'язаним з неправильним виконанням вправ або неправильним екіпіруванням; при поліпшенні спортивних результатів, тому що знання біомеханіки може допомогти спортсменам покращити свої показники, оптимізуючи техніку виконання вправ та знижуючи енерговитрати; при реабілітації після травм, бо біомеханіка також може використовуватись для розробки програм реабілітації після травм, щоб прискорити відновлення та запобігти повторним травмам. Одним з основних напрямів біомеханіки спорту є вивчення механіки рухів людини, включно з ходьбою, бігом, стрибками, метанням та іншими видами фізичної активності. У статті визначено поняття про біомеханіку спорту та якості організму; описано технології біомеханічного дослідження локомоцій організму людини; представлено вибір систем біомеханічного аналізу рухів для підвищення спортивної майстерності спортсменів у різних видах спорту, оскільки аналіз біомеханіки рухів дає також широкі можливості у встановленні механізмів відновлення спортивної майстерності після перенесених оперативних втручань. Отже, біомеханіка спорту – це перспективна галузь науки, яка має вагоме значення для покращення спортивних результатів, профілактики травм та розробки нових методів тренувань.

BIOMECHANICAL QUALITIES OF THE BODY AS A BASIS FOR IMPROVING SPORTSMANSHIP

Maksymchuk B. A.

*Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Physical Education, Sports and Human Health
Izmail State University of Humanities
Repina str., 12, Izmail, Odesa region, Ukraine
orcid.org/0000-0002-4168-1223
0674256781@ukr.net*

Bashtovenko O. A.

*Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Physical Education,
Sports and Human Health
Izmail State University of Humanities
Repina str., 12, Izmail, Odesa region, Ukraine
orcid.org/0000-0002-6793-7880
osiabasht@gmail.com*

Silaiev V. V.

*Senior Lecturer at the Department of Physical Education,
Sports and Human Health
Izmail State University of Humanities
Repina str., 12, Izmail, Odesa region, Ukraine
orcid.org/0009-0004-2306-4004
vitaliy.silayev.94@gmail.com*

Roshchin I. H.

*Doctor of Pedagogical Sciences, Honored Coach of Ukraine,
Associate Professor at the Department of Physical Education,
Sports and Human Health
Izmail State University of Humanities
Repina str., 12, Izmail, Odesa region, Ukraine
orcid.org/0000-0002-5345-2313
roshchinihor@gmail.com*

Maksymchuk I. A.

*Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Physical Education,
Sports and Human Health
Izmail State University of Humanities
Repina str., 12, Izmail, Odesa region, Ukraine
orcid.org/0000-0002-4361-3507
0963113686@ukr.net*

Key words: *biomechanics, sport, physical exercises, movements, sports performance, training, competition, injuries, optimization.*

This article discusses the topic of sports biomechanics, namely the study of athletes' movements and their impact on sports performance. Sports biomechanics studies the mechanical properties of the athlete's body and the interactions between the body and the environment during exercise. The course describes the basic principles of biomechanics and their application in training and competition. Particular attention is paid to the role of biomechanics in injury prevention and optimization of sports performance. Sports biomechanics can be applied in various fields, such as: training athletes because it can help coaches develop more effective training programs, taking into account the individual characteristics of each athlete; injury prevention because understanding the principles of biomechanics allows developing methods to prevent injuries associated with improper exercise or improper equipment; improving sports performance because knowledge of biomechanics can help athletes improve their performance by optimizing their technique. One of the main areas of sports biomechanics is the study of the mechanics of human movements, including walking, running, jumping, throwing, and other types of physical activity. The article defines the concepts of sports biomechanics and body qualities; describes the technologies of biomechanical study of human locomotion; presents the choice of biomechanical movement analysis systems for improving sportsmanship of athletes in various sports, since the analysis of movement biomechanics also opens up wide opportunities to establish mechanisms for the recovery of sportsmanship after surgery. Thus, sports biomechanics is a promising field of science that is important for improving sports performance, preventing injuries, and developing new training methods.

Вступ. Біомеханіка спорту – це відносно молода галузь науки, яка зародилася в середині ХХ століття. Вона виникла внаслідок злиття спортивної науки та біомеханіки. Спортивна наука вивчає біологічні та психологічні аспекти спорту, а біомеханіка – фізичні принципи, що лежать в основі руху.

Біомеханіка спорту може бути застосована в різних галузях, а саме: тренування спортсменів – біомеханіка може допомогти тренерам розробити більш ефективні програми тренувань, враховуючи індивідуальні особливості кожного спортсмена; профілактика травм – розуміння принципів біомеханіки дає змогу розробляти методи запобігання травмам, пов'язаним з неправильним виконанням вправ або неправильним екіпіруванням; поліпшення спортивних результатів – знання біомеханіки може допомогти спортсменам покращити свої показники, оптимізуючи техніку виконання вправ та знижуючи енерговитрати; реабілітація після травм – біомеханіка також може використовуватись для розробки програм реабілітації після травм, щоб прискорити відновлення та запобігти повторним травмам.

А. Лапутін [1, с. 311; 2] дає таке визначення: «біомеханіка спорту – це наука, яка вивчає механічні принципи, що лежать в основі людських рухів у спорті. Вона досліджує, як сила, швидкість, гнучкість та інші фактори впливають на ефективність і безпечність спортивних результатів». На думку В. Беляєва [3, с. 45], «одним з основних напрямів біомеханіки спорту є вивчення механіки рухів людини, включно з ходьбою, бігом, стрибками, метанням та іншими видами фізичної активності. Також вивчаються взаємодії між спортсменом та різними спортивними снарядами, як-от м'ячі, ракетки, лижі тощо».

М. Al-Amri, К. Nicholas, К. Button [4, с. 56] доводять, що «біомеханіка спорту вивчає вплив різних факторів на ефективність виконання фізичних вправ, включно з анатомічними особливостями, станом здоров'я, віком, статтю, рівнем фізичної підготовки тощо». Це дає змогу розробляти індивідуальні програми тренувань та рекомендації щодо покращення спортивних результатів для кожного конкретного спортсмена.

Основними завданнями біомеханіки спорту V. Saienko [5, с. 45] вважає такі: аналіз спортивних рухів, удосконалення спортивної техніки, розробка методів та рекомендацій для покращення ефективності й безпечності спортивних рухів, профілактика травм, добір спортивного інвентарю, що відповідає їхнім індивідуальним характеристикам.

Мета статті – дати визначення поняттю про біомеханіку спорту та якості організму; дослідити технології біомеханічного дослідження локомоцій

організму людини; представити вибір систем біомеханічного аналізу рухів для підвищення спортивної майстерності спортсменів.

Поняття про біомеханіку спорту. Біомеханіка спорту відіграє важливу роль у розвитку спортивної науки й допомагає покращити якість тренувань, запобігти травмам та оптимізувати спортивні результати.

Біомеханіка спорту вивчає такі аспекти спортивних рухів:

1. Механізми рухів.
2. Фізичні засади рухів.
3. Ефективність рухів.
4. Вплив рухів на спортивні результати.

Біомеханіка спорту може бути використана для покращення спортивних результатів. Наприклад, аналіз біомеханіки рухів спортсменів може допомогти виявити фактори, які обмежують їх ефективність. Ці фактори можуть бути пов'язані з технікою виконання рухів, фізичними можливостями спортсмена або обладнання [1, с. 312].

Біомеханіка спорту може також використовуватись для розробки нових методи тренувань. Наприклад, аналіз біомеханіки рухів може допомогти тренерам розробити ефективніші вправи для покращення техніки спортсменів.

Травми у спорті є однією з головних проблем, з якими стикаються спортсмени та тренери. Вони можуть призвести до тривалої перерви у тренуваннях і навіть до закінчення спортивної кар'єри. Тому важливо вивчати механізми виникнення травм і розробляти заходи щодо їх запобігання. У спорті біомеханіка допомагає зрозуміти, як рухи спортсмена впливають на його безпеку та ефективність [6; 7; 8].

Наприклад, під час бігу важливо враховувати, що центр тяжіння тіла повинен розташовуватися над середньою точкою опори, щоб уникнути падіння. Якщо ж центр тяжіння розташований попереду середньої точки опори, це може призвести до травм колін та гомілковостопних суглобів.

Також біомеханіка дає змогу визначити, які вправи найефективніші для розвитку певних фізичних якостей. Наприклад, присідання зі штангою на плечах можуть бути ефективнішими для розвитку сили ніг, ніж присідання зі штангою на грудях.

Однак слід зазначити, що застосування біомеханіки потребує знань і досвіду, тому не варто використовувати її без консультації з фахівцем.

Біомеханіка спорту також може бути використана для профілактики травм. Наприклад, аналіз біомеханіки рухів може допомогти виявити фактори, які підвищують ризик травмування. Ці фактори можуть бути пов'язані з технікою виконання рухів, фізичними можливостями спортсмена або обладнання [9; 10; 11].

Біомеханіка спорту – це перспективна галузь науки, яка має вагомe значення для покращення спортивних результатів, профілактики травм та розробки нових методів тренувань.

Технології біомеханічного дослідження локомоцій людини. Сучасні технології дослідження локомоторних функцій можуть ґрунтуватися на різних принципах роботи, залежно від яких виокремлюють такі основні типи вимірювальних систем: оптико-електронні електромагнітні, інерційні сенсорні, ультразвукові.

Крім того, системи класифікують залежно від умов використання на лабораторні та позалабораторні.

Оптико-електронні вимірювальні системи можуть працювати в інфрачервоному або видимому світловому діапазоні, використовувати активні чи пасивні маркери або бути безмаркерними. Маркерні оптико-електронні вимірювальні системи (Vicon, Motion Analysis, Simi, Gypsy, Qualisys, Optotrak та ін.) вважаються, зважаючи на високу точність, «золотим стандартом» лабораторного «захоплення руху» [12].

Передбачають використання активних (що випромінюють світло і потребують джерела живлення) або пасивних (що прикріплюються до тіла та відбивають світло, яке генерується поблизу об'єктива камери, що використовується для обчислення положення маркерів у тривимірному просторі) маркерів.

У наш час у більшості лабораторних систем відеоаналізу для реєстрації рухів використовують пасивні світловідбивні маркери. Методика відеоаналізу з використанням пасивних маркерів полягає у кріпленні датчиків, що відображають інфрачервоне випромінювання від високошвидкісних камер, на певні анатомічні точки тіла відповідно до кісткових орієнтирів досліджуваної людини. Для рухів стопи, гомілки, стегна, таза, хребта, кисті, передпліччя та плеча розроблені стандарти, що регламентують термінологію та кісткові орієнтири, які визначають межі сегментів тіла, види та осі рухів. Сигнали, що отримують від маркерів, передаються в комп'ютер, де на підставі конкретної комп'ютерної моделі проводиться обробка інформації: рухи реального об'єкта анімуються і формується звіт, що дає змогу проаналізувати кутові та лінійні кінематичні характеристики рухів, що вивчаються. Основні кінематичні параметри, що використовуються в клінічних звітах, передбачають амплітуду рухів, кути згинання в суглобах та сегментах тіла в трьох площинах (сагітальної, фронтальної та горизонтальної), швидкість і прискорення руху [13; 14; 115].

Під час реєстрації положення досліджуваного сегмента тіла в просторі необхідно, щоб одночасно працювало кілька камер, від числа та

поля зору яких залежить точність біомеханічного аналізу рухів. Камери повинні розташовуватися під різними кутами так, щоб об'єкт дослідження весь час перебував у межах їх видимості, до того ж системи чутливі до випадкового зміщення камери. У сучасних системах відеоаналізу зазвичай реалізована можливість побудови будь-яких дво- і тривимірних багатоланкових моделей дослідження, що дають змогу відображати локомоторні сегменти, які цікавлять дослідника апарату. Тривимірні системи захоплення рухів є більш популярними, але для отримання тривимірних зображень мінімальне число камер має бути не менше восьми. Більша кількість камер підвищує точність дослідження, але робить його найбільш трудомістким і дорогим. Усі камери в системах відеозахоплення синхронізовані, їх керування здійснюється за допомогою локальної комп'ютерної мережі, наприклад, як у системах SIMI [16; 17].

Частота відеозйомки зазвичай становить 100 Гц (100 кадрів у секунду), тобто розпізнавання маркерів оновлюється 100 разів на секунду, що в кілька разів перевищує частотний спектр кутових переміщень при локомоціях людини. Для того щоб кожна пара камер утворювала бінокулярне поле бачення необхідних розмірів, площа приміщення, де проводиться відеоаналіз, має становити не менше 100–150 м². Системи відеоаналізу рухів, як правило, використовують у темних приміщеннях, тому що через яскраве сонячне світло можуть виникати проблеми з вимірами. Загалом нині технологія маркерних оптико-електронних вимірювальних систем дає змогу захоплювати цілісний руховий акт, вносити в модель дослідження будь-яку кількість легких світловідбивних маркерів, що встановлюються на тіло спортсмена, які не обмежують рухову активність і спотворюють спортивні рухи обстежуваного; проте наявність стаціонарних камер потребує лабораторних умов досліджень [19; 20].

Є також різновиди оптико-електронних вимірювальних систем, що передбачають наявність камер з високою роздільною здатністю / високою частотою кадрів і які засновані на спеціальній цифровій обробці знятого на ці камери відеоряду (наприклад, системи SIMI, VICON). Обробка відеофільму проводиться або на основі 3D-моделей рухів чи функціонального алгоритму. Для першого варіанта використовують 3D-модель об'єкта, що відстежується, застосовуючи розрахунок зміни положення моделі в кожному кадрі за допомогою алгоритмів прогнозування. Цей підхід найбільш прийнятний для використання в лабораторії і може виявитися неефективним за непостійних умов (наявність безлічі додаткових рухомих об'єктів у кадрі) [17; 18].

Функціональний алгоритм заснований на визначенні переміщення точок у кадрі відстеження об'єкта. Є маркерний та безмаркерний тип такого алгоритму. При застосуванні першого типу необхідне міцне кріплення маркерів на зонах, що обстежується для виключення рухових артефактів. Маркерне відстеження за допомогою таких систем у спорті застосовано на лижній та сноубордній 2500-метровій трасі, точність аналізу кінематичних даних становила 0,04 м у 2D-діапазоні (системи VICON MX 13 та VICON MX 40, 250 Гц).

Безмаркерний алгоритм дає змогу відстежувати рух об'єкта у двомірному просторі, орієнтуючись на переміщення кутів, меж тіла та кінцівок. Прикладом безмаркерного пристрою відстеження рухів є добре відомий сенсорний пристрій Kinect, що працює в інфрачервоному діапазоні; його недоліком для потреб «захоплення руху» в спорті є мале поле зору [19; 20].

Електромагнітні вимірювальні системи обчислюють положення та орієнтацію датчиків руху за допомогою електромагнітних хвиль, що йдуть від датчика до базової станції. Забезпечують великі обсяги захоплення, але менш точно. На відміну від оптико-електронних вимірювальних систем, для визначення положення датчиків не потрібно пряма видимість. Прикладом найточнішої електромагнітної вимірювальної системи є подвійна частотна система GPS-GNSS (Global Position System – Global Navigation Satellite System), що належить до супутникових навігаційних систем, проте її використання в спортивній медицині обмежене множиною факторів (висока вартість, вага й габарити приймачів та антени, чутливість до перешкод і погодних умов, неможливість використання в приміщенні тощо). Тому в спорті частіше застосовують електромагнітні вимірювальні системи, які містять у своєму складі замість супутникових місцеві базові радіостанції [19; 20].

Для вимірювання локального положення об'єкта ці радіостанції розташовуються по всій досліджуваній території, а на спортсменах закріплюють приймальні пристрої, або транспондери (від англ. transmitter-responder). Для визначення тривимірного положення транспондера необхідна наявність як мінімум чотирьох базових станцій.

Недоліком електромагнітної вимірювальної системи є низька завадостійкість (збільшення відстані між датчиками та базовою станцією істотно знижує якість сигналу через шуми, що виникають) і чутливість до феромагнетиків, наявність яких в оточенні знижує точність вимірів. Електромагнітні вимірювальні системи можуть використовувати в спортивних змаганнях визначення положення спортсменів. Так, при використанні бездротової системи позиціонування WASP

(Wireless ad-hoc system for positioning), що реєструє переміщення в 2D-режимі, точність дослідження варіювалася, залежно від місця проведення змагань, від 0,25 м на закритих спортивних майданчиках до 2,0 м при роботі з перешкодами у вигляді стіни. У спортивних дослідженнях на критому баскетбольному полі (420 м²) точність визначення становища спортсмена становила від 0,48 до 0,7 м [15, с. 216].

Ультразвукові системи локалізації, наприклад K-Motion Interactive K-Vest System, обчислюють положення об'єкта, що рухається, за допомогою ультразвукових хвиль і використовуються найчастіше на невеликих просторах. Водночас передавачі розташовуються на реальному об'єкті, що рухається, а приймачі утворюють антену (у деяких системах передавачі та приймачі змінюються місцями). Всякий раз, коли передавач надсилає сигнал, його приймають статичні сенсори, що вимірюють час між відправленням та прийомом сигналу. За часом затримки сигналу розраховуються відстані між випромінювачами та приймачами. За отриманими відстанями обчислюються тривимірні координати об'єкта. Ультразвукові системи локалізації мають хорошу точність вимірювання координат і кутів, але оскільки такі системи працюють на основі використання фізичних властивостей ультразвуку, вони мають низьку недоліків. По-перше, необхідна наявність прямої видимості між випромінювачами та приймачами, оскільки сторонні предмети є добрими поглиначами або розсіювачами ультразвуку. По-друге, відзначається зниження точності при зміні температури навколишнього середовища та при поривах вітру. Крім того, можуть виникати значні перешкоди при роботі з об'єктами, що рухаються [5; 6].

Інерційні сенсорні вимірювальні системи не вимагають використання відеокамер та забезпечують біомеханічний аналіз рухів шляхом отримання сигналів з одягнених на обстежуваного сенсорних датчиків різних модальностей. Найбільш поширеними датчиками, що використовуються в інерційних сенсорних вимірювальних системах, є гіроскопи та акселерометри (дають змогу відстежувати обертальні та поступальні рухи), а також магнетометри (реєструють напрямки руху). Інерційні сенсорні вимірювальні системи відрізняються меншою точністю, як порівняти з оптичними методами, проте не вимагають наявності базової станції (тому серед інших систем вирають у мобільності) і здатні реєструвати дуже швидкі рухи; прикладом є інерційна сенсорна вимірювальна система Perception Neuron 2.0. Це робить інерційні сенсорні вимірювальні системи привабливими з метою стеження рухами спортсменів, наприклад, гімнастів, плавців.

Вибір систем біомеханічного аналізу рухів для досліджень спортсменів. Системи «захоплення руху» для потреб спорту та спортивної медицини обирають з урахуванням специфіки вимірювань, пов'язаної з особливостями та умовами проведення досліджень. По-перше, дослідження проводять частіше в нелабораторних умовах (на поле, ковзанці, арені), що супроводжується безліччю перешкод (зміна освітлення, температура та вологість доквілля, шум). По-друге, обсяг виміру (захоплення) часто великий, це обмежує вибір вимірювальної системи (точність вимірювань назад пропорційна обсягу захоплення зображень). По-третє, біомеханічний аналіз часто стосується високодинамічних рухів, які важче реєструвати, ніж, наприклад, ходу. Так, для виконання відеоаналізу рухів спортсменів оптимальними вважаються частоти камер у діапазоні між 50 та 250 Гц; надто високих частот дискретизації сигналу варто уникати, щоб не було надмірних обсягів даних та високочастотних шумів. Для дослідження кінематики швидких локомоцій є спеціалізовані діагностичні комплекси відеоаналізу із частотою відеозйомки до 200 кадрів за секунду (наприклад, UltraMotion Pro SPORT, UltraMotion Pro FAST), що використовуються в програмах науково-методичної підготовки спортсменів високої кваліфікації та для біомеханічного аналізу їх рухів за умов лабораторії. Тільки в окремих випадках (оцінка стрибків або дуже швидкісних рухів) застосовуються камери з частотами 1000 Гц та більше. По-четверте, у тих випадках, коли датчики розміщуються безпосередньо на спортсмені, дуже важливі їх розмір і вага, оскільки у високодинамічних умовах спортсмен повинен бути мінімально утиснений у свободі рухів [4; 8].

Вибір вимірювального обладнання визначається видом спорту (командний або індивідуальний, приміщенні або на відкритому повітрі) та особливостями спортивних рухів, які планується аналізувати. У командних видах спорту системи «захоплення руху» зазвичай використовують для відстеження положення, відстаней, швидкості та прискорення гравців, тоді як в індивідуальних видах спорту акцент робиться на аналізі техніки виконання рухів. Командні види спорту пов'язані з великими обсягами захоплення простору, при цьому точність вимірювань не така важлива, тому найбільш підходящими виявляються електромагнітні вимірювальні системи. Індивідуальні види спорту зазвичай вимагають вищої точності вимірювань, причому при невеликих обсягах захоплення перевагу віддають оптико-електронним вимірювальним системам, тоді як при великих обсягах, коли особлива увага приділяється кінематиці рухів, найкращими варіантами можуть виявитися інерційні сенсорні вимірювальні сис-

теми або безмаркерні оптико-електронні вимірювальні системи (варто враховувати, однак, що при використанні останніх може знадобитися розробка відповідного алгоритму). Найбільш проблематичним, у зв'язку з дефіцитом відповідних вимірювальних систем, виявляється проведення досліджень рухів, що виконуються у великих просторових обсягах та що вимагають високої точності аналізу (плавання, ковзанярський спорт, веслування, легка атлетика) [19].

Сучасні технології дають змогу проводити дослідження біомеханіки рухів, адаптовані до найрізноманітніших умов, наприклад, басейні: деякі системи здатні реєструвати рухи плавця як у повітрі, так і під водою одночасно; для цього використовують різні аксесуари, спеціально призначені для підводного плавання, як-от водонепроникні корпуси та опори з присосками для кріплення камер до стін басейну.

Правильно вибрані системи «захоплення рухів» та методики обстежень незамінні у спорті вищих досягнень, оскільки дають змогу визначити оптимальний руховий стереотип локомоцій та коригувати помилки; допомагають добирати ефективні засоби технічної підготовки спортсменів та розробляти нові тренувальні методики; фіксувати й наочно демонструвати мінімальні, візуально не визначені результати тренувань. Аналіз біомеханічних характеристик локомоцій спортсменів важливий також із позицій профілактики спортивного травматизму.

Можливості біомеханічного аналізу рухів у вивченні механізмів виникнення травм у спортсменів та умов повернення в спорт. Одним із найважливіших завдань спортивної медицини є з'ясування механізмів та запобігання спортивному травматизму, на частку якого припадає близько 2–7% всіх травм. Найчастіше для швидкого досягнення високих спортивних результатів на етапі тренування спортсмени піддають себе значним фізичним навантаженням, що згубно впливає на їхній опорно-руховий апарат; травми різного ступеня тяжкості можуть виникати і під час змагань на тлі вираженого навантаження [8].

Біомеханічний аналіз рухів у будь-якому виді спорту дає змогу запобігти ситуації, які можуть бути причиною настання травми, допомагають обчислити силу, що додається при виконанні вправ, витрачену роботу, кут переміщення, швидкість та прискорення. Методики захоплення руху використовують у таких видах спорту, як теніс, гімнастика, гольф, веслування, гірські та бігові лижі, сноуборд, бадмінтон, волейбол, крикет, регбі, бейсбол, теніс, футбол, хокей, важка та легка атлетика.

Наприклад, у роботі С.-Л. Hung показано, що в бадмінтонному спорті, який вимагає швидких

поворотів та стрибків, а також рухів зі швидкою зміною напрямків, більшість травм відбувається в суглобах нижніх кінцівок спортсменів. Для вивчення кінематичних та кінетичних параметрів рухів ніг під час гри використано систему відеозахоплення рухів Vicon Motion (300 Гц) та силову платформу Kistler. У результаті досліджень виявлено, що максимально виражений крутний момент у гомілковостопному та тазостегновому суглобах спостерігався в момент удару ракеткою по волану. Тому для запобігання травмуванню під час удару по волану бадмінтоністів варто навчати швидко змінювати обсяг рухів у нижніх суглобах кінцівок. Із цією метою розроблено безліч спеціальних навчальних прийомів [9].

У тенісному спорті основні травмувальні навантаження припадають на руку, у якій перебуває ракетка, і на нижні кінцівки. При подачі плече та лікоть руки, яка подає, одночасно рухаються в бік м'яча, потім продовжують рух лікоть і зап'ястя. У разі плоскої подачі гравець докладає всіх своїх сил на переміщення ракетки в прямому напрямі. При крученій подачі гравець намагається точно розрахувати рух ракетки для надавання м'ячу необхідного обертання. Використавши метод безмаркерного «захоплення руху», A. L. Sheets та колеги вивчили відмінності в кінематиці рухів руки при виконанні плоскої, ударної та крученої подачі. Результати показали, що при крученій подачі вплив на м'язи плечового суглоба виявляється більш значним, ніж при двох інших подачах, тому є більш високий ризик травмування верхньої кінцівки.

M. Pawlyta [20] за допомогою оптико-електронної вимірювальної системи оцінювали кінематику тазостегнового суглоба та навантаження на нього у 8 професійних праворуких тенісистів при ударах ракеткою, що виконуються правою рукою в трьох стійках форхенд (коли рука звернена до м'яча долонною поверхнею): атакуючій нейтральній, атакуючій відкритій та захисній відкритій. Вимірювалися кути згинання-розгинання, відведення-приведення та внутрішньої-зовнішньої ротації в тазостегновому суглобі, розраховувалися також силові показники. Автори продемонстрували, що найбільше навантаження на тазостегновий суглоб (відповідно, потенційно збільшуючи ризик травмування) має захисна стійка. Це дослідження має клінічну значущість: тренери та лікарі повинні попереджати спортсменів, які раніше відчували біль у стегні або отримували травми, про необхідність використання більш агресивного стилю гри та уникнення захисної стійки, під час якої рухи стегна та навантаження на тазостегновий суглоб екстремальні.

H. Carson зі співавторами в лабораторних умовах методом «захоплення руху» досліджу-

вали рухи в колінних суглобах у 10 професійних гравців у гольф, який виконував удари, стоячи на динамометричних платформах. Продемонстровано, що в момент удару кльочкою різко зростають моменти сил м'язової тяги в колінному суглобі провідної ноги, що може сприяти хронічним травмам коліна або посилювати наявні стани в професійних гравців [20].

У професійних гравців регбі метод «захоплення руху» дав змогу вивчити механізм травми підколінного сухожилля. Біомеханічний аналіз 17 випадків гострих травм показав, що, мабуть, фундаментальною характеристикою механізмів гострою травматизацією підколінного сухожилля в регбі є згинання тулуба з одночасним активним розгинанням ноги в колінному суглобі, оскільки 76% випадків розтягувань сухожилля відбувалося саме в таких ситуаціях. У роботі С. Montgomery та колег на підставі результатів відеоаналізу досліджено механізми пошкодження передньої хрестоподібної зв'язки колінного суглоба в гравців регбі.

Професійні спортсмени часто схильні до таких травм, як розрив ахіллового сухожилля. Ця травма вимагає тривалого процесу відновлення без гарантії повернення до стану травми. Аналіз руху може дати інформацію про причини розриву сухожилля, щоб зрозуміти й запобігти таким ушкодженням.

Біомеханічний аналіз рухів дає змогу оцінити роль допоміжних пристроїв для профілактики спортивних травм. Так, S. Wilson та співавтори вивчали, як кантинг за допомогою невеликих бічних клинів, вставлених під лижні черевики, може впливати на кінематику / кінетику, баланс і напругу м'язів нижніх кінцівок у лижників-аматорів гірськолижного спорту. Кінематичні та кінетичні показники, постуральний контроль і м'язова активність оцінювалися в лабораторних умовах за допомогою оптико-електронної вимірювальної системи, динамометричних платформ та електроміографії. Продемонстровано, що косі клини на медіальній стороні стопи значно зменшували вальгусні моменти в колінному суглобі, внутрішню ротацію стегна та приведення стегна; медіальний кантинг покращував також постуральний контроль та знижував рівень активації м'язів гомілки, що, на думку дослідників, може запобігати надлишковим м'язовим зусиллям і травмам нижніх кінцівок у гірськолижників [11].

Для профілактики спортивного травматизму необхідно пам'ятати і про характеристики штучних покриттів майданчиків, на яких проводяться тренування та змагання. Наприклад, у роботі J. Vosanegra та колег вивчався вплив синтетичних поверхонь з високим коефіцієнтом тертя порівняно з натуральними спортивними покриттями та низьким коефіцієнтом тертя на біомеханіку гоміл-

ковостопного суглоба під час бокового стрибка при грі в мініфутбол. Система захоплення руху з 18 камерами реєструвала положення, швидкість і момент сил гомілковостопного суглоба. Сила тертя обчислювалася за піковим співвідношенням горизонтальної та вертикальної сили реакції опори під час стояння. За результатами дослідження зроблено висновок про те, що покриття для підлоги для мініфутболу повинне мати достатній коефіцієнт тертя для маневреності та запобігання ризику послизнутися й отримати травму гомілковостопного суглоба.

Аналіз біомеханіки рухів створює також широкі можливості у встановленні механізмів відновлення спортивної майстерності після перенесених оперативних втручань.

Висновки. Важливість статті полягає в тому, що в ній дано узагальнене поняття про біомеханіку спорту та якості організму, оскільки біомеханіка спорту відіграє важливу роль у розвитку спортивної науки й допомагає покращити якість тренувань, запобігти травмам та оптимізувати спортивні результати. У межах біомеханіки спорту досліджено такі аспекти спортивних рухів: механізми рухів, фізичні засади рухів, ефективність рухів,

вплив рухів на спортивні результати. Аналіз біомеханіки рухів спортсменів може допомогти виявити фактори, які обмежують їх ефективність та можуть бути пов'язані з технікою виконання рухів, фізичними можливостями спортсмена. Також у статті досліджено технології біомеханічного дослідження локомоцій організму людини. Технології «захоплення руху» у спорті мають значні перспективи, оскільки дають змогу своєчасно отримувати комплексну інформацію про фізичний стан спортсмена та особливості його рухових стереотипів. Аналіз одержуваної інформації дає змогу покращувати організацію тренувального процесу для підвищення спортивних результатів, аналізувати механізми виникнення спортивних травм з метою їх запобігання, оцінювати результати відновного лікування та визначати критерії допуску до спортивних занять після перенесених травм та реконструктивних операцій. Представлено вибір систем біомеханічного аналізу рухів для підвищення спортивної майстерності спортсменів у різних видах спорту, оскільки аналіз біомеханіки рухів дає також широкі можливості у встановленні механізмів відновлення спортивної майстерності після перенесених оперативних втручань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лапутін А. Н. Біомеханіка фізичних вправ. Київ : Радянська школа, 1986. 586 с. URL: <https://reposit.upi-sport.edu.ua/handle/787878787/2864>
2. Лапутін А. Н. Біомеханіка спорту. Київ : Олімпійська література, 2005. 353 с. URL: <https://reposit.upi-sport.edu.ua/handle/787878787/1133>
3. Беляєв В. П. Основні закони механіки: методичні вказівки для самостійної роботи студентів. ДДІФКіС, Дніпропетровськ, 2009. 33 с. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/34598/89196.pdf?sequence=2>
4. Al-Amri M., Nicholas K., Button K., Sparkes V., Sheeran L., Davies J.L. Inertial measurement units for clinical movement analysis: reliability and concurrent validity. *Sensors*. 2018. Vol. 18, no. 3. Article no. 719. DOI: 10.3390/s18030719. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29495600/>
5. Saienko, V. G., & Michelman, S. V. (2010). Optimum parity of volumes of training loadings in the one-cyclic experimental period of preparation taekwondo athletes high qualification. *Pedagogics Psychology Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports*, 9, 81–84.
6. Суріков В. Є. Розрахунково-графічні роботи з біомеханіки спорту. Дніпро: Придніпровська державна академія фізичної культури і спорту, 2017. 61 с. URL: <http://infiz.dp.ua/misc-documents/reposit/ZO-A1/A1-0000-14-L1-18.pdf>
7. Суріков В. Є. Рішення задач з біомеханіки. Дніпро: Придніпровська державна академія фізичної культури і спорту, 2017. 63 с. URL: <http://sport.mdu.edu.ua/fks/wp-content/uploads/2018/03/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97-%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0-3%D1%84%D0%B2.pdf>
8. Adesida Y., Papi E., McGregor A.H. Exploring the role of wearable technology in sport kinematics and kinetics: a systematic review. *Sensors (Basel)*. 2019. Vol. 19, no. 7. Article no. 1597. DOI: 10.3390/s19071597 URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/7/1597>
9. Ardakani M. K., Wikstrom E. A., Minoonejad H., Rajabi R., Sharifnezhad A. Hop-stabilization training and landing biomechanics in athletes with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *J. Athl. Train.* 2019. Vol. 54. P. 1296–1303. DOI: 10.4085/1062-6050-550-17 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31618073/>
10. Bernardina G. R. D., Cerveri P., Barros R. M. L., Marins J. C. B., Silvatti A. P. Action sport cameras as an instrument to perform a 3D underwater motion analysis. *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11. Article no. e0160490. DOI: 10.1371/journal.pone.0160490 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0160490>

11. Blair S., Duthie G., Robertson S., Hopkins W., Ball K. Concurrent validation of an inertial measurement system to quantify kicking biomechanics in four football codes. *J. Biomech.* 2018. Vol. 73. P. 24–32. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.03.031 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29602475/>
12. Camomilla V., Bergamini E., Fantozzi S., Vannozzi G. Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation: a systematic review. *Sensors (Basel)*. 2018. Vol. 18, no. 3. Article no. 873. DOI: 10.3390/s18030873 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29543747/>
13. Chakraborty S., Nandy A., Yamaguchi T., Bonnet V., Venture G. Accuracy of image data stream of a markerless motion capture system in determining the local dynamic stability and joint kinematics of human gait // *J. Biomech.* 2020. Vol. 104. Article no. 109718. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2020.109718. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021929020301342>
14. Corazza S., Mündermann L., Gambaretto E., Ferrigno G., Andriacchi T. P. Markerless motion capture through visual hull, articulated icp and subject specific model generation. *International Journal of Computer Vision*. 2010. Vol. 87, no. 1. P. 156–169. DOI: 10.1007/s11263-009-0284 URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Markerless-Motion-Capture-through-Visual-Hull,-ICP-Corazza-M%C3%BCndermann/083833cefdb4ac12b62e5beec37d306f813c2bcb>
15. Duffield R., Reid M., Baker J.D., Spratford W. Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010. Vol. 13, no. 5. P. 523–525. DOI: 10.1016/j.jsams.2009.07.003. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19853507/>
16. Gronwald T., Klein C., Hoenig T., Pietzonka M., Bloch H., Edouard P., Hollander K. Hamstring injury patterns in professional male football (soccer): a systematic video analysis of 52 cases. *Br. J. Sports Med.* 2022. Vol. 56, no. 3. P. 165–171. DOI: 10.1136/bjsports-2021-104769 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34876406/>
17. Szczesna A., Błaszczyszyn M., Pawlyta M. Optical motion capture dataset of selected techniques in beginner and advanced Kyokushin karate athletes. *Sci. Data*. 2021. Vol. 8, no. 1. P. 13. DOI: 10.1038/s41597-021-00801-5 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33462240/>
18. Trasolini N. A., Nicholson K. F., Mylott J., Bullock G. S., Hulburt T. C., Waterman B. R. Biomechanical analysis of the throwing athlete and its impact on return to sport. *Arthrosc Sports Med. Rehabil.* 2022. Vol. 4, no. 1. P. e83–e91. DOI: 10.1016/j.asmr.2021.09.027 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35141540/>
19. Maksymchuk, B., Pohrebniak, D., Roshchin, I., Drachuk, A., Romanenko, V., Ovcharuk, V., Ovcharuk, V., & Maksymchuk, I. (2022). Effective Decision-Making for Extreme Situations in Sports Coaching. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 14 (3), 510–521. URL: <https://doi.org/10.18662/rrem/14.3/623>
20. Palamarchuk, O., Gurevych, R., Maksymchuk, B., Gerasymova, I., Fushtey, O., Logutina, N., Kalashnik, N., Kyliyvyk, A., Haba, I., Matviichuk, T., Solovyov, V., & Maksymchuk, I. (2020). Studying Innovation as the Factor in Professional Self-Development of Specialists in Physical Education and Sport. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 12(4), 118–136. URL: <https://doi.org/10.18662/rrem/12.4/337>

REFERENCES

1. Laputin A. N. (1986). *Biomekhanika fizychnykh vprav [Biomechanics of exercise]*. Kyiv: Radianska shkola. URL: <https://reposit.uni-sport.edu.ua/handle/787878787/2864>
2. Laputin A. N. (2005). *Biomekhanika sportu [Biomechanics of sports]*. Kyiv: Olimpiiska literatura. URL: <https://reposit.uni-sport.edu.ua/handle/787878787/1133>
3. Beliaiev V. P. (2009). *Osnovni zakony mekhaniky [Basic laws of mechanics]: metodychni vkazivky dlia samostiinoi roboty studentiv. DDIFKiS, Dnipropetrovsk*. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/34598/89196.pdf?sequence=2>
4. Al-Amri M., Nicholas K., Button K., Sparkes V., Sheeran L., Davies J.L. (2018). Inertial measurement units for clinical movement analysis: reliability and concurrent validity. *Sensors*. Vol. 18, no. 3. Article no. 719. DOI: 10.3390/s18030719. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29495600/>
5. Saienko, V. G., & Michelman, S. V. (2010). Optimum parity of volumes of training loadings in the one-cyclic experimental period of preparation taekwondo athletes high qualification. *Pedagogics Psychology Medical-Biological Problems of Physical Training and Sports*, 9, 81–84.
6. Surikov V. Ye. (2017). *Rozrakhunkovo-hrafichni roboty z biomekhaniky sportu [Calculation and graphic works on biomechanics of sports]*. Dnipro: Prydniprovska derzhavna akademiia fizychnoi kultury i sportu. URL: <http://infiz.dp.ua/misc-documents/repozit/ZO-A1/A1-0000-14-L1-18.pdf>
7. Surikov V. Ye. (2017). *Rishennia zadach z biomekhaniky [Solving problems in biomechanics]*. Dnipro: Prydniprovska derzhavna akademiia fizychnoi kultury i sport. URL: <http://sport.mdu.edu.ua/fks/>

wp-content/uploads/2018/03/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97-%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0-3%D1%84%D0%B2.pdf

8. Adesida Y., Papi E., McGregor A.H. (2019). Exploring the role of wearable technology in sport kinematics and kinetics: a systematic review. *Sensors (Basel)*. Vol. 19, no. 7. Article no. 1597. DOI: 10.3390/s19071597 URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/7/1597>
9. Ardakani M. K., Wikstrom E. A., Minoonejad H., Rajabi R., Sharifnezhad A. (2019). Hop-stabilization training and landing biomechanics in athletes with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *J. Athl. Train.* Vol. 54. P. 1296–1303. DOI: 10.4085/1062-6050-550-17 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31618073/>
10. Bernardina G. R. D., Cerveri P., Barros R. M. L., Marins J. C. B., Silvatti A. P. (2016). Action sport cameras as an instrument to perform a 3D underwater motion analysis. *PLoS ONE*. Vol. 11. Article no. e0160490. DOI: 10.1371/journal.pone.0160490 URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0160490>
11. Blair S., Duthie G., Robertson S., Hopkins W., Ball K. (2018). Concurrent validation of an inertial measurement system to quantify kicking biomechanics in four football codes. *J. Biomech.* Vol. 73. P. 24–32. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.03.031 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29602475/>
12. Camomilla V., Bergamini E., Fantozzi S., Vannozzi G. (2018). Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation: a systematic review. *Sensors (Basel)*. Vol. 18, no. 3. Article no. 873. DOI: 10.3390/s18030873. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29543747/>
13. Chakraborty S., Nandy A., Yamaguchi T., Bonnet V., Venture G. (2020). Accuracy of image data stream of a markerless motion capture system in determining the local dynamic stability and joint kinematics of human gait. *J. Biomech.* Vol. 104. Article no. 109718. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2020.109718. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021929020301342>
14. Corazza S., Mündermann L., Gambaretto E., Ferrigno G., Andriacchi T. P. (2010). Markerless motion capture through visual hull, articulated icp and subject specific model generation. *International Journal of Computer Vision*. Vol. 87, no. 1. P. 156–169. DOI: 10.1007/s11263-009-0284 URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Markerless-Motion-Capture-through-Visual-Hull,-ICP-Corazza-M%C3%BCndermann/083833cefdb4ac12b62e5beec37d306f813c2bcb>
15. Duffield R., Reid M., Baker J.D., Spratford W. (2010). Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*. Vol. 13, no. 5. P. 523–525. DOI: 10.1016/j.jsams.2009.07.003. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19853507/>
16. Gronwald T., Klein C., Hoenig T., Pietzonka M., Bloch H., Edouard P., Hollander K. (2022). Hamstring injury patterns in professional male football (soccer): a systematic video analysis of 52 cases. *Br. J. Sports Med.* Vol. 56, no. 3. P. 165–171. DOI: 10.1136/bjsports-2021-104769 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34876406/>
17. Szczęśna A., Błaszczyszyn M., Pawlyta M. (2021). Optical motion capture dataset of selected techniques in beginner and advanced Kyokushin karate athletes. *Sci. Data*. Vol. 8, no. 1. P. 13. DOI: 10.1038/s41597-021-00801-5 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33462240/>
18. Trasolini N. A., Nicholson K. F., Mylott J., Bullock G. S., Hulburt T. C., Waterman B. R. (2022). Biomechanical analysis of the throwing athlete and its impact on return to sport. *Arthrosc Sports Med. Rehabil.* Vol. 4, no. 1. P. e83–e91. DOI: 10.1016/j.asmr.2021.09.027 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35141540/>
19. Maksymchuk, B., Pohrebniak, D., Roshchin, I., Drachuk, A., Romanenko, V., Ovcharuk, V., Ovcharuk, V., & Maksymchuk, I. (2022). Effective Decision-Making for Extreme Situations in Sports Coaching. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 14 (3), 510–521. URL: <https://doi.org/10.18662/rrem/14.3/623>
20. Palamarchuk, O., Gurevych, R., Maksymchuk, B., Gerasymova, I., Fushtey, O., Logutina, N., Kalashnik, N., Kyliyvyk, A., Haba, I., Matviichuk, T., Solovyov, V., & Maksymchuk, I. (2020). Studying Innovation as the Factor in Professional Self-Development of Specialists in Physical Education and Sport. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 12(4), 118–136. URL: <https://doi.org/10.18662/rrem/12.4/337>