

Модель біомеханічного контролю техніки удару у боксі на основі систем 3D-аналізу руху

*Стасюк Роман Миколайович¹, Куртьосов Євген Олександрович²,
Калашник Наталія Яківна³, Жогло Володимир Миколайович⁴*

Опубліковано	Секція	УДК
20.11.2025	Фізична освіта і спорт	796.83(035) : 531/534 : 004.94

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17703904>

Анотація. У статті представлено модель біомеханічного контролю техніки прямого удару (джеб) у боксі на основі систем 3D-аналізу руху. Розглянуто значення використання тривимірної кінематичної візуалізації для підвищення точності діагностики технічних дій, виявлення індивідуальних помилок та оптимізації тренувального процесу. Показано, що застосування маркерів дозволяє детально аналізувати положення сегментів тіла, визначати кути у суглобах, просторову траєкторію ударної руки та характеристики захисних дій спортсмена. **Мета дослідження** – науково обґрунтувати та експериментально перевірити ефективність моделі біомеханічного контролю техніки удару в боксі з використанням систем 3D-аналізу руху для підвищення якості технічної підготовки спортсменів. **Методи.** У роботі використано відеокomp'ютерний аналіз рухів, порівняльний аналіз модельних та фактичних кінематичних параметрів, педагогічне спостереження та статистичну обробку отриманих даних. **Результати.** Побудовані дво- і тривимірні моделі руху спортсменів дозволили визначити індивідуальні відхилення від еталонної техніки. У спортсменів №1–5 виявлено різний ступінь точності виконання удару: найвища узгодженість із модельним шаблоном зафіксована у спортсмена №1, тоді як спортсмени №4 та №5 продемонстрували суттєві технічні недоліки у сфері захисту та стабільності пози. Аналіз показав, що основними помилками є неповне розгинання ударної руки, порушення положення голови та опускання захисної руки. Застосування 3D-кінематичного аналізу забезпечило можливість точно кількісно оцінити ці відхилення та сформулювати адресні корекційні рекомендації. **Висновки.** Використання 3D-аналізу руху у боксі є ефективним інструментом індивідуалізації технічної підготовки спортсменів. Запропонована модель дозволяє підвищити точність контролю, оптимізувати навчально-тренувальний процес, своєчасно виявляти технічні помилки та

¹ Кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент кафедри фізичного виховання і спорту Сумського державного університету, 40007, м. Суми, вул. Харківська, 116, Україна, ORCID: 0000-0001-6357-6515

² Викладач кафедри пожежно-рятувальної та фізичної підготовки Національного університету цивільного захисту, 18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнко 8, Україна ORCID: 0009-0005-1832-6433

³ Старший викладач кафедри пожежно-рятувальної та фізичної підготовки, навчально-науковий інститут оперативно-рятувальних сил, Національного університету цивільного захисту України, 18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8, Україна, ORCID: 0009-0001-0691-9355

⁴ Старший викладач кафедри пожежно-рятувальної та фізичної підготовки навчально-наукового інституту оперативно-рятувальних сил Національного університету цивільного захисту України м. Черкаси, вул. Онопрієнка 8, 18034 ORCID: 0009-0005-4984-193X

покращувати якість атакуювальних і захисних дій. Такий підхід має практичне значення для спортивних шкіл, секцій боксу та центрів підготовки спортсменів, що робить методiku актуальною для сучасної тренерської практики.

Ключові слова: бокс, техніка удару, біомеханічний контроль, 3D-аналіз руху, кінематика, технічна підготовка.

Model of biomechanical control of punching technique in boxing based on 3d motion analysis systems

Abstract. The article presents a model for biomechanical control of the straight punch (jab) technique in boxing based on 3D motion analysis systems. The study examines the importance of using three-dimensional kinematic visualization to enhance the accuracy of technical action diagnostics, identify individual errors, and optimize the training process. It is shown that the application of markers allows for detailed analysis of body segment positions, determination of joint angles, the spatial trajectory of the punching arm, and the characteristics of the athlete's defensive actions. **The purpose** of the study is to scientifically substantiate and experimentally verify the effectiveness of the biomechanical control model for punching technique in boxing using 3D motion analysis systems to improve the quality of technical training for athletes. **Methods.** The work utilized video computer analysis of movements, comparative analysis of model and actual kinematic parameters, pedagogical observation, and statistical processing of the obtained data. **Results.** The constructed two- and three-dimensional motion models of the athletes allowed for the identification of individual deviations from the reference (etalon) technique. Varying degrees of punch execution accuracy were found among athletes №1–5: the highest congruence with the model template was recorded in athlete №1, while athletes №4 and №5 demonstrated significant technical deficiencies in defense and postural stability. The analysis revealed that the main errors include incomplete extension of the punching arm, poor head position, and dropping of the defensive arm. The application of 3D kinematic analysis provided the capability to accurately quantify these deviations and formulate targeted corrective recommendations. **Conclusions.** The use of 3D motion analysis in boxing is an effective tool for individualizing athletes' technical preparation. The proposed model allows for increased control accuracy, optimization of the training process, timely identification of technical errors, and improvement of the quality of offensive and defensive actions. This approach holds practical significance for sports schools, boxing sections, and athlete training centers, making the methodology relevant for modern coaching practice.

Keywords: boxing, punching technique, biomechanical control, 3D motion analysis, kinematics, technical preparation.

Вступ. Об'єктивна оцінка виконання технічних прийомів в ударних видах єдиноборств має величезне значення як для новачків, так і для висококваліфікованих спортсменів. Вона дозволяє точно ідентифікувати помилки та визначати шляхи для їхнього усунення [3; 7; 11].

Найбільш перспективний напрямок удосконалення системи управління спортивною діяльністю – це впровадження інформаційних технологій у тренувальний процес. Ці технології не просто підтримують підготовку, а й реалізують її цільову програму, забезпечуючи тренера об'єктивною інформацією про рухи спортсмена. Ударні єдиноборства, такі як бокс, вимагають, щоб першочерговим завданням став біомеханічний аналіз профілюючих рухів. Цей аналіз має здійснюватися за допомогою новітніх безконтактних методик. Такий технологічний підхід логічно вирішує дві основні задачі тренування: по-перше, дослідження рухів, що включає детальне вивчення кінематичних і динамічних характеристик удару, і по-друге, навчання рухам через

індивідуальну корекцію техніки. Корекція стає об'єктивною, оскільки базується на порівнянні фактичних параметрів виконання із заздалегідь визначеними модельними характеристиками (еталоном) [2; 5; 9].

Модель біомеханічного контролю техніки удару в боксі на основі систем 3D-аналізу руху дає можливість створити «золотий стандарт» виконання, забезпечуючи перехід від суб'єктивної оцінки тренера до об'єктивного, науково обґрунтованого управління тренувальним процесом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні наукові дослідження у сфері спортивної біомеханіки [1; 8; 10] та теорії тренування [4; 7; 9] актуалізують необхідність об'єктивної інструментальної оцінки технічних дій, оскільки вона є критично важливою для підвищення ефективності рухової активності та мінімізації ризику травматизації спортсменів. Авторитетні науковці підтверджують, що успішний розвиток швидко-силових характеристик і точності виконання технічних елементів безпосередньо корелює з раціональністю рухової структури, яка забезпечує оптимальну активацію та синергію м'язових груп. У низці фундаментальних праць [6; 9; 11] наголошується на пріоритетності інтеграції інструментального (об'єктивного) контролю у структуру підготовки. Це дозволяє науково обґрунтовувати підбір засобів і методів тренування, орієнтуючись не лише на загальноприйняті вікові та фізіологічні нормативи, але й на індивідуальний біомеханічний профіль атлета. Зокрема, індивідуалізація здійснюється на основі прецизійного вимірювання таких параметрів, як траєкторія руху ударної кінцівки, кутова швидкість у ключових суглобах та кінцева динамічна сила удару. Такий підхід забезпечує зростання ефективності засвоєння складних, структурованих рухових комплексів, зокрема техніки прямих та бічних ударів у боксі.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри активне вивчення аспектів фізичної та техніко-тактичної підготовки боксерів, більшість досліджень [3; 7] зосереджуються переважно на традиційних методах оцінки техніки (візуальне спостереження, відеоаналіз у 2D-проекції), без урахування глибинних біомеханічних механізмів, що визначають індивідуальну ефективність та варіативність рухової структури спортсмена. Також недостатньо уваги приділяється інтеграції даних інструментального (3D) контролю в реальну практику побудови тренувальних програм для боксерів, з урахуванням індивідуального біомеханічного профілю виконання ударів. На сьогодні відсутні узагальнені методичні підходи до реалізації біомеханічного супроводу як системного інструменту адаптації тренувального навантаження та корекції техніки. Бракує емпіричних досліджень, які б комплексно оцінювали ефективність використання 3D-аналізу рухів у зв'язку з формуванням модельних характеристик удару, особливо в умовах тренувального процесу, де технічні показники часто нестабільні через втому та емоційну напругу. Недостатньо розкритими залишаються питання точного виявлення індивідуальних біомеханічних відхилень від еталонної моделі в ударній техніці, а також засобів оперативної корекції тренувальних програм на основі кінематичних і динамічних показників, отриманих з 3D-систем. Залишається відкритим і питання формування міждисциплінарної моделі взаємодії тренера та фахівця з біомеханіки задля забезпечення повноцінного індивідуального підходу до оптимізації техніки кожного спортсмена.

Формулювання цілей статті. Мета статті – теоретично обґрунтувати та експериментально апробувати модель біомеханічного контролю техніки ударів у боксі на основі систем 3D-аналізу руху для підвищення ефективності тренувального процесу та індивідуальної корекції рухової структури спортсменів.

Результати

На основі аналізу біомеханічних характеристики, було підтверджено концепцію створення зручного та інформативного інструментального засобу для аналізу рухів.

Однак, поряд із перевагами (оцінка часових інтервалів та побудова 2-х вимірних моделей), було виявлено суттєві зауваження до процедури отримання 3-х вимірних (3D) біомеханічних характеристик. Спочатку ідея полягала в побудові 3D-моделі на основі даних, отриманих при аналізі 2D-моделі. Аналіз показав, що основні проблеми виникали при побудові 3D-моделей, де зміщення контрольних точок відбувається за трьома осями координат (X, Y, Z).

В якості еталонного критерію (шаблону) було використано модель виконання технічної дії, розроблену (В. В. Назимок, Н. М. Гаврилова, Ю. О. Мартинов, В. Е. Добровольський, 2023), на основі якої здійснювалося співставлення експериментально отриманих даних ключових біомеханічних точок (маркерів) кожного спортсмена з нормативними (модельними) значеннями. Цей підхід дозволяє кількісно визначити відхилення фактичного виконання техніки від ідеального зразка, забезпечуючи тим самим об'єктивну основу для подальшої корекції тренувального процесу (рис. 1).

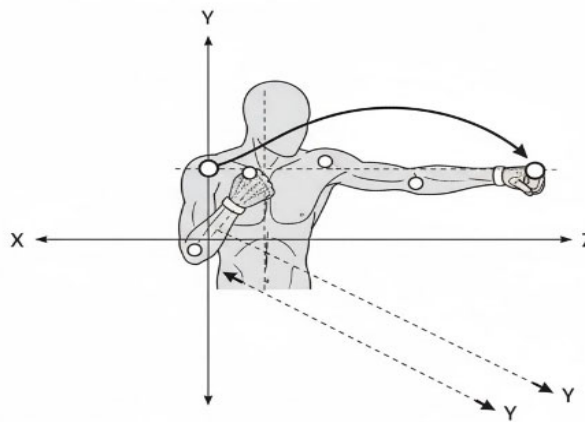


Рис. 1. Модельна траєкторія руху ключових біомеханічних точок під час виконанні прямого удару (джеб)

Аналіз результатів, отриманих під час визначення біомеханічних характеристик боксерів, підтвердив, що підхід, за якого фотозйомка (камери Vicont/VK26) здійснюється з кількох просторових позицій, дозволяє побудувати значно точніші біомеханічні моделі.

За допомогою комп'ютерної програми «Dartfish» було змодельовано 3D-модель виконання техніко-тактичної дії (ТТД) - прямого удару (джеб) п'ятьма спортсменами, які мають кваліфікацію «кандидат у майстри спорту» та представляють спортивний клуб «Динамо» м. Суми. Сформована біомеханічна 3D-модель забезпечила тренерам можливість прецизійного аналізу та об'єктивного виявлення кінематичних і динамічних помилок під час виконання ТТД.

Спортсмен №1 ілюструє 3D-модель виконання прямого удару (джеб), яка підлягає порівнянню з «модельним шаблоном» (еталонною траєкторією) (Рис. 2). З точки зору кінематики, ударна рука спортсмена знаходиться у фазі випрямлення з невеликим залишковим згином у ліктьовому суглобі (візуально близьким до 170° - 175°), тоді як ідеальний Шаблон передбачає повне або максимальне розгинання (близьке до 180°). Це незначне відхилення свідчить про те, що спортсмен не досяг повного кінематичного максимуму, необхідного для максимальної передачі імпульсу, що потребує оперативної корекції для відповідності модельному показнику.

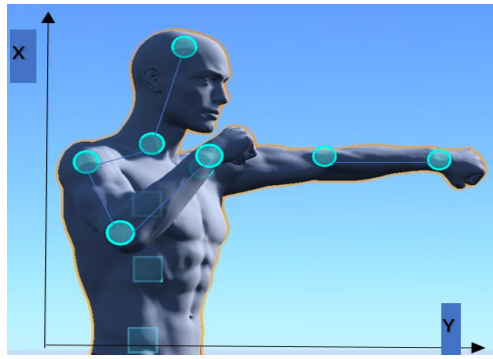


Рис. 2. Кінематичний аналіз прямого удару (джеб) спортсмена №1

З точки зору кінематики, ударна рука спортсмена №2 знаходиться у фазі максимального випрямлення або безпосередньо в момент контакту. Візуально, ступінь розгинання у ліктьовому суглобі, що оцінюється за розташуванням маркерів, видається повним або максимальним (близьким до 180°), що відповідає ідеальному «шаблону» виконання. Це свідчить про те, що спортсмен досяг повного кінематичного максимуму, необхідного для максимальної передачі імпульсу та досягнення оптимальної дальності. Схема може слугувати модельним показником для порівняння та корекції техніки інших спортсменів (Рис. 3).

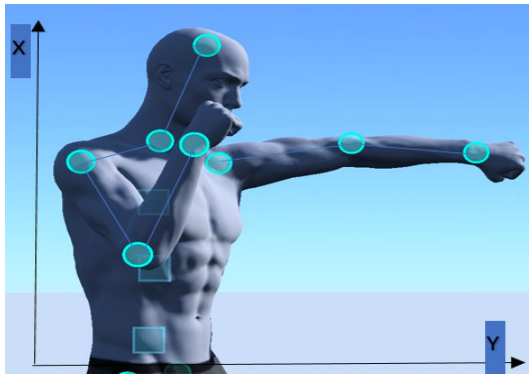


Рис. 3. Кінематичний аналіз прямого удару (джеб) спортсмена №2

Рисунок 4 наочно демонструє активацію кінематичного ланцюга від тулуба до кулака, що дозволяє оцінити узгодженість роботи суглобів і сегментів тіла. Ударна рука розігнута майже повністю: кут у ліктьовому суглобі наближається до $175-180^\circ$, що відповідає оптимальним вимогам для максимальної передачі імпульсу. Положення плеча свідчить про активацію м'язів плечового пояса та легкий підйом плеча, який сприяє «вкладанню» маси тіла в удар. Ліва рука виконує захисну функцію: вона зігнута приблизно під кутом 90° , а кулак розташований біля голови, забезпечуючи баланс і готовність до миттєвого контрудару. Маркери на тулубі відображають помірну ротацію корпусу у напрямку удару, що є ключовою умовою для формування сили та правильного перенесення навантаження через усі ланки кінематичного ланцюга.

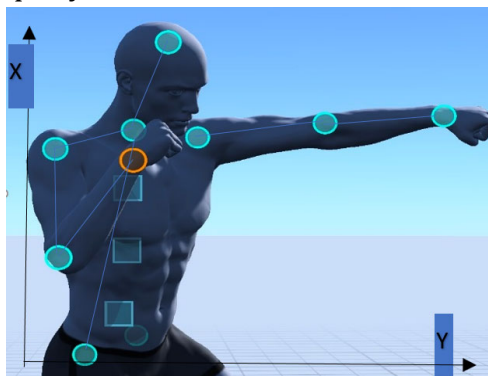


Рис. 4. Кінематичний аналіз прямого удару (джеб) спортсмена №3

Рисунок 5 демонструє що основною технічною помилкою спортсмена №4 є неповне розгинання ударної руки: кут у ліктьовому суглобі становить приблизно $170\text{--}175^\circ$, що не дає змоги реалізувати повну силу та імпульс, властиві еталонному виконанню. Додатково помаранчевий маркер на кулаку свідчить про можливе відхилення траєкторії або неправильну орієнтацію кисті. У моделі також помітні недоліки, пов'язані із захистом: ліва рука опущена нижче лінії підборіддя, що відкриває голову для контратаки, а саме підборіддя підняте, що ще більше збільшує вразливість спортсмена. Такі помилки потребують корекції для забезпечення технічної ефективності та безпеки.

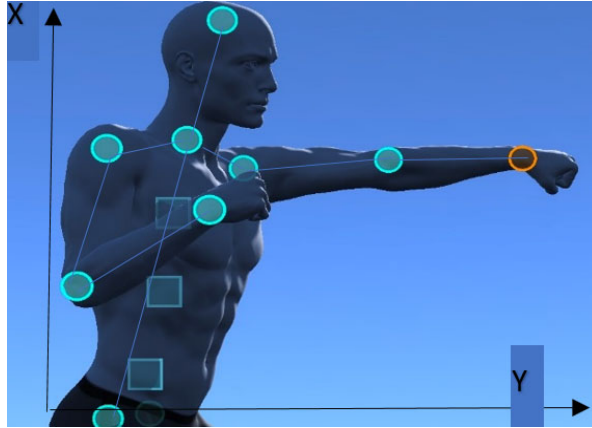


Рис. 5. Кінематичний аналіз прямого удару (джеб) спортсмена №4

Кінематичний аналіз ударної руки спортсмена №5 (Рис.6), свідчить про майже повне розгинання у ліктьовому суглобі, кут якого становить приблизно $175\text{--}180^\circ$, що відповідає модельному шаблону та забезпечує оптимальну передачу імпульсу від плечового суглоба до кулака. Узгоджена робота кінематичного ланцюга вказує на ефективне формування швидкості та сили удару. Водночас модель демонструє низку недоліків у компонентах захисту та стабільності положення тіла. Найбільш вираженою є помилка опущеної лівої руки, яка повинна захищати голову, проте знаходиться нижче рівня підборіддя, залишаючи передню зону відкритою для контратак. Положення голови також є не оптимальним: підборіддя не притиснене до грудей, що підвищує ризик отримання сильного зустрічного удару. Окрім цього, положення тулуба свідчить про можливу недостатню ротацію або надмірне подання корпусу вперед, що негативно позначається на балансі та здатності швидко повернутися у захисну стійку після завершення ударної фази.

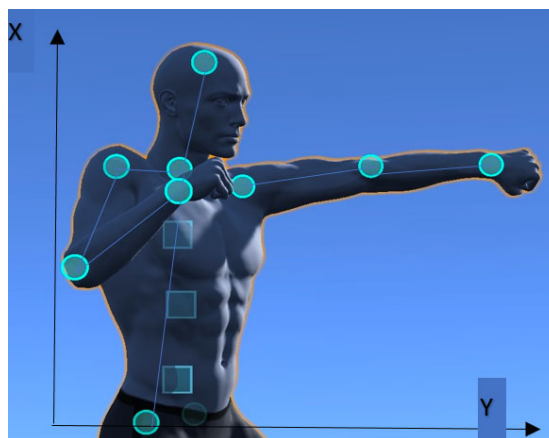


Рис. 6. Кінематичний аналіз прямого удару (джеб) спортсмена №5

Для забезпечення об'єктивності кінематичних параметрів кожен удар виконувався у п'яти спробах. На підставі отриманих записів були побудовані двовимірні та

тривимірні моделі руху маркерів, що дозволило визначити значення кутів у суглобах, лінійні зміщення та просторові відхилення ударної поверхні. Порівняльний аналіз модельних значень із фактичними траєкторіями показав наявність відмінностей між еталонною та реальною технікою спортсмена, проте ці відхилення незначні та дозволяють ефективно застосовувати дану методику для практичного біомеханічного контролю технічної підготовки боксерів.

Запропонована модель на основі 3D-аналізу руху дає змогу точно оцінювати технічні характеристики ударних дій, виявляти ключові помилки – зокрема неповне розгинання руки, порушення захисних положень або дисбаланс тулуба – та формувати об'єктивні рекомендації щодо вдосконалення техніки у спортивній практиці.

Висновок

Загальний аналіз технічних дій п'яти спортсменів показав, що хоча базова структура прямого удару зберігається у всіх учасників, рівень технічної точності та відповідності еталонним біомеханічним параметрам суттєво різняться. Спортсмен №1 продемонстрував найбільш наближену до модельної техніку: кут у ліктьовому суглобі під час розгинання досягає майже 178–180°, траєкторія кулака стабільна, а положення тулуба та голови відповідає вимогам захисної стійки. У спортсменів №2 і №3 спостерігається часткове відхилення від оптимальної траєкторії удару, зокрема через неповне розгинання руки (170–175°) та недостатню ротацію тулуба, що зменшує силу імпульсу та швидкість фінальної фази. Спортсмен №4 продемонстрував найсуттєвіші недоліки у сфері захисту: помітне опускання лівої руки та підвищене положення підборіддя створюють значний тактичний ризик, незважаючи на відносно рівний кутовий механізм ударної руки. Спортсмен №5 характеризується нестабільною позицією тулуба та порушенням динамічної рівноваги, що проявляється у зміщенні центру мас і нерівномірності роботи кінематичного ланцюга. Порівняльний аналіз спортсменів №1–5 свідчить про те, що основними зонами технічної корекції є повнота розгинання ударної руки, стабільність захисного положення лівої руки та правильне положення голови. Найвищі показники кінематичної точності зафіксовано у спортсмена №1, тоді як спортсмени №4 та №5 потребують найбільшої уваги щодо виправлення захисних дій та покращення балансу. Отримані результати підтверджують ефективність використання 3D-аналізу руху як інструменту для детального діагностування технічних помилок та формування індивідуальних рекомендацій у тренувальному процесі.

Список використаних джерел

1. Адашевський В. М., Дружинін Є. І., Лавінський Д. В. (2024). Особливості чисельного моделювання при аналізі біомеханіки різноманітних спортивних дій. У Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Харків : НТУ «ХПІ», 438–439.
2. Вілігорський О., Слобожанінов А. (2023). Аналіз особливостей індивідуальної тренуваності у єдиноборствах. Вісник Прикарпатського університету. Серія: Фізична культура, 40, 18–22.
3. Єдиноборства. Бокс [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою: всі спеціальності / КПП ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Назимок В. В., Гаврилова Н. М., Мартинюк Ю. О., Добровольський В. Е. – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2023. 165 с.
4. Кіндзер Б., Нікітенко С., Семеряк З., Маєвська С., Кукурудзяк І. (2025). Порівняння показників динамічної рівноваги за методикою Star Excursion Balance Test у спортсменів чоловічої статі з Кіокушинкай карате, боксу та карате WKF. Єдиноборства, 2(36), 15–25.

5. Маслова О., Футорний С., Шахліна Л., Терещенко Т. (2024). Прикладні аспекти спортметики у практиці фізичної культури і спорту. Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія, (2), 28–32.
6. Назимок В. В., Гаврилова Н. М. (2024). Техніко-тактична майстерність в боксі. У Фізичне виховання в контексті сучасної освіти: Матеріали XVIII Міжнародної науково-методичної конференції, 14 червня 2024. Київ : НАУ. 60–63
7. Назимок В. В. (2024). Важливість техніки навчання в боксі. У Актуальні наукові дослідження в сучасному світі : зб. наук. пр. Вип. 3, Ч. 1., Київ. 113–118
8. Старіков В., Бугайов М., Полянничко О. (2025). Сучасні тенденції та напрямки наукових досліджень у боксі. Єдиноборства, 3(37), 24–29.
9. Струтинський А., П'ятничук Д., Пітин М., Семеряк З. (2024). Обґрунтування змісту різних сторін підготовки кваліфікованих спортсменів у боксі (теоретичний огляд). Олімпійський та паролімпійський спорт, (2), 51–58.
10. Узковець І., Красов О., Погребний В., Устич В. (2024). Біомеханіка як важливий елемент при підготовці фахівців з фізичної культури та спорту. У Scientific Theories and Practices as an Engine of Modern Development : XII International scientific and practical conference 230–231
11. Фрейтас В. Т., Міл-Хоменс П., Алвес Ф., Алвес Ж. М., Сампайо Дж., і Лейте Н. (2019). Спеціальні тренування для боксу покращують швидкість і спритність ударів у досвідчених боксерів-любителів. Журнал досліджень міцності та кондиціонування, 33(4), 59–62.