

***Aktualne zagadnienia
pedagogiki, kultury fizycznej
i bezpieczeństwa***

Monografia

***Актуальні питання
педагогіки, фізичної культури
та безпеки***

Монографія

Redakcja naukowa (Наукове редагування)

Nataliia Tsyhanovska (Наталія Цигановська)

Dariusz W. Skalski (Даріуш В. Скальські)

Halyna Kondratska (Галина Кондрацька)



**Starogard Gdański - Charków - Drohobycz
Старогард Гданський - Харків - Дрогобич
2024**

ROZDZIAŁ NAUKOWY (НАУКОВИЙ РОЗДІЛ) 5

**Досвід застосування на практичних заняттях
з біомеханіки для студентів польських закладів
вищої освіти сучасних методик біомеханічного аналізу**

**Application experience at practical lessons
on biomechanics for students of polish institutions of
higher education modern methods of biomechanic analysis**

**Олег Рибак¹, Даріуш В. Скальські^{1,2},
Людмила Рибак¹, Наталія Цигановська³**

¹Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського, м. Львів, Україна

²Академія фізичного виховання та спорт ім. Єнджея Снядецького, м. Гданськ, Польща

³Харківська державна академія культури, м. Харків, Україна

Анотація

Метою нашого дослідження обрано аналіз застосування на практичних заняттях з біомеханіки для студентів польських закладів вищої освіти сучасних інструментальних методик біомеханічного аналізу рухової діяльності, що дало б змогу перейняти цей передовий досвід для його впровадження у навчальний процес з біомеханіки студентів в Україні. Для цього насамперед вивчено історію розвитку, напрямки наукових досліджень, основні здобутки, і персоналії кафедр біомеханіки Академії фізичного виховання імені Польських Олімпійців у Вроцлаві, Академії фізичного виховання і спорту імені Єнджея Снядецького у Гданську, Гданської Політехніки й університету в Єленій Гурі, а також Національного університету фізичного виховання і спорту України та Львівського державного університету фізичної культури імені Івана Боберського. Проаналізовано силабуси, навчальні плани і програми з біомеханіки студентів зазначених закладів, а також оснащення їх

кафедр сучасною апаратурою й устаткуванням для біомеханічного аналізу рухової діяльності, та особливості його застосування на практичних заняттях студентів з біомеханіки.

Результати дослідження показали, що науково-дидактичний потенціал кафедр біомеханіки польських та українських закладів вищої освіти істотно не відрізняється, тому можна сподіватись на досягнення однаково високого рівня підготовки студентів обох країн. Матеріально-технічне оснащення кафедр українських закладів істотно поступається оснащенню польських, тому для досягнення належного рівня викладання біомеханіки їм необхідно придбати тензометричні платформи, електроміографи й комплекси типу Noraxon MyoMotion, а також розробити відповідні стенди для вимірювання моментів м'язових сил у різних суглобах. Натомість польським кафедрам доцільно розширити тематику практичних занять завданнями з самостійного виготовлення, розкадрування, оцифрування відеограм з подальшим розрахунком кінематичних характеристик зареєстрованих рухових дій, а також дослідження динамічних параметрів стрибка у довжину з місця й оцінювання рівня розвитку спеціальних якостей та відчуттів. Наявне у Польщі сучасне обладнання для біомеханічного аналізу рухової діяльності можна залучити до спільних міжнародних студентських проєктів, а результати реєстрації польськими студентами окремих параметрів рухової діяльності, які на даний час неможливо отримати в Україні з-за відсутності відповідного обладнання, використовувати на практичних заняттях нашими студентами. Актуальною видається ініціатива організації щорічних міжнародних конференцій з питань обміну передовим досвідом стосовно удосконалення практичної підготовки студентів з біомеханіки, а також залучення до подальших досліджень цієї проблеми ширшого кола навчальних закладів Польщі, України та інших країн.

Ключові слова: біомеханічний аналіз, сучасні методики, практичні заняття, студенти, Польща

Abstract

The purpose of our research was to analyze the use of modern instrumental methods of biomechanical analysis of motor activity in practical classes on biomechanics for students of Polish higher education institutions, which would make it possible to adopt this best practice for its implementation in the

educational process of biomechanics of students in Ukraine. For this, first of all, the history of development, directions of scientific research, main achievements, and personnel of the biomechanics departments of the Academy of Physical Education named after the Polish Olympians in Wrocław, the Academy of Physical Education and Sports named after Jędrzej Sniadecki in Gdańsk, the Gdańsk Polytechnic and University in Jelenia Góra, as well as the National University were studied of Physical Education and Sports of Ukraine and Lviv State University of Physical Culture named after Ivan Bobersky. The syllabi, study plans and biomechanics programs of the students of the mentioned institutions were analyzed, as well as the equipment of their departments with modern apparatus and equipment for the biomechanical analysis of motor activity, and the peculiarities of its application in the practical classes of biomechanics students.

The results of the study showed that the scientific and didactic potential of the biomechanics departments of Polish and Ukrainian institutions of higher education does not differ significantly, so we can hope for the achievement of an equally high level of training of students from both countries. The material and technical equipment of the departments of Ukrainian institutions is significantly inferior to the equipment of Polish ones, therefore, in order to achieve the appropriate level of teaching biomechanics, they need to purchase strain gauge platforms, electromyographs and Noraxon MyoMotion complexes, as well as develop appropriate stands for measuring the moments of muscle forces in various joints. Instead, it is advisable for Polish departments to expand the subject of practical classes with tasks on independent production, storyboarding, digitization of videograms with further calculation of kinematic characteristics of registered motor actions, as well as research of dynamic parameters of standing long jump and assessment of the level of development of special qualities and sensations. Modern equipment for biomechanical analysis of motor activity available in Poland can be involved in joint international student projects, and the results of registration by Polish students of individual parameters of motor activity, which are currently impossible to obtain in Ukraine due to the lack of appropriate equipment, can be used in practical classes by our students. The initiative to organize annual international conferences on the exchange of best practices regarding the improvement of practical training of students in biomechanics, as well as the involvement of a wider range of educational institutions in Poland, Ukraine and other countries in further research of this problem, seems to be relevant.

Keywords: biomechanical analysis, modern methods, practical classes, students, Poland

Вступ

Процес євроінтеграції України передбачає уніфікацію підготовки студентів у закладах вищої освіти (далі – ЗВО) до міжнародних стандартів [24]. Надмірна теоретизація навчальних дисциплін і зменшення годин на практичні й лабораторні заняття, чи переведення їх на дистанційну форму навчання, не дає змоги майбутнім випускникам надійно оволодіти навичками застосування у своїй майбутній професійній діяльності сучасних інструментальних методик. Не винятком є удосконалення підготовки фахівців галузі фізичної культури і спорту, фізіотерапії, ерготерапії, фізичної реабілітації, біоінженерії тощо. Оволодіння основами біомеханічного аналізу, необхідного для об'єктивного оцінювання й підвищення ефективності виконання рухової діяльності на заняттях з фізичного виховання, у спорті, на виробництві, у збройних силах і в підрозділах спеціального призначення тощо вимагає впевненого володіння майбутніми фахівцями навичок практичного застосування сучасних інструментальних методик такого аналізу й останніх досягнень біомеханічної науки [1; 3; 8; 14]. Тому вивчення в умовах наукового стажування, поєднаного з циклом проведення лекційних і практичних занять в ролі викладача-стажера, передового досвіду застосування на практичних заняттях з біомеханіки сучасних методик біомеханічного аналізу на прикладі польських ЗВО є важливим науково-практичним завданням, вирішення якого дасть змогу впровадити відповідні зміни у навчальний процес українських студентів, істотно підвищивши рівень їхньої професійно-прикладної підготовленості [24].

Матеріали і методи

Відомості і матеріали стосовно організації навчального процесу з біомеханіки у польських ЗВО було отримано під час

стажування за індивідуальною програмою на кафедрі біомеханіки Вроцлавської академії фізичного виховання з 15 по 27 жовтня 2014 р. стажування там же за програмою Erasmus+ Zero grand з 22 квітня до 06 травня 2019 р.; в Академії фізичного виховання і спорту імені Єнджея Снядецького в Гданську під час наукового стажування у Польському науковому Товаристві в Грудзьонцу, поєднаного з циклом проведення лекцій і практичних занять в статусі професора-стажера (змішана форма стажування, з 12 січня по 15 березня 2024 р.), а також під час розробки й уточнення проекту і підписання угоди про співпрацю між Львівським державним університетом фізичної культури імені Івана Боберського та Академією фізичного виховання і спорту імені Єнджея Снядецького в Гданську (з 11 по 15 жовтня 2021 р.).

Документальною й бібліографічною підставою до написання цієї статі обрано силабуси з біомеханіки [4] та біомеханіки спорту [5] Академії фізичного виховання і спорту імені Єнджея Снядецького в Гданську, біофізики [21] та біомеханіки [22] Гданської Політехніки, біомеханіки [27] Зельоногурського університету, а також посібник до виконання практичних занять з біомеханіки спорту для студентів Академії фізичного виховання імені Польських Олімпійців у Вроцлаві [20], посібник до виконання практичних завдань з біомеханіки С. В. Ердманна [9], підручники з біомеханіки авторів Т. Бобера та Є. Завадського [8], підручники з загальної біомеханіки [10], з біомеханічних підстав біомедичної інженерії [12] та з інженерії рухової реабілітації [14] С. Ердманна, підручник «Біомеханіка спорту і фізичних вправ» [18] Мак Гінніса та ін.

Під час опису історії викладання біомеханіки у ЗВО було використано матеріали авторів [1; 7; 13; 16], а також власний досвід роботи викладачем біомеханіки (з 1985 р.), доцентом (з 1996 р.) і професором біомеханіки (з 2013 р. по даний час) у Львівському державному університеті фізичної культури імені Івана Боберського, і навчання в аспірантурі тоді

Київського державного інституту фізичної культури (1986–1990 рр.).

Результати дослідження

Початки кафедри біомеханіки Вищої школи фізичного виховання у Вроцлаві сягають 1960-х років. Першим завідувачем кафедри був Тадеуш Марціняк (1961–1965), яку у 1966 році очолив його докторант Тадеуш Бобер. Упродовж 1972–1975 рр. кафедрою керував М. Голема, а з 1975 по 1981 рік – А. Качинський. З 1981 р. кафедра була переструктурована – в її склад увійшли відділи біомеханіки (зав. відділом – Т. Бобер) і біофізичних основ моторики (зав. відділом – С. Корнецькі). У 2002 році кафедру очолила А. Рутковська-Кухарська. На той час кафедра складалася з відділів біомеханіки (зав. відділу – Є. Завадзький), біофізики (зав. відділу – А. Семенський) та лабораторії біомеханічного аналізу (зав. лабораторії – Б. Петрашевський). З 2018 року кафедру біомеханіки очолює Богдан Петрашевський. У 2020 році кафедру реорганізовано у відділ біомеханіки, у якому працює шість самостійних наукових співробітників.

Частка біомеханіки в навчальних програмах поступово збільшувалась і, як наслідок, вона стала самостійною навчальною дисципліною. У 1983 р. на кафедрі видано власні навчальні програми й посібники, а в 2001 р. вийшов підручник Т. Бобера та Я. Завадського. Наукова лабораторія також була оснащена сучасним дослідницьким обладнанням для навчальних і наукових цілей.

Тематика наукових досліджень кафедри біомеханіки була зосереджена на дослідженнях спортивної техніки й критеріях її ефективності, на вимірюванні опорних реакцій під час відштовхування для стрибка й приземлення, на дослідженні координації рухів, процесу утримання рівноваги, на біомеханіці м'язів та використанні їх пружності для накопичення біопотенціальної енергії (динамометричні та електроміографічні тести). Створення сертифікованої лабораторії біомеханічного аналізу відкрило можливість

проведення комплексного аналізу за допомогою оптико-електронних систем. Співробітники відділу є авторами кількох патентів. Т. Бобер є співавтором приладів для перевірки координаційних здібностей і для вимірювання та реєстрації фізичних параметрів м'язів кінцівок людини, а Є. Завадзький – приладу для вимірювання рухових характеристик кінцівок у статиці та в динаміці. А. Дзюба розробив спеціальне сидло для іпотерапії пацієнтів з ДЦП. Сьогодні співробітники кафедри виконують такі наукові теми: «Координація електричної активності м'язів-антагоністів», «Вплив навантажень на біомеханічні характеристики опорно-рухового апарату людини», «Біомеханічні дослідження локомоцій осіб з різним рівнем рухливості», «Кінематичні параметри топ-спіну, оцінювання й диференціація ударів у настільному тенісі».

Трьом співробітникам кафедри (Т. Боберу, 1990; М. Големі, 1990; С. Корнецькому, 1993) присвоєно вчені звання професора, одинадцять захистили докторські дисертації. На кафедрі працюють три студентські наукові клуби: «Кангур» (керівник: А. Струзік), «Аксон» (керівник: А. Шпала) та «Кінезіс» (керівник: С. Вінярський).

Окремої уваги заслуговує плідна праця у Вроцлаві одних із творців сучасної польської школи біомеханіки – Т. Бобера та Є. Завадзького, за підручниками яких біомеханіки до тепер навчаються студенти. Тадеуша Бобера після закінчення ним магістратури Вищої школи фізичного виховання у Вроцлаві (зараз – Академія фізичного виховання імені Польських Олімпійців у Вроцлаві) у 1954 році запросили асистентом відділу анатомії, а з 1961 року – новоутвореного відділу біомеханіки, яким завідував його науковий керівник Тадеуш Марціняк. У 1963 році Т. Бобер захистив кандидатську дисертацію з фізичного виховання, а в 1973 році – докторську дисертацію з біомеханіки в Академії фізичного виховання Йозефа Пілсудського у Варшаві. З 1966 по 1974 і з 1980 по 2002 роки він очолював кафедру біомеханіки, з 1976 по 1980 р. працював директором Інституту спорту, упродовж 1981–1982

рр. – проректором з науки, а від 1990 до 1993 року – ректором Академії фізичного виховання у Вроцлаві. Окрім Вроцлавського університету, з 1974 по 1976 р. він був деканом факультету фізичного виховання Академії фізичного виховання і спорту в Гданську. У 1999 році Т. Боер став співзасновником Вищої школи фізіотерапії Анджея Чамари, очоливши її на посаді ректора (до 2001 р.), проте продовжував викладати біомеханіку на рідній кафедрі. До найважливіших досягнень Тадеуша Бобера належить організована у 1981 році спільно з проф. Богданом Чабанським Школа біомеханіки та навчання руху, яка трансформувалася в Школу біомеханіки, що функціонує до сьогодні. З 2002 року вона перетворилася на циклічну міжнародну конференцію з біомеханіки під патронатом Польського товариства біомеханіки. Поєднання біомеханіки з педагогічними аспектами методології навчання рухам було новаторським заходом у глобальному масштабі того часу.

Т. Боер – член Європейського коледжу спортивних наук, автор 118 публікацій і двох книг, за наукову діяльність нагороджений Лицарським хрестом Ордена Відродження Польщі та медаллю Комісії народної освіти. У 2012 році він отримав ступінь почесного доктора Академії фізичного виховання у Варшаві. У 2022 році у рідній Вроцлавській Академії відзначали його 90-річчя.

У семидесятих роках минулого століття у Гданську наукові шляхи Т. Бобера, який з 1974 по 1976 р. працював там деканом факультету фізичного виховання Академії фізичного виховання і спорту, перетнулися з іще одним з творців польської школи біомеханіки – Станіславом Влодзімежом Ердманном, який ще у 1971 році заснував при Гданському коледжі фізичного виховання першу лабораторію біомеханіки, на базі якої уже в Академії фізичного виховання і спорту утворено кафедру біомеханіки (зараз – відділення біомеханіки та інженерії кафедри здоров'я і природничих наук) [7].

Основні напрямки наукових досліджень лабораторії і кафедри біомеханіки стосувались морфології людини

(особливо геометрії мас-інерційних характеристик тіла), техніки і тактики спортивних локомоцій, кінезіології, біомеханіки м'язів та м'язових моментів у суглобах, образних методів дослідження руху, спортивної та біомедичної інженерії, а також біомеханіки в криміналістиці [13].

Сьогодні фахівці кафедри С. Ердманн, П. Ашенбреннер, Р. Урбаньскі, Д. Данцевіч-Носко та ін. продовжують розробляти важливу проблему антропології та біомеханіки, пов'язану з геометрією мас та інерцією тіла спортсменів, що істотно впливають на біомеханічні особливості рухової діяльності, оскільки вони обумовлюють величину опору рухові й плавучість, успішність подолання м'язами зовнішніх сил, довжину і частоту кроків, а також необхідні для ортопедичної хірургії. До окремих напрямків наукових досліджень належать розподіл швидкості руху по дистанції та споживання при цьому кисню у різних видах спорту, біомеханічні аспекти стрибків у висоту, окремі питання біомеханіки спортивних ігор (гандболу, футболу), легкоатлетичного бігу і ходьби, гірськолижного, спорту, лижних перегонів, бігу на ковзанах, плавання, веслування, туризму, а також розроблення експертних висновків для органів юстиції (судів, прокуратури, військ, поліції). На думку президента Міжнародного товариства біомеханіки спорту – професора Джуліана Хонга – С. В. Ердманн є одним з провідних біомеханіків світу.

У Київському державному інституті фізичної культури систематичне викладання біомеханіки почалося з 1960 року при кафедрі анатомії [1]. Продовжуючи традиції вітчизняних та зарубіжних анатомів-функціоналістів, з цього ж часу в Україні почалось проведення широкомасштабних біомеханічних досліджень. У 1969 році Анатолієм Лапутіним розроблено першу біомеханічну класифікацію опорно-рухового апарату людини й принципи його біомеханічного моделювання. У 1970 році в практику біомеханічного аналізу рухових дій введено соматичну систему координат тіла людини, а також створено біомеханічні моделі хребта, верхніх

і нижніх кінцівок. Для експериментальних досліджень вперше було застосовано розроблені А. М. Лапутіним та А. В. Чорнієм трикомпонентні інерційні акселерометри (праобраз сучасних давачів системи «Noxan»), а також багатокомпонентна гоніометрична вимірювальна система «екзоскелетон» (1972 р.) та інші вимірювальні комплекси. Завдяки підтримці співробітників лабораторії фахівцями Академії Наук України – академіками Б. Є. Патоном, В. М. Глушковим і В. М. Малиновським, з середини 70-х років почалася комп'ютеризація й застосування програмно-цільового підходу до біомеханічних досліджень, що дало змогу розробити автоматизовану систему управління спортивно-технічним навчанням та руховим удосконаленням (АСУ СТНРУ). Тоді А. М. Лапутіним та А. В. Поповим винайдено гравітаційний костюм для моделювання різних умов динамічних взаємодій тіла людини в процесі спортивного тренування.

У 1981 році в Київському державному університеті фізичної культури було засновано першу в Україні самостійну кафедру біомеханіки, яку очолив А. М. Лапутін, започатковано новий науковий напрямок – дидактичну біомеханіку. Викладачі й аспіранти кафедри В. В. Гамалій, А. А. Тесленко, Т. О. Хабінець, О. А. Архипов, М. О. Носко, А. А. Македон, О. Ю. Рибак, Б. А. Виноградський, В. О. Кашуба, В. О. Зубрилов, Т. А. Поліщук ті ін. досліджували біомеханіку різних видів спорту – легкої атлетики, велоспорту, лижних перегонів, гімнастики, волейболу, боротьби, стрільби з лука та кульової, художньої гімнастики тощо. Упродовж 1996–1997 рр. колектив кафедри працював за програмою українсько-американського проекту «ШАТЛ-97», пов'язаного з підготовкою українського космонавта Л. Каденюка до польоту на американському космічному кораблі «Шатл». За участь у зазначеній програмі Федерація космонавтики України нагородила А. М. Лапутіна і членів колективу почесними медалями ім. Ю. Кондратюка. На Міжнародному конкурсі фундаментальних наукових досліджень у галузі біомеханіки

професор Лапутін отримав індивідуальний грант Міжнародного фонду Сороса.

З середини 90-х років В. О. Кашуба започаткував новий напрямок вивчення рухових можливостей людини, пов'язаний з динамікою зміни геометрії її мас в онтогенезі, онтогенетичним розвитком рухової функції та зв'язком розподілу маси тіла з енергетикою організму.

Сьогодні у програму підготовки магістрів спеціалізації «біомеханіка спорту» у Національному університеті фізичного виховання і спорту України введено кінезіологію, динамічну анатомію, психомоторику, клінічну біомеханіку спорту, вікову біомеханіку, біомеханічний аналіз, біометрію, ергономічну біомеханіку, технічні засоби у реабілітації та рекреації, а також експлуатацію тренажерних систем.

Кафедру анатомії та біомеханіки у Львівському державному інституті фізичної культури утворено у далекому 1960 році (з 1982 р. – кафедра анатомії, біомеханіки і метрології), яку до 1992 р. очолював доктор медичних наук, професор М. А. Джафаров, всесвітньо відомий своїми науковими працями з динамічної анатомії, присвяченими зміні положення внутрішніх органів при виконанні фізичних (гімнастичних) вправ, і концепцією зміни форми тіла під впливом його функцій. Після приєднання циклу анатомії до кафедри фізіології біомеханіку викладали на кафедрі теорії спорту. У 2012 році утворено окрему кафедру інформатики та кінезіології (зав кафедрою – доктор технічних наук, професор І. Заневський).

Знаковою постаттю української біомеханіки є випускник Львівського державного інституту фізичної культури – всесвітньо відомий біомеханік, професор В. М. Заціорський (сьогодні – почесний професор кінезіології Університету штату Пенсільванія) – консультант із силової підготовки олімпійських команд колишнього Радянського Союзу, який підготував сотні спортсменів світового рівня. Він є автором або співавтором 15 книг і понад 350 наукових праць, виданих 14 мовами, почесним членом Міжнародної асоціації

спортивної кінетики, багаторічним членом медичної комісії Міжнародного олімпійського комітету.

У розпорядженні ЗВО Польщі, охоплених нашим дослідженням, наявний широкий перелік сучасних апаратурних методик для проведення біомеханічних досліджень на найвищому рівні, серед яких комплекси для оцінювання техніки рухової діяльності (система BTS), дослідження електричної активності м'язів (Octopus EMG system – для лабораторних умов, та Noraxon EMG system – для досліджень у природних умовах), установки для визначення суглобових моментів м'язових сил (BIODEX), для дослідження опорних реакцій, сили й потужності м'язів нижніх кінцівок (платформа Kistler).

Комплексна система аналізу руху BTS SMART (рис. 1.а) працює за технологією пасивних маркерів (рис. 1.б), що відбивають випромінювання інфрачервоного спектру (завдяки чому вона може використовуватися без обмежень до умов зовнішнього освітлення), і в поєднанні з динамометричними платформами, системами ЕМГ-аналізу та спеціальними камерами типу TVC IR або SMART DX для запису відео зображення (рис. 1.в) дає змогу комплексно оцінювати кінематичні й динамічні параметри, а також ЕМГ- сигнали під час виконання будь-яких рухових завдань.



Рис. 1. Комплексна система аналізу руху BTS SMART: а) – розташування камер та інших елементів системи; б) – пасивний маркер; в) – камера типу SMART DX.

Зареєстровані таким чином дані використовуються для оцінювання техніки виконання рухових дій у фізичному вихованні і спорті, а також у фізіотерапії та ерготерапії (стану опорно-рухового апарату пацієнта за виконаним руховим завданням (ходьба, стрибки тощо), ефективності оздоровлення (консервативне, оперативне, медикаментозне, ортопедичне забезпечення), визначення ступеня дисфункції на основі виконаного рухового завдання (ходьба, довільний рух), планування тактики лікування тощо. Перевагами системи є неінвазивність (світловідбивальні маркери наклеюють на шкіру пацієнта), точне та швидке калібрування, забезпечення точності й повторюваності тесту, універсальність (систему можна використовувати як в лабораторії, так і в залі), модульність (кожен елемент системи може працювати незалежно). Серед найважливіших параметрів систем BTS SMART-DX (від DX 100 до 7000) – висока роздільна здатність (від 640 x 480 до 2048 x 2048), частота (від 140 до 2000 Гц), точність за площею (менше від 0,2 мм для площі 2x2x2 м; < 0,3 мм (4x3x3 м); < 0,1 мм (4x3x3 м); < 0,1 мм (4x3x3 м); < 0,1 мм (6x6x3 м). Кількість маркерів у вимірюванні необмежена. Максимальна кількість камер на робочу станцію – від 4 до 16. TVS IR камери, залежно від їх призначення, можуть бути оснащені різними об'єктивами (від 4,5 до 8 мм – з фіксованою фокусною відстанню, і від 6 до 12 мм – зі змінним «зумом»).

Комплекс BTS SMART повністю інтегровано з такими периферійними модулями, як тензоплатформи виробництва фірм AMTI, Kistler, Bertec, BTS; системи ЕМГ (BTS, Noraxon), реабілітаційних бігових доріжок, системи відеозапису (BTS Vixta) тощо.

Блоком керування комплексу є сервер Dual-Core Intel® XEON® PCI-X, який взаємодіє з окремими модулями системи, включаючи мережу Ethernet. Сучасне та зручне програмне забезпечення, яке використовує принцип перетягування та скидання, дає змогу здійснювати широкий аналіз даних, отриманих під час запису. Дані представляються в режимі

реального часу, вони повністю реконструюються у форматі 3D з функцією автоматичного призначення маркерів згідно прийнятого протоколу. Є можливість відстежувати, візуалізувати та редагувати траєкторії руху окремих маркерів. Формати запису сумісні з C3D, ASCII і форматами, що використовуються Excel і Matlab. Отримані дані можливо порівнювати за допомогою стандартних протоколів ходи – Davies, Helen Hades, Saflo, Auscan – з нормативними даними. Універсальне програмне забезпечення SMART Analyzer дає змогу використовувати стандартні та створювати власні протоколи оцінювання трафіку. Програмне забезпечення SMART Analyzer полегшує синхронізацію отриманих даних і підготовку мультимедійного звіту про тестування, інтегрованого з записом відео, а комплексна система аналізу трафіку BTS Smart дає змогу синхронізувати, записувати й архівувати дані з тензоплатформ AMTI, Kistler, Bertec. Система BTS SMART може бути синхронізована з такими системами вимірювання сигналу BTS EMG, як BTS PocketEMG, BTS FreeEMG 300, а також з системами Noraxon EMG (Telemetry 2400 G2, Telemetry DTS).

Бездротовий вимірювальний комплекс Noraxon MyoMotion призначено для триплощинного оцінювання рухової діяльності людини за допомогою технології бездротової передачі даних від комплекту спеціальних давачів зміни кутів між сегментами тіла, їх орієнтації та лінійних прискорень, у яких поєднано акселерометр, гіроскоп і давач магнітного поля Землі (рис. 2.а), аксесуарів для їх кріплення на тілі людини, приймача радіосигналу з інтерфейсом, і ноутбука з відповідним програмним забезпеченням (рис. 2.б), що дає змогу записувати дані та їх всебічно аналізувати. Сигнал можна інтегрувати з системою Noraxon sEMG (MyoTrace 400, TeleMyo 2400, TeleMyo DTS, рис. 2.в), з платформами та пристроями Zebris FDM-S, FDM-1.5, FDM-2, FDM-3, FDM-T, устілками для взуття Medilogic, а також з іншими біомеханічними системами. Синхронізація відбувається на етапі програмування, тому додаткове злиття даних не

потрібне. Завдяки цьому автоматично синхронізуються записи та обробка даних ЕМГ, триплощинної відеореєстрації, тензосистеми для вимірювання розподілу тиску на опорну поверхню й опорних реакцій, а також від будь-яких інших зовнішніх пристроїв, які передають потоки аналогових сигналів.



Рис. 2. Бездротовий вимірювальний комплекс Noraxon MyoMotion: а) – давач Noraxon; б) – приймач радіосигналу з інтерфейсом та ноутбуком; в) – давачі для реєстрації ЕМГ.

Зазначений портативний комплекс може використовуватись як в лабораторії, так і в природних умовах. Точність запису зміни кутів становить $\pm 1^\circ$ – у статиці, й $\pm 2^\circ$ – в динаміці. Давачі автономно працюють до 8 годин, час повного заряджання акумуляторів – 3 години, частота дискретизації – від 100 до 200 Гц. Програмне забезпечення містить готові звіти для біомеханічного оцінювання ходи та інших рухових дій, діапазону рухів, аналізу їх повторюваності тощо.

Багатокомпонентну портативну тензометричну силову платформу Force Plate типу 9286A_000-158e-04.07 фірми Kistler Instrumente AG (рис. 3.а) розмірами 600x400x35 мм з межами вимірювання від 0 до 2,5 кН по осях X та Y, і від 0 до 10 кН по осі Z (максимальні перевантаження – 3,0, 3,0 і 12 кН відповідно) застосовують у біомеханіці з метою вимірювання сил реакції опори (рис. 3.б) і визначення положення центра

тиску. На відміну від традиційних платформ, що монтуються на спеціальній рамі, її можна використовувати безпосередньо на будь-якій плоскій поверхні. Це значно скорочує витрати на монтаж. Низька загальна висота платформи (35 мм) і маса (17,5 кг) забезпечують її зручне портативне використання. П'єзоелектричні трьохкомпонентні давачі сили мають дуже низький рівень перехресних перешкод, що забезпечує високу точність визначення положення центра тиску. Платформа типу 9286AA завдяки вбудованому підсилювачу заряду сумісна з усіма поширеними системами аналізу руху. Незважаючи на дуже широкий діапазон вимірювання, платформа забезпечує достатню точність і лінійність в усіх чотирьох діапазонах вимірювання, і має захист від перевантажень до 12 кН. Робочий момент застосування тензоплатформи для дослідження опорних реакцій під час стрибка у довжину з місця показано на рис. 3.в.

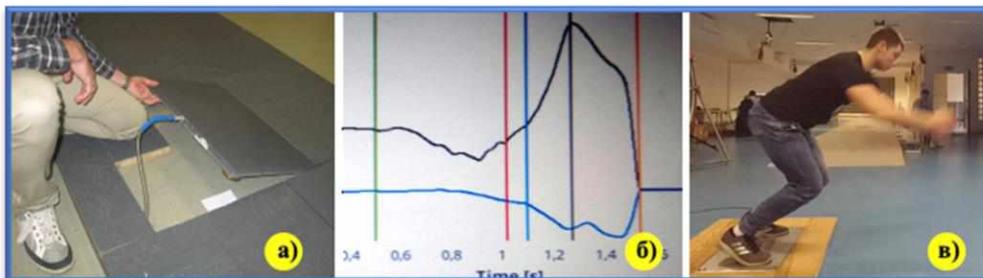


Рис. 3. Багатокомпонентна портативна тензометрична силова платформа Force Plate типу 9286A_000-158e-04.07 фірми Kistler Instrumente AG: а) – встановлення тензоплатформи; б) – тензодинамограма відштовхування від опорної поверхні під час стрибка у довжину з місця; в) – робочий момент реєстрації опорних реакцій стрибка.

Поряд з описаними вище вимірювальними комплексами на практичних заняттях з біомеханіки у польських ЗВО застосовують низку більш простих технічних пристроїв, серед яких стенд OPIW для дослідження моментів м'язових сил у колінних суглобах (рис. 4.а), лабораторна система реєстрації

показників ЕМГ Octopus (рис. 4.б), електрогоніометри (рис. 4.в), комплекс BIODEX SYSTEM 4 для визначення моментів м'язових сил у суглобах та фізіотерапії (рис. 4.г), ергометр для плавців SWIM-ERGO, комплекс для запису стартового відштовхування стрибка у воду, стабілографічна платформа AccuGait фірми AMTI, апарати Smart Jump для визначення потужності сили м'язів нижніх кінцівок, часу реакції та висоти стрибків вгору, Smart Speed System для вимірювання швидкості і прискорення пересування, цифрові відеокамери тощо. Для комп'ютерного біомеханічного аналізу відеозаписів у лабораторіях спеціальну програму аналізу руху Kinovea-0.9.5-x64 та SIMI-system.



Рис. 4. Стенд ОРІВ для дослідження моментів м'язових сил у колінних суглобах (а); система реєстрації показників ЕМГ Octopus (б); електрогоніометр (в); комплекс BIODEX SYSTEM 4 (г).

У Вроцлаві студенти в межах навчальної дисципліни «Біомеханіка» послідовно проходять курси «Фізика спорту» (для осіб з гуманітарною середньою освітою), «Вступ до аналізу рухів людини», «Біомеханіка спорту», а також «Електроміографія в біомеханіці». На лабораторних заняттях з біомеханіки студенти виконують три групи практичних завдань [20]:

- аналіз індивідуальної тензодинамограми вистрибування вгору (розрахунок масштабів сили і часу, тривалості фаз амортизації, відштовхування і польоту, імпульсу сили

відштовхування, швидкості вильоту ЦМТ, висоти польоту і роботи сил відштовхування);

- дослідження рівноваги тіла (за екскурсією ЦМТ на стабілоплатформі) стоячи на двох ногах, на одній нозі й на двох ногах із заплющеними очима;
- дослідження залежності моментів сил згиначів і розгиначів у колінних суглобах правої та лівої ноги при різних кутах у суглобах, співвідношення максимальної сили згиначів і розгиначів (H/Q), залежності зазначених моментів сил від часу (з визначенням градієнта сили) [19];
- дослідження взаємозв'язку між величиною моментів м'язових сил у суглобах та електричною активністю різних м'язових груп (за абсолютними й відносними амплітудами електроміограми) для десяти величин зовнішніх навантажень, що прогресивно зростають (при цьому обирають робочу позу, визначають відповідні групи м'язів, описують місця їх прикріплення до кісток, а також обирають місця встановлення електродів) [17].

Студенти-іноземці Академії фізичного виховання імені Польських Олімпійців у Вроцлаві, які навчаються англійською мовою, проходять індивідуальний курс біомеханіки, що передбачає ознайомлення з лінійною та кутовою кінематикою (основним описом поступального й обертового руху), лінійною та кутовою кінетикою (законами динаміки, енергією, роботою й потужністю, обертовими моментами сил), з експериментальними методами біомеханічного аналізу спортивної діяльності (методом візуалізації та аналізу руху (BTS), аналізу сили реакції опори за допомогою тензоплатформи Кістлера, оцінювання м'язової активності за допомогою електроміографії в лабораторії (система Octopus EMG) та в природних умовах (система Noraxon EMG). Завершується вивчення курсу біомеханіки виконанням практичного проекту – біомеханічного аналізу рухової діяльності в обраному виді спорту з використанням системи аналізу руху BTS і тензоплатформи Кістлера, або

з використанням системи аналізу руху BTS та системи Octopus EMG або Noraxon EMG.

На практичних заняттях з біомеханіки [4] студенти Академії фізичного виховання і спорту імені Єнджея Снядецького у Гданську досліджують геометрію тіла методом фотограмметрії [9; 15], визначають експериментально та розраховують положення ЦМТ [9], застосовують міодинамометрію для визначення й аналізу сили м'язів, оцінюють баланс тіла на підставі стабілографії, досліджують кінематику руху тіла за результатами відеограмметрії, а також виготовляють кінограми.

Заняття з біомеханіки спорту [5] передбачають виконання таких практичних завдань:

- розрахунок показників морфології тіла,
- дослідження сили м'язів у функції часу,
- оцінювання балансу тіла,
- біомеханічний аналіз рухової діяльності людини,
- вивчення біомеханічних маркерів спортивної селекції та добору,
- аналіз та оцінювання техніки обраних форм руху,
- застосування критеріїв індивідуальної та командної тактики.

Студенти університету в Зельоній Гурі [27] на практичних заняттях з біомеханіки визначають положення ЦМТ, а також моменти інерції частин тіла прямим і непрямим методами; вивчають засади використання тренажерів у спортивно-тренувальній та оздоровчій діяльності; експериментально визначають реакції опори та висоту вильоту ЦМТ під час стрибка чи виконання іншого спортивного прийому; розраховують роботу, енергію, потужність та імпульс сил при виконанні різних вправ, укладають і порівнюють діаграми топографії моментів м'язових сил в основних суглобах верхніх і нижніх кінцівок представників різних видів спорту; застосовують знання з біомеханіки для навчання обраним спортивним прийомам; оцінюють

ефективність спортивної техніки за матеріалами відеореєстрації; обґрунтовують критерії оцінювання ефективності техніки в обраних спортивних вправах; ознайомлюються з практичним застосуванням основ нервово-м'язової координації, рухових навичок, фаз навчання руховим діям тощо.

Майбутні випускники Гданської Політехніки, які навчаються за напрямом «біомедична інженерія», з метою отримання базових знань з біомеханіки руху, ходи, тканин і живих систем під час проходження курсу «Біомеханіка» [22] на лекціях знайомляться з такими питаннями, як площини тіла; напрямки руху; ЦМТ; геометрія мас тіла; момент та імпульс сили, поняття інерції; центральний момент інерції і теорема Штайнера; закон Гука; деформація, модуль Юнга. У результаті вивчення курсу студенти повинні вміти аналізувати підсистеми, з яких складаються системи рухів людини, явища, на яких базуються процеси в біомеханіці, а також розуміти фізичні процеси, на яких ґрунтується функціонування моторики людини, й ідентифікувати мас-інерційні характеристики її тіла та його частин. На практичних заняттях вони вчаться визначати положення ЦМТ, аналізувати поступальний та обертовий рухи живих систем, розраховувати моменти інерції тіла та його частин, а також практично застосовувати знання про кінематичні пари, рухливість кінематичних ланцюгів і структуру біомеханічних маніпуляторів у біомеханіці, про біомеханічні важелі, а також про біомеханічні показники м'язів. Тематика практичних занять з біомеханіки також стосується механічних властивостей (в'язкості, пружності) тканин тіла, їх анізотропії та проблем, пов'язаних з їх випробуваннями; біомеханіки кісток, адаптації кісткової тканини, моделювання феномену функціональної кісткової адаптації, переломів кісток; моделювання в біомеханіці, чисельних методів у моделюванні; біомеханічних аспектів нервової системи тощо. Лабораторні заняття з біомеханіки програмою не передбачено.

Натомість завданнями навчальної дисципліни «Біофізика» [21] є ознайомлення студентів з функціонуванням живих організмів у контексті фізичних явищ, з методами вимірювання обраних параметрів і спостереження за різними явищами, що відбуваються в живих системах, а також із законами фізики, хімії й термодинаміки, основними закономірностями в галузі термодинаміки, механіки рідини, хвильових явищ, геометричної та хвильової оптики. Студенти самостійно виконують низку експериментальних вимірювань та математичне оброблення отриманих результатів, застосовують методи комп'ютерного моделювання.

На лабораторних роботах студенти оцінюють акустичну просторову орієнтацію людини, визначають її поле зору, розподільну здатність людського ока, а також досліджують електрофоретичну рухливість і визначають дифузійний потенціал.

Дискусія

Аналіз історії, діяльності і персоналій кафедр та відділень біомеханіки Республіки Польщі й України, а також напрямків їх освітньо-наукової діяльності й наукових здобутків дає змогу стверджувати, що всі вони утворювались на початку шестидесятих років минулого століття, подібним чином розвивались і реорганізовувались, та на сьогоднішній день сформувалися, як міцні самостійні структурні одиниці своїх ЗВО з власними традиціями, високими науковими й дидактичними здобутками, сучасними навчальними програмами, належним матеріально-технічним і навчально-методичним забезпеченням, міцним професорсько-викладацьким складом висококваліфікованих фахівців. Польська й українська школи біомеханіки можуть гордитися своїми творцями – професорами Тадеушем Бобером, Станіславом Ердманном, Єжи Завадським – з одного боку, й Мамедом Джафаровим, Володимиром Заціорським, Анатолієм Лапутіним – з іншого. Їх справу гідно продовжують і примножують учні і послідовники: А. Рутковська-Кухарська,

А. Семенські, А. Дзюба-Слоніна, Б. Петрашевські, А. Шпала, С. Вінярські у Вроцлаві; П. Ашенбреннер, Р. Урбанські, Д. Данцевіч-Носко, Р. Ковальчик – у Гданську, а також А. Чорній, А. Попов, В. Гамалій, А. Тесленко, Т. Хабінець, О. Архипов, М. Носко, А. Македон, О. Рибак, Б. Виноградський, В. Кашуба, В. Зубрилов, Т. Поліщук та ін. – в Україні.

Це дає змогу сподіватись, що вивчення передового досвіду застосування на практичних заняттях з біомеханіки для студентів ЗВО обох країн сучасних методик біомеханічного аналізу рухової діяльності дасть змогу зі взаємною вигодою переймати такий досвід, удосконалювати навчальні плани й програми, впроваджувати у навчальний процес результати останніх наукових досліджень викладачів кафедр біомеханіки ЗВО обох країн, підвищивши цим якість і рівень підготовки студентів. Доцільним також видається започаткування науково-практичних міжнародних конференцій з тематики викладання біомеханіки із залученням фахівців і викладачів з ширшого кола закладів вищої і спеціальної освіти обох країн.

Аналіз навчальних планів і програм (силабусів) з біомеханіки охоплених нашим дослідженням польських ЗВО показує, що не всі наявні на кафедрах біомеханіки технічні засоби для біомеханічного аналізу заплановано застосовувати на практичних (лабораторних) заняттях студентів. З деякими із них студенти знайомляться лише теоретично на лекційних заняттях.

Так, система BTS SMART є дуже коштовним комплексом, застосування якого вимагає спеціально підготовлених висококваліфікованих фахівців з ґрунтовними інженерними й ІТ знаннями та навичками, а також великої кількості спеціальних маркерів, що відбивають світло певного діапазону, як одного з розхідних матеріалів. Тому застосування такого комплексу разом з тензоплатформами й системами реєстрації ЕМГ-сигналів заплановане лише для групи студентів-іноземців під час виконання ними завершального проекту курсу біомеханіки. Водночас, у своїй

практичній роботі переважна більшість випускників не матимуть змоги скористатись з такого чи подібних комплексів. Встановлення на тілі осіб, залучених до експериментального дослідження кінематики рухових дій здійснюється у спеціальних місцях на тілі, де кісткові елементи скелета виступають під шкіру, що обумовлює стабільність їх розташування відносно скелета при змінах пози, а обробка результатів дослідження здійснюється за спеціальною програмою, що використовує для їх порівняння за так званими стандартними протоколами (моделями Davies, Helen Hades, Saffo, Auscan). Сама методика по суті є лабораторною, так як передбачає спеціальну підготовку тіла залучених до експериментів осіб, що не дає змоги широко використовувати її в природних умовах.

Не маючи сьогодні у своєму розпорядженні аналогічних систем, в українських ЗВО студенти уже з першого лабораторного заняття з біомеханіки знайомляться з вимогами до організації об'єктивної реєстрації рухової діяльності в обраному виді спорту чи професійної діяльності, до яких зараховують систему відліку (тіло відліку й систему координат), добір площин знімання, кількості й розташування камер, відповідної частоти кадрів, а також добору мінімальної кількості розрахункових точок – точок на тілі людини та спорядженні, вивчення руху яких дасть змогу здійснити біомеханічний аналіз обраної рухової дії, порівнюючи отримані й розраховані ними біомеханічні характеристики з еталонними, зразковими чи нормативними [3]. Наступним етапом є самостійне виготовлення власними технічними засобами відеозапису, на якому зареєстровано обрану вправу чи рухове завдання. Цей матеріал використовується для виконання наступних завдань; він розкадрується й оцифровується, на підставі чого укладається біомеханічна схема вправи (рухового завдання), а після розрахунку масштабів простору і часу аналізуються траєкторії, розраховуються лінійні й кутові швидкості і прискорення руху окремих точок і сегментів тіла, які зображають у вигляді

кінематичних графіків і векторів, розраховується положення й рух ЦМТ, тривалість окремих фаз рухової дії та будуються хронограми. Набуті при цьому знання і практичні навички дають змогу випускникам самостійно здійснювати біомеханічний аналіз рухової діяльності своїх вихованців, учнів, спортсменів, клієнтів чи пацієнтів, об'єктивно виявляти помилки, неточності і викликані різними чинниками порушення техніки виконання рухових дій різного ступеня, використовуючи для цього доступну апаратуру. Це дає змогу цілеспрямовано навчати руховим діям, здійснювати технічну підготовку у фізичному вихованні і спорті, а також обирати оптимальні шляхи фізичної терапії, габілітації й реабілітації.

На відміну від аналізу опорних реакцій при виконанні стрибка у висоту з махом і без маху руками, що застосовується студентами польських ЗВО, в Україні при наявності тензоплатформи студенти аналізують стрибок у довжину з місця, що дає змогу визначати не лише вертикальну, а й горизонтальну складову опорної реакції, на підставі чого розраховують не тільки тривалість фаз амортизації, відштовхування і польоту, а й будують годографи опорної реакції, що демонструють зміну величини і напрямку опорної реакції в часі, а також порівнюють біомеханічні характеристики відштовхування від опори з показаним результатом між власними спробами, й із результатами інших студентів. Процес стрибка паралельно фіксують відеокамерою для порівняння результатів, отриманих двома методиками (наприклад, тривалості фаз, напрямку вильоту ЦМТ тощо). Якщо тензоплатформа на кафедрі відсутня, студенти обробляють тензодинамограми, надані викладачем (у Львові користуються тензодинамограмами й відеозаписами стрибків, які виконували студенти Академії фізичного виховання і спорту імені Єнджея Снядецького у Гданську в 2023 році).

У зв'язку з наявністю у львівському університеті лише одного міографа, який використовується для наукових досліджень аспірантів і докторантів, електроміографія на лабораторних заняттях з біомеханіки не проводиться.

Ураховуючи, що у багатьох видах спорту, професійної та військової діяльності дуже важливим є високий рівень розвитку спеціальних якостей та відчуттів [2; 23], у лабораторний практикум львівських студентів впроваджено лабораторні заняття з оцінювання рівня розвитку стереоскопічного (бінокулярного) зору на спеціальному стереометрі (рис. 5.а, б), кінестезійних відчуттів (за здатністю повторно відтворювати задану величину зусилля, натискаючи на тензометричну педаль (рис. 5.в) правою і лівою ногою, або рукою [3], властивостей уваги (здатності концентрувати й розподіляти увагу за тестом Поппелройтера), а також здатності оволодівати новими завданнями за тестом Раввена (або за комп'ютерною програмою тестування середнього часу, коефіцієнта варіації та кількості помилок нової для студентів реакції вибору).



Рис. 5. Стереометр (а, б) і тензометрична педаль (в) для оцінювання рівня розвитку стереоскопічного зору і кінестезійних відчуттів.

Найважливішим у розпорядженні кафедри біомеханіки у Вроцлаві дуже перспективний для практики бездротовий вимірювальний комплекс Noraxon MyoMotion, який на відміну від системи BTS SMART дає змогу оперативно отримувати біомеханічні характеристики рухової діяльності в природних

умовах, а також – завдяки простоті кріплення давачів на тілі людини й автономності системи – використовувати її не тільки для наукових досліджень, а й для технічного удосконалення спортсменів, військових, спецпризначенців, а також у фізіотерапії й ерготерапії та при дослідженні трудових процесів, на практичних заняттях студентів не використовується. Електроміографія на заняттях проводиться з використанням стаціонарної апаратури Ostopus, хоча дуже цікавими є результати електроміографії у природних умовах, які дає змогу отримувати зазначений комплекс.

Дослідження на практичних заняттях з біомеханіки моментів м'язових сил у різних суглобах людини, як функції кута в суглобі, часу й величини зовнішнього навантаження, з використанням комплексів BIODEx SYSTEM 4 та OPIW виявилось дуже цікавою і потрібною інструментальною методикою для біомеханічного аналізу, яку варто впровадити у навчальний процес українських студентів. Це саме стосується й упровадження в їхній навчальний процес з біомеханіки лабораторних занять з електроміографії. До завдань, присвячених обробці тензодинамограм треба додати розрахунок імпульсу сили відштовхування і висоти стрибка.

На жаль, при наявності на кафедрах опублікованих наукових розробок сучасних методик біомеханічного аналізу, які мають беззаперечне практичне значення для майбутніх фахівців – програмне забезпечення AC-4 для дослідження кінематики гравців на великій площі в 3D координатах як альтернатива комерційним програмам [6], безпілотний авіаційний комплекс, як новий пристрій для реєстрації переміщення об'єктів і біомеханічного аналізу [11], акселерометрична система для визначення жорсткості під час стрибкового завдання [25] чи методика заміни мехатронним громадянам, хворим на ішемічну хворобу серця, техніки ходи на скандинавську ходьбу [26], у практичні заняття з біомеханіки до цього часу не включені.

Висновки

1. Результати дослідження вказують на те, що науково-дидактичний потенціал кафедр біомеханіки польських та українських ЗВО достатньо високий та істотно не відрізняється, що при їх відповідному забезпеченні сучасною апаратурою дає змогу сподіватися на досягнення однаково високого рівня підготовки студентів обох країн, а взаємне наукове стажування викладачів та обмін передовим досвідом лише підвищать якість навчального процесу з біомеханіки.
2. Матеріально-технічне оснащення кафедр українських ЗВО істотно поступається оснащенню польських, тому для досягнення належного рівня викладання біомеханіки їм рекомендується придбати тензометричні платформи й комплекси типу Noraxon MyoMotion, а також розробити відповідні стенди для вимірювання моментів м'язових сил у різних суглобах. Доцільно також залучити до лабораторних занять з біомеханіки наявні (або придбати) електроміографи.
3. Кафедрам біомеханіки польських ЗВО доцільно розширити тематику практичних занять завданнями з самостійного виготовлення, розкадрування, оцифрування кінограм з подальшим розрахунком кінематичних характеристик рухової дії, а також дослідження параметрів стрибка у довжину з місця та інших рухових завдань. Можливо також впровадити практичні завдання з оцінювання рівня розвитку спеціальних якостей та відчуттів.
4. Ураховуючи наявність у польських ЗВО сучасного обладнання для біомеханічного аналізу рухової діяльності, доцільно організувати спільні проекти із залученням українських та польських студентів і провідних спортсменів обох країн, присвячені лабораторним дослідженням техніки різних видів рухової діяльності – від фізичного виховання і спорту – до фізіотерапії і професійної діяльності у різних галузях.

Результати реєстрації різних параметрів рухової діяльності, отримані польськими студентами, які на даний час неможливо отримати в Україні з-за відсутності відповідного обладнання, можна передавати на кафедри біомеханіки українських ЗВО для їх обробки нашими студентами.

5. Актуальною видається пропозиція організувати на постійній основі щорічні міжнародні конференції з питань обміну передовим досвідом стосовно удосконалення практичної підготовки студентів з біомеханіки.
6. У представленому дослідженні проаналізовано застосування сучасних методик біомеханічного аналізу на практичних заняттях з біомеханіки студентів лише деяких ЗВО, тому для формулювання більш об'єктивних висновків з цієї проблеми доцільно долучити до обстеження ширше коло таких закладів як у Польщі, так і в Україні.

Література

1. Лапутін А. М., Гамалій, В. В., Архипов, О. А., Кашуба, В. О., Носко, М. О. & Хабінець, Т. О. (2005). *Біомеханіка спорту: навчальний посібник*. А..М. Лапутін (ред.). Київ: «Олімпійська література». (320 с.).
2. Рибак О. Ю. (2013). *Безпека змагальної діяльності в автомобільному спорті: монографія*. Львів: ЛДУФК.
3. Рибак, О. Ю., Рибак, Л. І., Виноградський, Б. А., Кувалдіна, О. В. & Яцунський, О. С. (2021). *Біомеханіка спорту: підручник*. Львів: ЛДУФК ім. Івана Боберського. (268 с.).
4. Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku. KARTA OPISU ZAJĘĆ (SYLABUS) W CYKLU KSZTAŁCENIA 2020/2023 (Biomechanika). Pobrano z <https://drive.google.com/file/d/1-КА33yz5okdXYmkIDVsHyt3TXgm8lrbo/view>
5. Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku

KARTA OPISU ZAJĘĆ (SYLABUS) W CYKLU KSZTAŁCENIA 2020-2022 (Biomechanika Sportu). Pobrano z <https://drive.google.com/file/d/1B-V2WeblqPzmJiS-fxONfZ36CZBIYNd-c/view>

6. Aschenbrenner, P., Lipińska, P. A. & Erdmann, W. S. (2012). Application of the AS-4 software in research on players' kinematics on a large area in 3D coordinates as an alternative to commercial programs. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 4(3), 172-179. DOI: 10.2478/v10131-012-0018-8.
7. Aschenbrenner, P. Pół wieku (1969-2019) aktywności zawodowej profesora Włodzimierza Stefana Erdmanna. *Symposium Biomechaniki Sportu i Rehabilitacji: Streszczenia* (s.33-36). 5-6 grudnia, 2019, Warszawa, Polska: Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie.
8. Bober, T. & Zawadzki, J. (2006). *Biomechanika układu ruchu człowieka*. Wrocław: Wydawnictwo BK.
9. Erdmann W. S. (2000) *Biomechanika. Przewodnik do ćwiczeń*. Gdańsk: Wydawnictwo May.
10. Erdmann W. S. (2010). *Biomechanika ogólna*. Gdańsk: Wydawnictwo May.
11. Erdmann, W. S. Bezzałogowy system powietrzny jako nowe urządzenie rejestracji lokomocji obiektów i analizy biomechanicznej. *Symposium Biomechaniki Sportu i Rehabilitacji: Streszczenia* (s.47-48). 7-8 listopada, 2015, Warszawa, Polska: Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie.
12. Erdmann, W. S. (2015). *Biomechanika: podstawy dla kierunku inżynieria biomedyczna*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
13. Erdmann, W. S. Biomechanika w Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu im. J. Śniadeckiego w Gdańsku (1971-2015). *Symposium biomechaniki sportu i rehabilitacji: Streszczenia* (s. 48-50). 17-18 września, 2015, Warszawa, Polska: [b.w.].

14. Erdmann, W. S. (2015). *Inżynieria rehabilitacji ruchowej: zarys*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
15. Erdmann, W. S. (2017). Geometry and inertia of the body as important factors in sport biomechanics. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка*, 147(1), 94-100.
16. Erdmann, W., Aschembrenner, P., Dancewicz-Nosko, D., Kowalczyk, R. & Urbanski, R. (2020). University laboratory of biomechanics and sport analytics and engineering in Gdansk as an important science institution. *MOJ Applied Bionics and Biomechanics*, 4(1), 8-13. DOI: 10.15406/mojabb.2020.04.00124
17. Klich, S., Kawczyński, A., Pietraszewski, B., Zago, M., Chen, A., Smoter, M., Hassanlouei, H. & Lovecchio, N. (2021). Electromyographic Evaluation of the Shoulder Muscle after a Fatiguing Isokinetic Protocol in Recreational Overhead Athletes. *Public Health*, 18, 2516. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052516>
18. McGinnis, P.M. (2021). *Biomechanika w sporcie i ćwiczeniach ruchowych*. Wrocław: Edra Urban & Partner.
19. Pietraszewska, J., Struzik, A., Burdukiewicz, A., Stachoń, A / & Pietraszewski, B. (2020). Relationships between Body Build and Knee Joint Flexor and Extensor Torque of Polish First-Division Soccer Players. *Applied Sciences*, 10, 783. DOI:10.3390/app10030783
20. Pietraszewski, B., Siemieński, A., Struzik, A., Szpala, A. & Winiarski, S. (2024). *Przewodnik do ćwiczeń z Biomechaniki sportu: Rok akademicki 2023/2024, Studia stacjonarne, 2 rok I stopnia, Kierunek: Sport*. Wrocław: Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu. Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu. Zakład Biomechaniki (12).
21. Politechnika Gdańska. Karta przedmiotu. Biofizyka. Pobrano z <https://ects.pg.edu.pl/pl/subjects/322772/card.pdf>
22. Politechnika Gdańska. Karta przedmiotu. Biomechanika. Pobrano z <https://ects.pg.edu.pl/pl/subjects/322740/card.pdf>

23. Rybak O., Vynogradskyi, B. & Rybak, L. Zapobieganie zawodowym obciążeniom na organizm kierowcy samochodu. *Wyzwania XXI wieku w naukach o zdrowiu i kulturze fizycznej: Międzynarodowa Konferencja Naukowa* (s. 363–390), 8 czerwca, 2018, Jelenia Góra, Polska: Wydawca: Karkonoska Państwowa Szkoła Wyższa w Jeleniej Górze.
24. Skalski, D. W., Tsyhanovska, N. & Grygus, I. (2023). *Autorski program międzynarodowego stażu naukowego: Monografia*. Grudziądz - Charków - Równe - Starogard Gdański – Gdańsk: Wydawnictwo Naukowe Polskiego Towarzystwa Nauk, m. Grudziądz, Polska. Opublikowano na zenodo: <https://zenodo.org> DOI: 10.5281/zenodo.10500577
25. Struzik, A., Zawadzki, J., Rokita, A. & Pietraszewski, B. (2020). Application of an Accelerometric System for Determination of Stiffness during a Hopping Task. *Applied Bionics and Biomechanics*, 5, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2020/3826503>
26. Szpala, A., Winiarski, S., Kołodziej, M., Pietraszewski, B., Jasiński, R., Niebudek, T., Lejczak, A., Kałka, D., Lorek, K., Bałchanowski, K., Wudarczyk, S. & Woźniewski, M. (2023). Do Mechatronic Poles Change the Gait Technique of Nordic Walking in Patients with Ischemic Heart Disease? *Applied Bionics and Biomechanics*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2023/1135733>
27. Uniwersytet Zielonogórski. KARTA OPISU ZAJĘĆ (SYLABUS) W CYKLU KSZTAŁCENIA 2017/2018 (Biomechanika). Pobrano z: file:///C:/AAA/AWFS%20Gd/STAZ%202024/%D0%A1%D0%A2%D0%90%D0%A2%D0%A2%D0%AF%20%D0%B4%D0%BE%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B6%D1%83/course_showCourseDetails_829997_1.pdf