

**Аналіз ланок тіла боксерів під час нанесення ударів за допомогою сучасних технологій**

Латишев М.В.<sup>1,2</sup>, Штанагей Д.В.<sup>2</sup>, Вольський Д.С.<sup>2</sup>, Чорній І.В.<sup>1</sup>, Демченко Н.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Київський університет імені Бориса Грінченка

<sup>2</sup> Національний університет фізичної виховання і спорту України

<sup>3</sup> Хмельницький національний університет

**Анотація. Мета:** оцінити ефективність використання сучасних технологій комп'ютерного зору для визначення ланок тіла боксерів під час нанесення удару. **Матеріал та методи.** В ході дослідження використовувалися такі методи: аналіз науково-методичної літератури та інтернет-ресурсів, аналіз відео та зображень за допомогою технологій машинного навчання (зокрема технологій комп'ютерного зору), а також застосування методів математичної статистики. Для аналізу обрано фінальний боксерський поєдинок у ваговій категорії до 91 кг на Олімпійських іграх (Токіо, 2021). Загальна кількість зображень для аналізу складала 1025 одиниць. У дослідженні застосовувалися моделі машинного навчання YOLO для детектування осіб, які знаходилися на зображенні та MediaPipe для визначення ланок тіла кожного із спортсменів. **Результати:** у рамках наукового дослідження детектування моделі YOLO під час боксерського поєдинку були отримані достатньо високі результати. Перший спортсмен у червоній формі виявлений з високою точністю - лише на 1,4 % зображень його не було виявлено; другий спортсмен у синій формі був виявлений на 98,7 % всіх зображень. Вірогідність правильного визначення спортсмена моделлю складала 89,5 % та 91,2 % відповідно для першого та другого спортсмена. Аналіз результатів вказує на те, що модель MediaPipe має обмеження в ідентифікації певних ланок тіла спортсменів під час змагань в єдиноборствах. Зокрема, відсоток зображень, на яких не вдалося ідентифікувати ланки тіла, коливається від 21,7 % до 31,7 %. Загальна картина показує, що модель успішно ідентифікує ключові ланки тіла, такі як плечі, лікті, зап'ястя, долоні та пальці, з вірогідністю результатів на рівні від 61,5 % до 74,5 %. **Висновки.** Проведено аналіз результатів використання сучасних технологій комп'ютерного зору для визначення ланок тіла боксерів під час нанесення ударів у змагальній діяльності. Результати свідчать про високу ефективність та точність моделі YOLO в задачі детектування спортсменів під час спортивних подій. Але в той же час, отримані протилежні дані використання моделі MediaPipe для визначення ланок тіла спортсменів. Візуальний безпосередній аналіз показує певні проблеми з визначенням рухів спортсменів. Загальною тенденцією є те, що в умовах боксерських змагань модель MediaPipe може стикатися з викликами, пов'язаними зі специфікою цього виду спорту, і вимагати подальшої оптимізації для досягнення найвищої точності та надійності в ідентифікації ланок тіла боксерів. Але в той же час, інтеграція технологій комп'ютерного зору в спортивні заходи відкриває нові можливості для об'єктивного аналізу та удосконалення технічного майстерності єдиноборців.

**Ключові слова:** бокс, змагальна діяльність, удар, сучасні технології, детектування, модулювання, ланки тіла.

**Вступ.** Змагання та змагальна діяльність у єдиноборствах є невід'ємною складовою цього виду спорту, яке поєднує всі види підготовленості спортсменів (Shandrygos, et. al., 2022, 2023; Tropin,

et. al., 2022, 2023). Ця динамічна область спортивної діяльності викликає не лише захоплення спостерігачів, але і вимагає глибокого аналізу для розуміння факторів, що визначають успіх спортсменів у двобії.

Важливим аспектом є розкриття особливостей змагальної діяльності та вдосконалення підготовки спортсменів на основі аналізу змагальної діяльності спортсменів. Здійснений аналіз змагальної діяльності в єдиноборців, звертає увагу на різні її аспекти, такі як системно-історичний підхід, аналіз команд, тактика участі, вікові особливості та попередні досягнення (Коробейніков, та ін., 2020; Шандригось, 2018a; Latyshev, et. al., 2021, 2022).

Виділяється аналіз техніко-тактичних дій єдиноборців як ключового напрямку для підготовки спортсменів до різноманітних рухових викликів (Гамалій, 2020; Подригало, & Володченко, 2016). Зокрема, досліджено техніко-тактичні дії провідних атлетів світового рівня для ефективного вдосконалення навчально-тренувального процесу (Латишев, та ін., 2022; Подригало, & Володченко, 2016; Шандригось, Блажейко, & Латишев, 2022).

Зокрема, аналіз техніки боксерів є ключовим напрямом у сучасній підготовці єдиноборців, дозволяючи виявляти помилки чи успішні дії при виконанні прийомів (Штанагей, та ін., 2021; Zhang, et. al., 2017). За допомогою технологій комп'ютерного зору, які революціонізують аналіз рухів, можна досягти нових рівнів розуміння та вдосконалення техніки єдиноборців (Архипов, & Питомець, 2016; Камаєв, Тропін, & Арнаут, 2019; Шандригось, 2018b; Cook, et. al., 2014; Wang, et. al., 2019).

Сучасні моделі розпізнавання рухів здатні реєструвати найдрібніші деталі та конвертувати їх у дані, що стають доступними для тренувань та досліджень. Ці дані використовуються тренерами та спортсменами для підвищення рівня майстерності атлетів (Латишев, та ін., 2019; Pardos, et. al., 2022; Wang, et. al., 2019).

**Зв'язок дослідження з науковими програмами, планами і темами.** Робота виконана відповідно до теми НДР Київського університету імені Бориса Грінченка кафедри фізичного виховання і педагогіки спорту спільно з кафедрою

спорту та фітнесу «Теоретико-практичні засади використання фітнес-технологій у фізичному вихованні та спорті» (державний реєстраційний номер 0118 U 001229).

**Мета дослідження** – оцінити ефективність використання сучасних технологій комп'ютерного зору для визначення ланок тіла боксерів під час нанесення удару.

**Матеріал та методи дослідження.** В ході дослідження використовувалися такі методи: аналіз науково-методичної літератури та інтернет-ресурсів, аналіз відео та зображень за допомогою технологій машинного навчання (зокрема технологій комп'ютерного зору), а також застосування методів математичної статистики.

Для аналізу обрано фінальний боксерський поєдинок у ваговій категорії до 91 кг на Олімпійських іграх (Токіо, 2021). Відібрані фрагменти відео, які відображають нанесення удару боксерами. Всі фрагменти відео перетворенні на зображення з fps=25 (тобто 25 кадрів на секунду; кожний кадр через 40 мс). Загальна кількість зображень для аналізу склала 1025 одиниць.

Дослідження відбувалося в два етапи. На першому етапі було зроблено детектування осіб, які знаходилися на зображенні. Для цього використовувалась модель машинного навчання YOLO (You Only Look Once). Підраховувалось кількість зображень на яких не змогли визначити атлета/атлетів та середнє значення точності (вірогідності) визначення для кожного спортсмена. Тобто модель машинного навчання виявляла з якою вірогідністю вона вірно визначала атлета на зображенні (Латишев, та ін., 2023; Jiang, et. al., 2022).

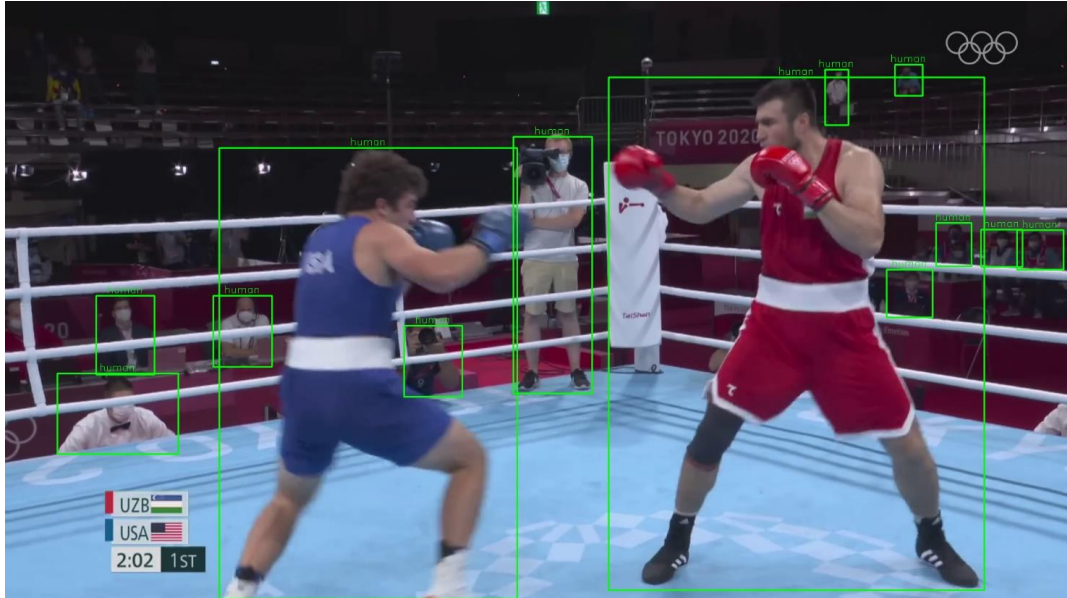
Наступним етапом було визначення ланок тіла кожного із спортсменів. Частина зображення де розташовано атлета, яку було визначено на попередньому етапі використовували для детектування ланок тіла. В дослідженні використовувалась модель MediaPipe від Google ([developers.google.com/mediapipe](https://developers.google.com/mediapipe)), яка дозволяє відстежувати 33 ключові точки людини, із зосередженням на дослідженні тільки на верхніх кінцівках. Це десять

ключових точок, для кожного спортсмена вони визначались автоматично.

Відео взято з веб-сервісу YouTube (youtube.com) на якому представлено офіційний запис фінального бою.

**Результати дослідження та їх обговорення.** На першому етапі

дослідження за допомогою моделі Yolo визначено всі особи які присутні на зображенні. Для демонстрації роботи моделі машинного навчання представлено одне зображення на яке нанесено обмежуючі рамки для кожної особи на кадрі відео (рис. 1).



*Рис. 1.* Фрагмент зображення змагальної діяльності боксерів, на якому нанесено рамки поля визначення людини за допомогою моделі YOLO

Аналіз отриманих результатів детектування осіб показує, що алгоритм YOLO виявляє високі можливості у визначенні людей під час змагань в єдиноборствах. Завдяки своїй швидкості та ефективності, YOLO дозволяє визначати та відстежувати рухи учасників, надаючи важливі дані для аналізу динаміки поєдинків. Використання технік машинного навчання та комп'ютерного зору в YOLO забезпечує високу точність в

розпізнаванні людських об'єктів, сприяючи автоматизованому відслідковуванню та аналізу дій учасників під час спортивних подій. В той, же час потрібно додаткові налаштування для відстеження дій конкретного учасника, наприклад певного атлета або суді.

Для визначення точності детектування моделі машинного навчання підраховано середні показники відстеження для всіх зображень (табл. 1).

*Таблиця 1*

**Показники точності ідентифікації боксерів протягом бою**

	Кількість зображень на яких не вдалося ідентифікувати спортсменів, %	Середня точність ідентифікації, %
Перший спортсмен (червона форма)	1,4	89,5
Другий спортсмен (синя форма)	1,3	91,2

У рамках наукового дослідження детектування моделі YOLO під час боксерського поєдинку було отримано достатньо високі результати. Перший

спортсмен у червоній формі виявлений з високою точністю - лише на 1,4 % зображень його не було виявлено. Аналогічно, другий спортсмен у синій

формі був виявлений на 98,7 % всіх зображень, демонструючи високий рівень

ефективності моделі YOLO в реальних умовах боксерського поєдинку.



*Рис. 2. Послідовність фрагментів нанесення удару боксера у червоній формі з нанесеними ланками тіла (послідовність з права наліво, зверху до низу)*

На наступному кроці дослідження розглядалась середня точність ідентифікації, яка вказує на вірогідність правильного визначення спортсмена моделлю. Для першого спортсмена у червоній формі цей показник становив 89,5 %, в той час як для другого спортсмена у синій формі середня точність становила навіть більше - 91,2 %. Ці результати свідчать про високу

ефективність та точність моделі YOLO в задачі детектування спортсменів під час спортивних подій.

Наступним етапом дослідження є визначення ланок тіла спортсменів під час нанесення ударів противнику. На рисунку 2 послідовно зображено фрагменти нанесення удару боксером у червоній формі. Послідовність фрагментів з права на ліво, зверху до низу. Для кожного

фрагменту визначенні ключові точки спортсменів (ланок тіла). Визначення ланок тіла спортсменів відбувалось в обмежувачих рамках, які було визначено на попередньому етапі.

Система MediaPipe виявляє обмежені можливості у визначенні ланок тіла спортсменів під час змагань в єдиноборствах. Завдяки передовим технологіям комп'ютерного зору та машинного навчання, MediaPipe

забезпечує відносно точне визначення поз та рухів людей у повсякденному житті. Але в той же час демонструє обмежені можливості для атлетів під час змагальної діяльності, що у свою чергу є важливим для детального аналізу їхньої техніки та стратегії. Алгоритм виявлення ключових точок тіла дозволяє системі визначити розташування та рухи кінцівок, голови та тулуба спортсменів, надаючи інформацію для тренування та оцінки виступів.



Рис. 3. Послідовність фрагментів нанесення удару боксера у синій формі з нанесеними ланками тіла (послідовність з права наліво, зверху до низу)

Для порівняння на рисунку 3 наведено послідовність фрагментів нанесення удару спортсмена у синій формі. У зв'язку з достатньо різними антропометричними даними спортсменів, вони обрали різні тактику бою. Що дозволяє провести аналіз різних рухів під час змагальної діяльності.

Візуальний безпосередній аналіз показує певні проблеми з визначенням рухів спортсменів. Можна відзначити два головних проблемних аспекти: затримку визначення ланок тіла у часі під час руху та не точне визначення місцезнаходження ланок взагалі. Слід зазначити, що час між кадрами складає 40 мс (це є загальноприйнятий час для розділу на кадрі при аналізі). Тобто час виконання певної фази удару (фаза руху руки від початкового положення до контакту з

противником) складає приблизно 100-200 мс, що достатньо важко відстежувати за допомогою звичайного обладнання.

В цілому пояснити не достатню якість визначення ланок тіла спортсменів можна наступними аспектами: модель машинного навчання MediaPipe призначена для детектування рухів людей у повсякденному житті (тобто швидкість менша); зовнішнє середовище (фон) зазвичай без додаткових рухів (у нашому випадку, рухи судді вносять ускладнення); спеціальне екіпірування спортсменів, яке заважає визначити певні ланки спортсменів.

Наступним етапом дослідження було аналіз отриманих даних визначення ланок тіла спортсменів (табл. 2).

*Таблиця 2*

**Показники точності ідентифікації ланок боксерів в змагальному поєдинку**

№	Ланки тіла спортсмена	Середня точність ідентифікації, %		Кількість зображень на яких не вдалося ідентифікувати ланки тіла, %
		Перший атлет	Другий атлет	
1	Праве плече (Right Shoulder)	63,2	61,5	21,7
2	Ліве плече (Left Shoulder)	71,3	70,2	22,2
3	Правий лікоть (Right Elbow)	68,7	67,5	28,7
4	Лівий лікоть (Left Elbow)	67,4	66,7	29,2
5	Праве зап'ястя (Right Wrist)	73,1	74,5	31,7
6	Ліве зап'ястя (Left Wrist)	72,4	73,9	30,3
7	Права долоня (Right Palm)	65,6	66,3	31,7
8	Ліва долоня (Left Palm)	68,7	67,3	30,3
9	Палець на правій руці (Tip of Right Thumb)	68,2	69,1	31,7
10	Палець на лівій руці (Tip of Left Thumb)	68,5	69,2	30,3

Результати вказують на те, що модель MediaPipe має обмеження в ідентифікації певних ланок тіла спортсменів під час змагань в єдиноборствах. Зокрема, відсоток зображень, на яких не вдалося ідентифікувати ланки тіла, коливається від 21,7 % до 31,7 %. Позначений високий відсоток невдалих ідентифікацій спостерігається для деяких ключових точок, таких як праве та ліве зап'ястя, долоні та пальці на обох руках. Загальна картина свідчить про те, що не зважаючи на успішні результати в багатьох випадках, модель може демонструвати обмежену

ефективність у визначенні певних ланок тіла спортсменів. Висновок полягає в необхідності удосконалення та оптимізації моделі для досягнення більш високої точності в ідентифікації усіх ключових точок.

У результаті ідентифікації ланок тіла спортсменів за допомогою моделі MediaPipe було отримано такі відносно високі вірогідності результатів. Для обох спортсменів виявлено високий рівень достовірності визначення поз та рухів. Загальна картина показує, що модель успішно ідентифікує ключові ланки тіла, такі як плечі, лікті, зап'ястя, долоні та

пальці, з вірогідністю результатів на рівні від 61,5 % до 74,5 %.

Аналіз показав певні протиріччя між результатами моделі та візуально отриманими результатами, це підтверджує раніше отримані дані різними фахівцями стосовно практичного використання (Латишев та ін., 2023; Groos, et. al., 2021). На роботу моделі впливають такі фактори: при використанні моделі MediaPipe для змагальної діяльності боксерів висуваються деякі обмеження та виникають неточності, особливо в умовах високої швидкості, наявності додаткового екіпірування та спеціальної одежі, а також у присутності додаткових осіб на рингу, наприклад, суддів. Декілька аспектів, які важливо враховувати: висока швидкість руху боксерів може призводити до розмиття контурів тіла на зображеннях, що може ускладнювати точність визначення ланок та поз; швидкість може впливати на час реакції моделі, особливо при швидкому змінненні позицій та рухів; носіння боксерами додаткового екіпірування, такого як рукавички чи шоломи, може ускладнювати визначення конкретних точок на тілі; присутність додаткових осіб на рингу, таких як судді чи тренери, може призводити до перекриття областей тіла боксерів та впливати на роботу алгоритму визначення ланок; зміни в освітленні на рингу можуть впливати на якість зображень та роботу моделі, особливо під час трансляцій; різні пози та кути зйомки можуть викликати тіні, ефекти та інші аспекти, які можуть ускладнювати роботу алгоритму.

Загальною тенденцією є те, що в умовах боксерських змагань модель MediaPipe може стикатися з викликами, пов'язаними зі специфікою цього виду спорту, і вимагати подальшої оптимізації в ідентифікації ланок тіла боксерів. Але в той же час, інтеграція технологій комп'ютерного зору в спортивні заходи відкриває нові можливості для об'єктивного аналізу та удосконалення технічного майстерності єдиноборців.

**Висновки.** Проведено аналіз результатів використання сучасних

технологій комп'ютерного зору для визначення ланок тіла боксерів під час нанесення ударів у змагальній діяльності. Було отримано достатньо високі результати детектування моделі YOLO під час боксерського поєдинку. Спортсменів виявлено з високою точністю - лише на менш ніж на 2 % зображень їх не було виявлено; результати свідчать про високу ефективність та точність моделі YOLO в задачі детектування спортсменів під час спортивних подій. Але в той же час, отримані протилежні дані використання моделі MediaPipe для визначення ланок тіла спортсменів. Зокрема, відсоток зображень, на яких не вдалося ідентифікувати ланки тіла, коливається від 21,7 % до 31,7 %. Візуальний безпосередній аналіз показує певні проблеми з визначенням рухів спортсменів. Можна відзначити два головних проблемних аспекту: затримку визначення ланок тіла у часі під час руху та не точне визначення місцезнаходження ланок взагалі. Загальною тенденцією є те, що в умовах боксерських змагань модель MediaPipe може стикатися з викликами, пов'язаними зі специфікою цього виду спорту, і вимагати подальшої оптимізації для досягнення найвищої точності та надійності в ідентифікації ланок тіла боксерів. Але в той же час, інтеграція технологій комп'ютерного зору в спортивні заходи відкриває нові можливості для об'єктивного аналізу та удосконалення технічного майстерності єдиноборців.

**Перспективи подальших досліджень у даному напрямку.** Проведення оцінки використання моделей машинного навчання для ідентифікації ланок тіла спортсменів інших видів єдиноборств та певних техніко-тактичних дій під час змагальної діяльності.

**Конфлікт інтересів.** Автори відзначають, що не існує ніякого конфлікту інтересів.

**Джерела фінансування.** Ця стаття не отримала фінансової підтримки від державної, громадської або комерційної організації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Архипов, О.А., & Питомець, О.П. (2016). Якісний біомеханічний аналіз техніки бігу на короткі, середні та довгі дистанції. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова*, 3 (70), 285-288.
- Гамалій В. (2020). Біомеханічні аспекти раціоналізації процесу навчання рухів у процесі технічної підготовки спортсменів. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*, 28(2), 36-41. DOI:10.32652/tmfvs.2020.2.36-41
- Камаєв, О.І., Тропін, Ю.М., & Арнаут, В.Ю. (2019). Біомеханічний аналіз виконання технічних дій у спортивній боротьбі. *Проблеми і перспективи розвитку спортивних ігор і єдиноборств у вищих навчальних закладах*, 1, 32-35.
- Коробейніков, Г., Воронцов, А., Костюченко, В., & Григоренко, О. (2020). Аналіз змагальної діяльності збірної команди України з греко-римської боротьби на чемпіонатах Європи 2019–2020 років. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*, (4), 27-33 DOI:10.32652/tmfvs.2020.4.27-33
- Латишев М.В., Полянничко О.М., Вольський Д.С., Лахтадир О.В., & Рибак Л.О. (2022). Аналіз попередніх досягнень призерів чемпіонату світу 2022 року з вільної боротьби. *Єдиноборства*, 4(26), 44–53 DOI:10.15391/ed.2022-4.05
- Латишев, М., Рибак, Л., Штанагей, Д., Вольський, Д., & Омельчук, М. (2023). Сучасні технології для визначення ланок тіла борців. *Єдиноборства*, (4 (30)), 49-58. DOI:10.15391/ed.2023-4.05
- Латишев, М.В., Квасниця, О.М., Спесивих, О.О., & Квасниця, І.М. (2019). Прогнозування: методи, критерії та спортивний результат. *Спортивний вісник Придніпров'я*, 1, 39-47 DOI:10.32540/2071-1476-2019-1-039
- Подригало, Л.В., & Володченко, О.А. (2016). Порівняльний аналіз біомеханічних аспектів кік-боксу та інших єдиноборств. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт*, 139 (1), 145-149.
- Шандригось, В.І. (2018a). Системно-історичний аналіз досягнень країн-учасниць в змаганнях з вільної боротьби на Олімпійських Іграх (1904-2016 рр.). *Єдиноборства*, 1 (7), 89-97.
- Шандригось, В.І. (2018b). Використання інформаційних технологій в теорії і практиці спортивних єдиноборств. *Науково-методичні основи використання інформаційних технологій в галузі фізичної культури та спорту*, 25(2), 137-41.
- Шандригось, В.І., Блажейко, А.І., & Латишев, М.В. (2022). Стан і перспективи розвитку вільної боротьби в Україні. *Єдиноборства*, №2(24), 96–116 DOI:10.15391/ed.2022-2.09
- Штанагей, Д.В., Коробейніков, Г.В., Колумбет, О.М., & Дудорова, Л.Ю. (2021). The study of the dynamic characteristics of hand movements of female boxers with different types of functional asymmetry. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені МП Драгоманова*, (7 (138)), 16-21 DOI 10.31392/NPU-nc.series15.2021.7(138).03
- Cook, G., Burton, L., Hoogenboom, B.J., & Voight, M. (2014). Functional movement screening: The use of fundamental movements as an assessment of function-part 1. *International journal of sports physical therapy*, 9(3), 396.
- Groos, D., Ramampiaro, H., & Ihlen, E.A. (2021). EfficientPose: Scalable single-person pose estimation. *Applied intelligence*, 51, 2518-2533 DOI:10.1007/s10489-020-01918-7
- Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo algorithm developments. *Procedia Computer Science*, 199, 1066-1073 DOI:10.1016/j.procs.2022.01.135
- Latyshev, M., Shandrygos, V., Tropin, Y., Polianychko, O., Deineko, A., Lakhtadyr, O., & Mozoliuk, O. (2021). Age distribution of wrestlers participating in the world championships. *Acta Kinesiologica*, 15 (1): 138-143 DOI:10.51371/issn.1840-2976.2021.15.1.17
- Latyshev, M., Tropin, Y., Podrigalo, L., & Boychenko, N. (2022). Analysis of the Relative Age Effect in Elite Wrestlers. Ido movement for culture. *Journal of Martial Arts Anthropology*, (22 (3)), 28-32 DOI:10.14589/ido.22.3.5



- Pardos, A., Tziomaka, M., Menychtas, A. & Maglogiannis, I. (2022). Automated Posture Analysis for the Assessment of Sports Exercises. *In Proceedings of the 12th Hellenic Conference on Artificial Intelligence*, 1-9 DOI:10.1145/3549737.3549784
- Shandrygos, V.I., Blazheyko, A.I., Latyshev, N.V., Tropyn, Y.N., Boychenko, N.V., & Myroshnychenko, Y.S. (2022). Analysis of the performances of the national team of Ukraine in women's wrestling at official competitions (1992–2021): second message. *Rehabilitation & Recreation*, 10, 170-183. DOI:10.32782/2522-1795.2022.10.22
- Shandrygos, V.I., Boychenko, N.V., Tropyn, Y.N., & Latyshev, N.V. (2023). Influence of functional asymmetry on performance of technical actions at freestyle wrestlers. *Martial artse*, 1(27), 110-122. DOI:10.15391/ed.2023-1.10
- Tropin, Y., Podrigalo, L., Boychenko, N., Podrihalo, O., Volodchenko, O., Volskyi, D., & Roztorhui, M. (2023). Analyzing predictive approaches in martial arts research. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*, 27(4), 321–330. DOI:10.15561/26649837.2023.0408
- Tropin, Y., Romanenko, V., Cynarski, W., Boychenko, N., & Kovalenko, J. (2022). Model characteristics of competitive activity of MMA mixed martial arts athletes of different weight categories. *Slobozhanskyi Herald of Science and Sport*, 2(26), 41-46. DOI:10.15391/sns.v.2022-2
- Wang, J., Qiu, K., Peng, H., Fu, J., & Zhu, J. (2019). AI coach: Deep human pose estimation and analysis for personalized athletic training assistance. *In Proceedings of the 27th ACM international conference on multimedia*, 374-382 DOI:10.1145/3343031.3350910
- Youtube. Men's Boxing Super Heavyweight +91kg Final Tokyo Access Mode: – [Electronic resource]. – Access mode <https://www.youtube.com/watch?v=ms80nCeFYds> (date of application 01.11.2023).
- Zhang, W., Liu, Z., Zhou, L., Leung, H., & Chan, A. B. (2017). Martial arts, dancing and sports dataset: A challenging stereo and multi-view dataset for 3D human pose estimation. *Image and Vision Computing*, 61, 22-39 DOI:10.1016/j.imavis.2017.02.002

Стаття надійшла до редакції: 16.12.2023 р.

Опубліковано: 09.02.2024 р.

**Abstract.** *Latyshev M., Shtanagei D., Volsky D., Chornii I., Demchenko N. Analysis of body parts of boxers during punching using modern technologies. Purpose: to evaluate the effectiveness of using modern computer vision technologies to determine the body parts of boxers during a punch. Material and methods. During the research, the following methods were used: analysis of scientific and methodological literature and Internet resources, analysis of videos and images using machine learning technologies (in particular, computer vision technologies), as well as the application of mathematical statistics methods. The final boxing match in the weight category up to 91 kg at the Olympic Games (Tokyo, 2021) was chosen for analysis. The total number of images for analysis was 1025. In the study, YOLO machine learning models were used to detect the persons who were in the images and MediaPipe to determine the body parts of each of the athletes. Results: as part of a scientific study of detecting the YOLO pattern during a boxing match, fairly high results were obtained. The first athlete in a red uniform was detected with high accuracy - he was not detected on only 1,4% of images; the second athlete in the blue uniform was detected in 98,7 % of all images. The probability of correctly identifying the athlete by the model was 89,5 % and 91,2 %, respectively, for the first and second athlete. Analysis of the results indicates that the MediaPipe model has limitations in identifying certain body parts of athletes during martial arts competitions. In particular, the percentage of images in which body parts could not be identified varies from 21,7 % to 31,7 %. The overall picture shows that the model successfully identifies key body parts such as shoulders, elbows, wrists, palms, and fingers, with a probability of results ranging from 61,5 % to 74,5 %. But visual direct analysis shows certain problems with determining the movements of athletes. Conclusions. An analysis of the results of the use of modern computer*

vision technologies to determine the body parts of boxers during striking in competitive activities was carried out. The results indicate the high efficiency and accuracy of the YOLO model in the task of detecting athletes during sports events. But at the same time, opposite data were obtained using the MediaPipe model to determine the body parts of athletes. Visual direct analysis shows certain problems with determining the movements of athletes. The general trend is that in the conditions of boxing competitions, the MediaPipe model may face challenges related to the specifics of this sport and require further optimizations to achieve the highest accuracy and reliability in the identification of boxers' body parts. But at the same time, the integration of computer vision technologies into sports events opens up new opportunities for objective analysis and improvement of the technical skills of martial artists.

**Keywords:** boxing, competitive activity, impact, modern technologies, detection, modeling, body parts.

## References.

- Arkhypov, O.A., & Pytomets', O.P. (2016). Yakisnyy biomekhanichnyy analiz tekhniky bihu na korotki, seredni ta dovhi dystantsiyi [Qualitative biomechanical analysis of running technique for short, medium and long distances]. *Naukovyy chasopys NPU imeni M.P. Drahomanova* [Scientific journal of the NPU named after M.P. Drahomanova], 3(70), 285-288 [in Ukrainian].
- Hamaliy, V. (2020). Biomekhanichni aspekty ratsionalizatsiyi protsesu navchannya rukhiv u protsesi tekhnichnoyi pidhotovky sport-smeniv [Biomechanical aspects of streamlining the process of learning movements in the process of technical training of athletes]. *Teoriya i metodyka fizychnoho vykhovannya i sportu* [Theory and methodology of physical education and sports], 28(2), 36-41 DOI:10.32652/tmfvs.2020.2.36-41 [in Ukrainian].
- Kamayev, O.I., Tropin, YU.M., & Arnaut, V.YU. (2019). Biomekhanichnyy analiz vykonannya tekhnichnykh diy u sportyvnyy borot'bi [Biomechanical analysis of performance of technical actions in sports wrestling]. *Problemy i perspektyvy rozvytku sportyvnykh ihor i yedynoborstv u vyshchyykh navchal'nykh zakladakh* [Problems and prospects of the development of sports games and martial arts in higher educational institutions], 1, 32-35 [in Ukrainian].
- Korobeynikov, H., Vorontsov, A., Kostyuchenko, V., & Hryhorenko, O. (2020). Analiz zmahal'noyi diyal'nosti zbirnoyi komandy Ukrayiny z hreko-ryms'koyi borot'by na chempionatakh Yevropy 2019–2020 rokiv [Analysis of the competitive activity of the national Greco-Roman wrestling team of Ukraine at the 2019–2020 European Championships]. *Teoriya i metodyka fizychnoho vykhovannya i sportu* [Theory and methods of physical education and sports], (4), 27-33 DOI:10.32652/tmfvs.2020.4.27-33 [in Ukrainian].
- Latyshev M.V., Polyanychko O.M., Vol's'kyy D.S., Lakhtadyr O.V., & Rybak L.O. (2022). Analiz poperednikh dosyahnen' pryzeriv chempionatu svitu 2022 roku z vil'noyi borot'by [Analysis of the previous achievements of the medalists of the 2022 World Championship in freestyle wrestling]. *Yedynoborstva* [Martial arts], 4(26), 44–53, DOI:10.15391/ed.2022-4.05 [in Ukrainian].
- Latyshev, M., Rybak, L., Shtanahey, D., Vol's'kyy, D., & Omel'chuk, M. (2023). Suchasni tekhnolohiyi dlya vyznachennya lanok tila bortsiv [Modern technologies for determining body parts of wrestlers]. *Yedynoborstva* [Martial arts], (4 (30)), 49-58 DOI:10.15391/ed.2023-4.05 [in Ukrainian].
- Latyshev, M.V., Kvasnytsya, O.M., Spesyvykh, O.O., & Kvasnytsya, I.M. (2019). Prohnozuvannya: metody, kryteriyi ta sportyvnyy rezul'tat [Forecasting: methods, criteria and sports performance]. *Sportyvnyy visnyk Prydniprov'ya* [Sports Bulletin of the Dnieper Region], 1, 39-47 DOI:10.32540/2071-1476-2019-1-039 [in Ukrainian].
- Podryhalo L.V., & Volodchenko O.A. (2016). Porivnyal'nyy analiz biomekhanichnykh aspektiv kik-boksu ta inshykh odnoborstv [Comparative analysis of biomechanical aspects of kick-

- boxing and other martial arts]. *Visnyk Chernihivs'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu. Seriya: Pedahohichni nauky. Fizychnye vykhovannya ta sport* [Bulletin of the Chernihiv National Pedagogical University. Series: Pedagogical sciences. Physical education and sports], 139 (1), 145-149 [in Ukrainian].
- Shandryhos', V.I. (2018a). Cystemno-istorychnyy analiz dosyahnen' krayin-uchasnyts' v zmahannyakh z vil'noyi borot'by na Olimpiys'kykh Ihrakh (1904-2016 rr.) [Systemic and historical analysis of the achievements of participating countries in freestyle wrestling competitions at the Olympic Games (1904-2016)]. *Yedynoborstva* [Martial arts], 1 (7), 89-97 [in Ukrainian].
- Shandryhos' V.I. (2018b). Vykorystannya informatsiynykh tekhnolohiy v teoriyi i praktytsi sportyvnykh yedynoborstv [The use of information technologies in the theory and practice of martial arts]. *Naukovo-metodychni osnovy vykorystannya informatsiynykh tekhnolohiy v haluzi fizychnoyi kul'tury ta sportu* [Scientific-methodological bases of the use of information technologies in the field of physical culture and sports], 25(2), 137-41 [in Ukrainian].
- Shandryhos' V.I., Blazheyko A.I., & Latyshev M.V. (2022). Stan i perspektyvy rozvytku vil'noyi borot'by v Ukrayini [The state and prospects for the development of freestyle wrestling in Ukraine]. *Yedynoborstva* [Martial arts], 2(24), 96–116 DOI:10.15391/ed.2022-2.09 [in Ukrainian].
- Shtanahey, D.V., Korobeynikov, H.V., Kolumbet, O.M., & Dudorova, L.YU. (2021). The study of the dynamic characteristics of hand movements of female boxers with different types of functional asymmetry [The study of the dynamic characteristics of hand movements of female boxers with different types of functional asymmetry]. *Naukovyy chasopys Natsional'noho pedahohichnoho universytetu imeni MP Drahomanova* [Scientific journal of the National Pedagogical University named after MP Drahomanov], 7 (138), 16-21 DOI 10.31392/NPU-nc.series15.2021.7(138).03 [in Ukrainian].
- Cook, G., Burton, L., Hoogenboom, B.J., & Voight, M. (2014). Functional movement screening: The use of fundamental movements as an assessment of function-part 1. *International journal of sports physical therapy*, 9(3), 396.
- Groos, D., Ramampiaro, H., & Ihlen, E.A. (2021). EfficientPose: Scalable single-person pose estimation. *Applied intelligence*, 51, 2518-2533 DOI:10.1007/s10489-020-01918-7
- Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo algorithm developments. *Procedia Computer Science*, 199, 1066-1073 DOI:10.1016/j.procs.2022.01.135
- Latyshev, M., Shandrygos, V., Tropin, Y., Polianychko, O., Deineko, A., Lakhtadyr, O., & Mozoliuk, O. (2021). Age distribution of wrestlers participating in the world championships. *Acta Kinesiologica*, 15 (1): 138-143 DOI:10.51371/issn.1840-2976.2021.15.1.17
- Latyshev, M., Tropin, Y., Podrigalo, L., & Boychenko, N. (2022). Analysis of the Relative Age Effect in Elite Wrestlers. Ido movement for culture. *Journal of Martial Arts Anthropology*, (22 (3)), 28-32 DOI:10.14589/ido.22.3.5
- Pardos, A., Tziomaka, M., Menychtas, A. & Maglogiannis, I. (2022). Automated Posture Analysis for the Assessment of Sports Exercises. *In Proceedings of the 12th Hellenic Conference on Artificial Intelligence*, 1-9 DOI:10.1145/3549737.3549784
- Shandrygos, V.I., Blazheyko, A.I., Latyshev, N.V., Tropyn, Y.N., Boychenko, N.V., & Myroshnychenho, Y.S. (2022). Analysis of the performances of the national team of Ukraine in women's wrestling at official competitions (1992–2021): second message. *Rehabilitation & Recreation*, 10, 170-183. DOI:10.32782/2522-1795.2022.10.22
- Shandrygos, V.I., Boychenko, N.V., Tropyn, Y.N., & Latyshev, N.V. (2023). Influence of functional asymmetry on performance of technical actions at freestyle wrestlers. *Martial artse*, 1(27), 110-122. DOI:10.15391/ed.2023-1.10
- Tropin, Y., Romanenko, V., Cynarski, W., Boychenko, N., & Kovalenko, J. (2022). Model characteristics of competitive activity of MMA mixed martial arts athletes of different weight categories. *Slobozhanskyi Herald of Science and Sport*, 2, 41-46.

DOI:10.15391/snsv.2022-2

- Tropin, Y., Podrigalo, L., Boychenko, N., Podrihalo, O., Volodchenko, O., Volskyi, D., & Roztorhui, M. (2023). Analyzing predictive approaches in martial arts research. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*, 27(4), 321–330. DOI:10.15561/26649837.2023.0408
- Wang, J., Qiu, K., Peng, H., Fu, J., & Zhu, J. (2019). AI coach: Deep human pose estimation and analysis for personalized athletic training assistance. *In Proceedings of the 27th ACM international conference on multimedia*, 374-382 DOI:10.1145/3343031.3350910
- Youtube. Men's Boxing Super Heavyweight +91kg Final Tokyo Access Mode: – [Electronic resource]. – Access mode <https://www.youtube.com/watch?v=ms80nCeFYds> (date of application 01.11.2023).
- Zhang, W., Liu, Z., Zhou, L., Leung, H., & Chan, A. B. (2017). Martial arts, dancing and sports dataset: A challenging stereo and multi-view dataset for 3D human pose estimation. *Image and Vision Computing*, 61, 22-39 DOI:10.1016/j.imavis.2017.02.002

**Відомості про авторів / Information about the Authors:**

**Латишев Микола Вікторович:** к.фіз.вих., доцент; Київський університет імені Бориса Грінченка: вул. Левка Лук'яненка 13-б, м. Київ, 04212, Україна.

**Mykola Latyshev:** PhD (Physical Education and Sport), Associate Professor; Borys Grinchenko Kyiv University: Levka Lukyanenko str., 13-B, Kyiv, 04212, Ukraine.

<https://orcid.org/0000-0001-9345-2759>

E-mail: [nlatyshev.dn@gmail.com](mailto:nlatyshev.dn@gmail.com)

**Штанагей Дмитро Вікторович:** доктор філософії (017 – Фізична культура і спорт), старший викладач; Національний університет фізичної виховання і спорту України: вул. Фізкультури, 1, м. Київ, 03150, Україна.

**Dmytro Shtanagei:** PhD (Physical Education and Sport), Senior Lecturer; National University of Ukraine on Physical Education and Sport: Fizkul'tury, 1, Kyiv, 03150, Ukraine.

<https://orcid.org/0000-0001-5675-5582>

E-mail: [dshtanagey@ukr.net](mailto:dshtanagey@ukr.net)

**Вольський Денис Сергійович:** доктор філософії (017 – Фізична культура і спорт), викладач; Національний університет фізичної виховання і спорту України: вул. Фізкультури, 1, м. Київ, 03150, Україна.

**Denis Volsky:** PhD (Physical Education and Sport), Lecturer; National University of Ukraine on Physical Education and Sport: Fizkul'tury, 1, Kyiv, 03150, Ukraine.

<https://orcid.org/0000-0003-2731-5611>

E-mail: [athletefc@gmail.com](mailto:athletefc@gmail.com)

**Чорній Ілона Василівна:** старший викладач; Київський університет імені Бориса Грінченка: вул. Маршала Тимошенка 13-б, м. Київ, 04212, Україна.

**Iлона Chornii:** Senior Lecturer; Borys Grinchenko Kyiv University: Marshala Tymoshenko, 13-B, Kyiv, 04212, Ukraine.

<https://orcid.org/0000-0001-7138-2323>

E-mail: [i.chornii@kubg.edu.ua](mailto:i.chornii@kubg.edu.ua)

**Демченко Наталя Валентинівна:** старший викладач; Хмельницький національний університет: вул. Інститутська 11, м. Хмельницький, 29016, Україна.

**Natalia Demchenko:** Senior Lecturer; Khmelnytsky National University: Institutskaya Street 11, Khmelnytskyi, 29016, Ukraine.

<http://orcid.org/0000-0001-8493-1862>

E-mail: [ndemchenko@ukr.net](mailto:ndemchenko@ukr.net)