

Сучасні технології для визначення ланок тіла борцівЛатишев М.В.¹, Рибак Л.О.², Штанагей Д.В.³, Вольський Д.С.³, Омельчук М.К.⁴¹ Київський університет імені Бориса Грінченка² Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького³ Національний університет фізичної виховання і спорту України⁴ Хмельницький національний університет

Анотація. Мета: визначити ефективність використання сучасних технологій комп'ютерного зору для визначення ланок тіла борців у змагальній діяльності. **Матеріал та методи.** У дослідженні використовувалися наступні методи: аналіз науково-методичної літератури та джерел Інтернет, аналіз відео та зображень за допомогою комп'ютерного зору (Computer Vision, Machine Learning), методи математичної статистики. Для аналізу обрано фінальна сутичка у ваговій категорії до 65 кг на Олімпійських іграх у Токіо 2021 з вільної боротьби. Загальна кількість фрагментів відео склала 1763 зображення. Для детектування осіб використовувалась модель машинного навчання Yolo, для детектування ланок тіла використовувалась модель MediaPipe від Google. Для кожного спортсмена визначались 21 ланка тіла. **Результати:** отримано показники точності ідентифікації ланок тіла спортсменів: всі показники вище 78 %. Результати аналізу показали, що краще ідентифікуються ланки тіла нижніх кінцівок: стегно, коліно, щиколотка тощо. Точність ідентифікації вище 90 %. В той час, як точність ідентифікації верхніх кінцівок нижче. На нашу думку, це пов'язано з тим що спортсмени в процесі сутички проводять достатню кількість часу в захваті та підготовки до атаки. Протягом цього часу певні частини верхніх кінцівок закриті для ідентифікації. Аналіз результатів кількості не ідентифікованих зображень показав схожу тенденцію з точністю ідентифікації. Найбільше не ідентифіковано ланок тіла пов'язаних зі верхніми кінцівками (більше 25 %). В той час, як не ідентифіковано ланок тіла пов'язаних зі нижніми кінцівками від 10 до 12 %. **Висновки.** Проведено аналіз результатів використання сучасних технологій комп'ютерного зору для визначення ланок тіла борців у змагальній діяльності. Алгоритм дослідження ланок тіла спортсменів мав два етапи: перший етап це визначення області фрагменту зображення (відео) де знаходяться атлети та другий визначення ланок тіла кожного борця. На першому етапі дослідження вдалося ідентифікувати обох спортсменів на 79,5 % зображень. Аналіз точності ідентифікації ланок тіла спортсменів показав, що краще ідентифікуються ланки тіла нижніх кінцівок, ніж вірних кінцівок. Це пов'язано з особливістю змагальної діяльності. Візуальний аналіз зображень показав, що певна частина ідентифікованих ланок не співпадають з реальним розташуванням ланок тіла спортсменів.

Ключові слова: вільна боротьба, змагальна діяльність, сучасні технології, детектування, ланки тіла.

Вступ. Змагальна діяльність у боротьбі - це високоінтенсивна фізична та психічна активність, яка полягає у змаганнях між двома суперниками з метою визначення переможця. Аналіз змагальної діяльності є важливим елементом в системі підготовки спортсменів зі спортивної боротьби (Бартік, та ін., 2014;

Тропин, та ін., 2017). Такий аналіз проводився фахівцями для різних аспектів: системно-історичний аналіз (Шандригось, 2018a), аналіз збірних команд (Коробейніков, та ін., 2020), тактика участі (Задорожна, 2021), вікові особливості (Latyshev, and et al., 2021; Latyshev, and et.

al., 2022), аналіз попередніх досягнень борців (Латишев, та ін., 2022).

Вважається, що аналіз техніко-тактичних дій борців є одним із важливих напрямків. Щоб підготувати спортсмена до широкого спектру рухових видів діяльності, необхідних для участі у змаганнях з єдиноборств, важливо володіти аналізом рухів провідних атлетів світового рівня (Подригало, & Володченко, 2016; Шандригось, Блажейко & Латишев, 2022; Чертов, та ін., 2021). Тому зараз аналіз змагальної техніки стає важливим напрямком в підготовці сучасних єдиноборців (Шандригось, 2018b; Гамалій, 2020; Чертов, та ін., 2020). Насамперед це аналіз, який дозволяє виявляти помилки або успішні дії при виконанні прийомів (Закорко, 2013; Тропин, та ін., 2020; Zhang, and et. al., 2017). Це заглиблення у вивчення стратегій, реакцій, рухів та контрреакцій, які визначають переможця на килимі. Сьогодні аналіз пози та рухів людини переживає нову еру завдяки сучасним технологіям, які революціонізують спосіб, яким ми розуміємо та аналізуємо техніку виконання певних рухових дій (Архипов, & Питомець, 2016; Cook, and et. al., 2014; Wang, and et. al., 2019). Аналізуючи рухи суперників, спортсмени отримують можливість зрозуміти їхні сильні та слабкі сторони, передбачити їхні дії (Камаєв, та ін., 2019; Латишев, та ін., 2019; Pardos, та ін., 2022).

В сучасному спорті аналіз техніки набуває нових розмірів завдяки передовим технологіям комп'ютерного зору та штучного інтелекту (Pardos, and et. al., 2022; Wang, and et. al., 2019). Моделі розпізнавання рухів можуть реєструвати найдрібніші деталі рухів та конвертувати їх у дані, які можна використовувати для досліджень та тренування. Ці дані допомагають тренерам та спортсменам піднімати свій рівень майстерності на нову висоту.

Зв'язок дослідження з науковими програмами, планами і темами. Робота виконана відповідно до теми НДР 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 – визначити ефективність використання сучасних технологій комп'ютерного зору для визначення ланок тіла борців у змагальній діяльності.

Матеріал та методи дослідження. У дослідженні використовувалися наступні методи: аналіз науково-методичної літератури та джерел Інтернет, аналіз відео та зображень за допомогою комп'ютерного зору (Computer Vision, Machine Learning), методи математичної статистики.

Для аналізу обрано фінальна сутичка у ваговій категорії до 65 кг на Олімпійських іграх у Токіо 2021 з вільної боротьби. Загальна кількість фрагментів відео склала 1763 зображення, обрані лише зображення, які відображають змагальну діяльність.

Для детектування осіб використовувалась модель машинного навчання Yolo (Jiang, та ін., 2022); для детектування ланок тіла використовувалась модель MediaPipe від Google (Pardos, and et. al., 2022; developers.google.com/mediapipe). Для кожного спортсмена визначались 21 ланка тіла. Не проводився аналіз ідентифікації частин обличчя (ніс, рот, очі тощо). Відео взято з офіційного сайту міжнародної федерації боротьби United World Wrestling (<https://unitedworldwrestling.org>) та веб-сервісу YouTube (youtube.com).

Результати дослідження та їх обговорення. Визначення ланок тіла спортсменів відбувалося в два етапи. Алгоритм дослідження ланок тіла спортсменів має наступну послідовність. Перший етап це визначення області фрагменту зображення (відео) де знаходяться атлети: перший борець (athlete1) та другий борець (athlete2). Приклад визначення певних фрагментів зображення представлено на рисунках 1, 2 та 3.

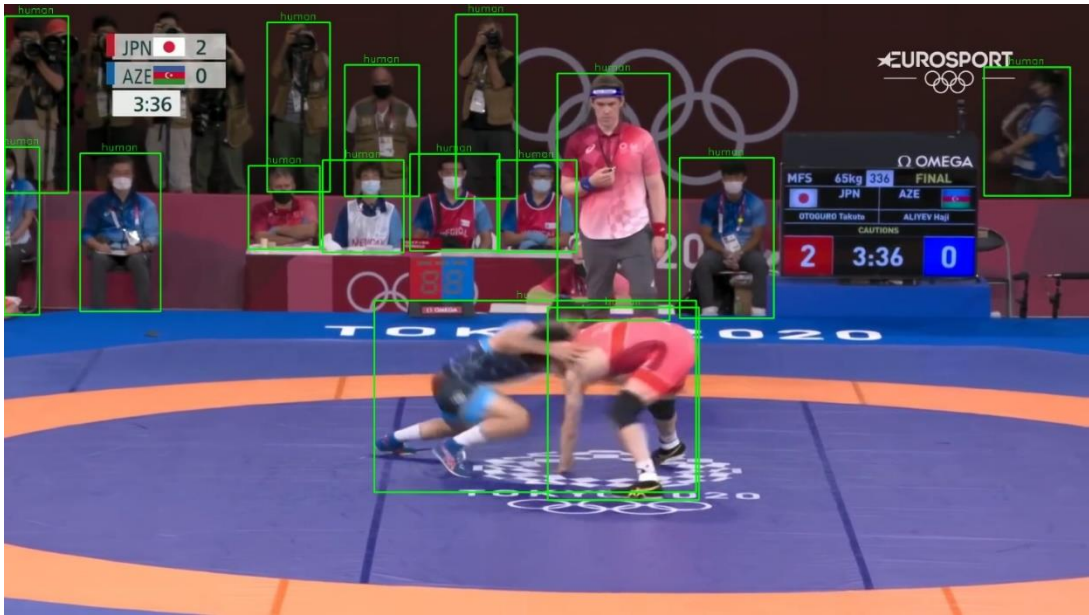


Рис. 1. Фрагмент зображення змагальної діяльності борців вільного стилю зі значною кількістю осіб

Цей етап дозволяв ідентифікувати область фрагменту відео на якому знаходиться певний спортсмен та потім для цього спортсмена вже визначити ланки тіла. Для зображень де спортсмени знаходяться крупним планом це не

викликає певних проблем та точність ідентифікації досить висока (рис. 3). Але в той же час для зображень де присутня значна кількість осіб, це створює певні додаткові виклики (приклад приведено на рисунку 1 та 2).

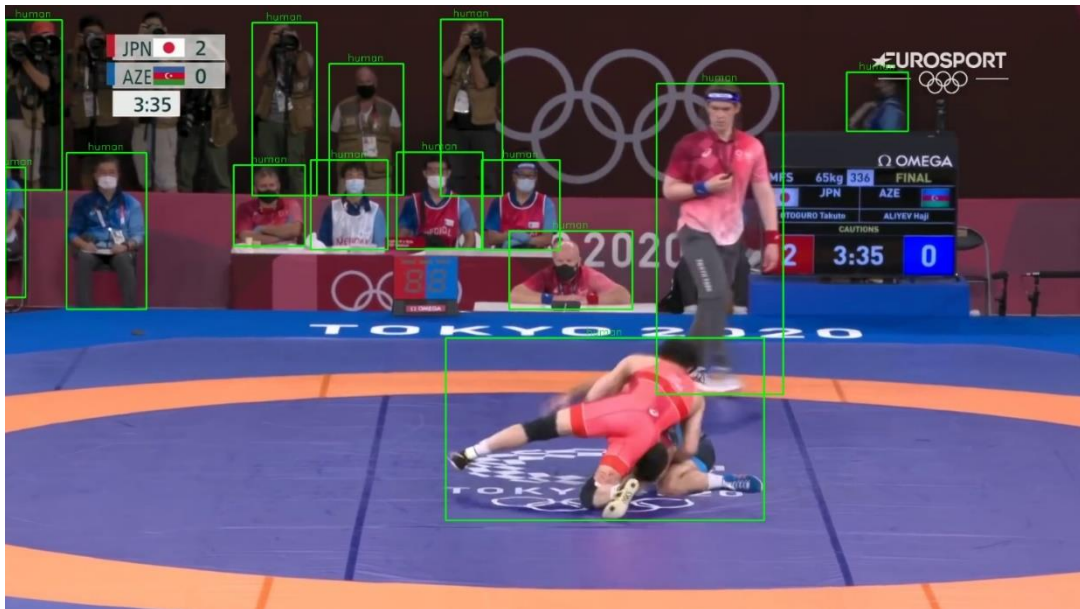


Рис. 2. Фрагмент зображення змагальної діяльності борців вільного стилю на якому не ідентифіковано одного зі спортсменів

Також окремим викликом є зображення де певний спортсмен знаходиться за іншим спортсменом, суддею тощо (приклад наведено на

рисунку 2). Треба зазначити, що спортсмен вважається не ідентифікованим коли вірогідність, його ідентифікації моделлю нейронної мережі Yolo менш 50 %.

Загальна кількість таких зображень склала 362 фрагмента, тобто на 20,5 % зображень не ідентифіковано обох спортсменів. Для таких зображень ідентифікація ланок тіла борців не проводилася.

Наступним етапом було визначення ланок тіла борців, визначення окремо проводилося для кожного спортсмена. Приклад, визначених ланок тіла та нанесення їх на зображення представлено на рисунку 3.

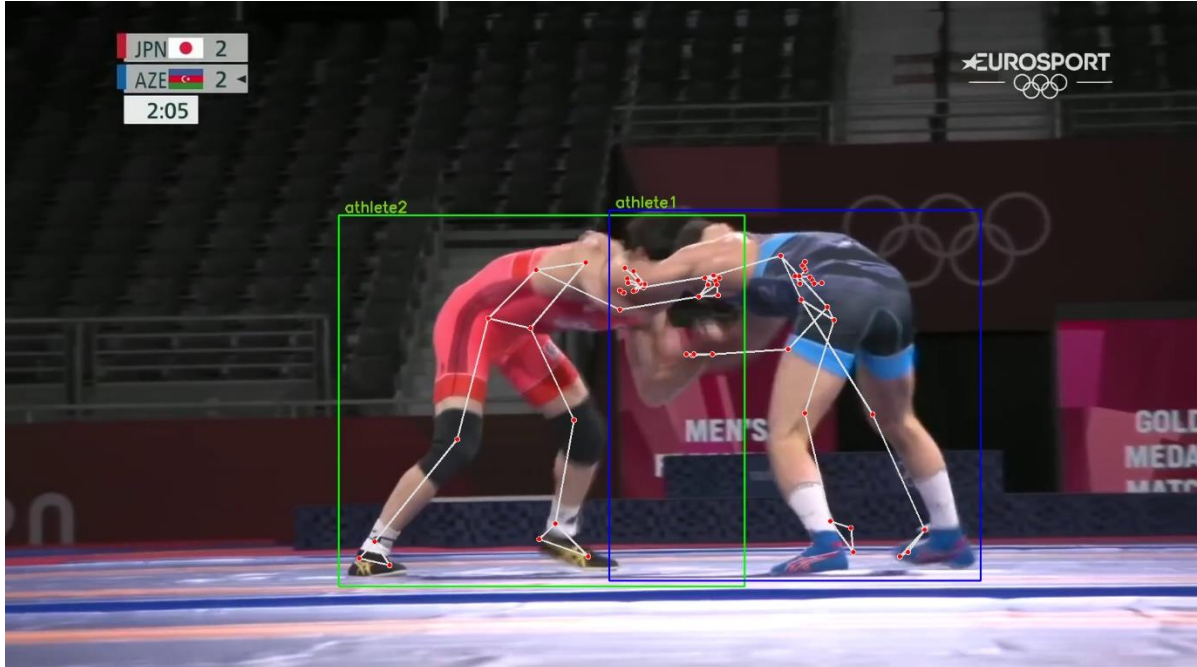


Рис. 3. Фрагмент зображення змагальної діяльності борців вільного стилю на якому нанесені ланки тіла спортсменів

Слід зазначити, що ні всі ланки тіла борців ідентифікуються, тобто вірогідність ідентифікації становить менш 50 %. Тому проведено аналіз зображень на яких модель нейронної мережи MediaPipe змогла ідентифікувати ланки тіла спортсменів. У таблиці 1 наведено точність ідентифікації ланок тіла першого та другого спортсмена (тільки для ланок тіла, які були ідентифіковані), а також відсоток зображень на яких не вдалося ідентифікувати ланки. Не розглядалися показники пов'язані з обличчям (очі, ніс тощо).

Отримані достатньо високі показники точності ідентифікації ланок тіла спортсменів: всі показники вище 78 %. Але треба розуміти, що діапазон показників від 50 до 100 %, з цим пов'язано висока точність результатів. Результат ідентифікації менш 50 %

вважався не ідентифікованим (це зазначено раніше).

Результати аналізу показали, що краще ідентифікуються ланки тіла нижніх кінцівок: стегно, коліно, щиколотка тощо. Точність ідентифікації вище 90 %. В той час, як точність ідентифікації верхніх кінцівок нижче. Це пов'язано з тим що спортсмени в процесі суточки проводять достатню кількість часу в захваті та підготовки до атаки. Протягом цього часу певні частини верхніх кінцівок закриті для ідентифікації.

Аналіз результатів кількості не ідентифікованих зображень показав схожу тенденцію з точністю ідентифікації. Найбільше не ідентифіковано ланок тіла пов'язаних зі верхніми кінцівками (більше 25 %). В той час, як не ідентифіковано ланок тіла пов'язаних зі нижніми кінцівками від 10 до 12 відсотків.

Таблиця 1

Показники точності ідентифікації ланок спортсменів в змагальній суточки

№	Ланки тіла спортсмена	Середня точність ідентифікації, %		Кількість зображень на яких не вдалося ідентифікувати ланки тіла, %
		Перший борець	Другий борець	
1	Шия (Neck)	78,4	81,2	22,6
2	Праве плече (Right Shoulder)	82,3	81,5	21,7
3	Ліве плече (Left Shoulder)	81,3	80,2	22,2
4	Правий лікоть (Right Elbow)	83,7	86,6	18,7
5	Лівий лікоть (Left Elbow)	86,6	85,3	19,2
6	Праве зап'ястя (Right Wrist)	80,1	79,9	26,3
7	Ліве зап'ястя (Left Wrist)	82,3	81,2	27,3
8	Права долоня (Right Palm)	82,4	80,4	29,8
9	Ліва долоня (Left Palm)	80,9	82,3	31,6
10	Палець на правій руці (Tip of Right Thumb)	79,6	79,9	33,5
11	Палець на лівій руці (Tip of Left Thumb)	78,8	79,7	32,3
12	Праве стегно (Right Hip)	93,7	92,9	15,6
13	Ліве стегно (Left Hip)	92,3	93,8	16,3
14	Праве коліно (Right Knee)	90,8	94,7	11,2
15	Ліве коліно (Left Knee)	92,7	93,4	12,3
16	Права щиколотка (Right Ankle)	92,7	93,4	11,5
17	Ліва щиколотка (Left Ankle)	92,6	92,9	10,4
18	Права п'ята (Right Heel)	91,9	92,8	11,4
19	Ліва п'ята (Left Heel)	91,8	92,6	11,0
20	Палець на правій нозі (Tip of Right Big Toe)	93,7	93,1	11,3
21	Палець на лівій нозі (Tip of Left Big Toe)	93,5	93,5	10,8

Візуальний аналіз зображень (приклад рисунок 3) показав, що певні з частинок ідентифікованих ланок не співпадають з реальним розташуванням ланок тіла спортсменів або ідентифікація відбувається з похибкою. Тому виникають певні сумніви до практичного використання отриманих результатів точності ідентифікації ланок тіла спортсменів. В цілому це підтверджує раніше отримані дані (Groos, Ramapriyo, & Ihlen, 2021; Pardos, and et. al., 2022) стосовного того, що найсучасніші моделі для оцінки пози людини зазвичай не відповідають вимогам реального застосування. Тому моделі потребують доопрацювання конкретно до певного виду діяльності. Також, окремим питанням є доцільність ідентифікації такої кількості ланок спортсменів у спортивній боротьбі, можливо для аналізу техніки змагальної діяльності потрібно менша кількість.

Висновки.

Проведено аналіз результатів використання сучасних технологій комп'ютерного зору для визначення ланок тіла борців у змагальній діяльності. Алгоритм дослідження ланок тіла спортсменів мав два етапи: перший етап це визначення області фрагменту зображення (відео) де знаходяться атлети та другий визначення ланок тіла кожного борця. На першому етапі дослідження вдалося ідентифікувати обох спортсменів на 79,5 % зображень. Аналіз точності ідентифікації ланок тіла спортсменів показав, що краще ідентифікуються ланки тіла нижніх кінцівок, ніж вірних кінцівок. Також встановлено, що більше 25 % ланок тіла верхніх кінцівок не ідентифікувалися. Це пов'язано з особливістю змагальної діяльності. Візуальний аналіз зображень показав, що певна частина ідентифікованих ланок не співпадають з

реальним розташуванням ланок тіла спортсменів або ідентифікація відбувається з похибкою, що потребує додаткових досліджень.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку будуть спрямовані на проведення аналізу ідентифікації ланок тіла спортсменів інших видів єдиноборств та пошук більш

точних алгоритмів (моделей) ідентифікації ланок тіла єдиноборців.

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.
- Бартік, П., Бойченко, Н.В., & Куриленко, М.М. (2014). Особливості змагальної діяльності в спортивній боротьбі. *Проблеми розвитку спортивних игр и єдиноборств в высших учебных заведениях*, 1, 18-22.
- 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
- Задорожна, О.Р. (2021). Тактика участі провідних спортсменок світу у системі змагань з жіночої боротьби упродовж олімпійського циклу 2013-2016 рр. *Єдиноборства*, 2, 47-61. DOI:10.15391/ed.2021-2.04
- Закорко, І.П. (2013). Використання елементів біомеханічного аналізу в навчально-тренувальному процесі дзюдоїстів високої кваліфікації. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт*, 112 (4), 123-126.
- Камаєв, О.І., Тропін, Ю.М., & Арнаут, В.Ю. (2019). Біомеханічний аналіз виконання технічних дій у спортивній боротьбі. *Проблеми і перспективи розвитку спортивних игр 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.В., Квасниця, О.М., Спесивих, О.О., & Квасниця, І.М. (2019). Прогнозування: методи, критерії та спортивний результат. *Спортивний вісник Придніпров'я*, 1, 39-47.
- Подригало, Л.В., & Володченко, О.А. (2016). Порівняльний аналіз біомеханічних аспектів кик-боксу та інших єдиноборств. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт*, 139 (1), 145-149.
- Тропін, Ю.Н., & Бойченко, Н.В. (2017). Техничко-тактическое мастерство борца. *Єдиноборства*, (3), 78-81.
- Тропін, Ю.Н., Латишев, Н.В., Бойченко, Н.В., Кожанова, О.С., & Мозолук, А.В. (2020). Анализ выступлений сборной команды Украины по греко-римской борьбе. *Український журнал медицини, біології та спорту*, 5(3), 492-497.
- Чертов, І.І., Бойченко, Н.В., Зантарає Г.М. & Мирошниченко, Е.С. (2021). Аналіз показників змагальної діяльності лідируючих дзюдоїсток вагової категорії до 52 кг. *Єдиноборства*, 1(19), 69-78. DOI:10.15391/ed.2021-1.07

- Чертов, І.І., Бойченко, Н.В., Пирог Ю.А. & Алексеев, А.Ф. (2020). Аналіз показників змагальної діяльності висококваліфікованих дзюдоїсток легких вагових категорій. *Єдиноборства*, 3(17), 4-12. DOI:10.15391/ed.2020-3.01
- Шандригось, В.І. (2018а). 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
- 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.
- Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo algorithm developments. *Procedia Computer Science*, 199, 1066-1073.
- 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.
- 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.
- United World Wrestling. Access Mode: – [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://unitedworldwrestling.org/> (дата звернення: 25.04.2023).
- 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. <https://doi.org/10.1145/3343031.3350910>
- Youtube. Men's freestyle 65 kg. FINAL Highlights. Olympic Games - Tokyo 2020 Access Mode: – [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.youtube.com/watch?v=4Gg8F85T3vo>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2017.02.002>

Стаття надійшла до редакції: 14.10.2023 р.

Опубліковано: 01.11.2023 р.

Abstract. *Latyshev M., Rybak L., Shtanagei D., Volsky D., Omelchuk M. Modern technologies for determining body links of wrestlers. Purpose: to determine the effectiveness of using modern computer vision technologies to determine the body parts of wrestlers in competitive activities. Material and methods. The following methods were used in the research: analysis of scientific and methodical literature and Internet sources, analysis of video and images with the help of computer vision (Computer Vision, Machine Learning), methods of mathematical statistics. The final bout in the 65 kg weight category at the 2021 Tokyo Olympics in freestyle wrestling was chosen for analysis. The total number of video fragments was 1763 images. The Yolo machine learning model was used to detect faces, and Google's MediaPipe model was used to detect body*

parts. For each athlete, 21 body parts were identified. **Results:** the accuracy of identifying athletes' body parts was obtained: all indicators were above 78 %. The results of the analysis showed that the lower limbs are better identified: hip, knee, ankle, etc. The identification accuracy is above 90%. At the same time, the identification accuracy of the upper limbs is lower. In our opinion, this is due to the fact that athletes spend a sufficient amount of time in the grip and preparing for an attack during the fight. During this time, certain parts of the upper limbs are closed for identification. Analysis of the results of the number of unidentified images showed a similar trend to the identification accuracy. Most of the unidentified body parts were associated with the upper limbs (more than 25 %). At the same time, 10 to 12 % of the body parts associated with the delicate limbs were not identified. **Conclusions.** The analysis of results of the use of modern technologies of computer vision for determination of links of a body of wrestlers in competitive activity is carried out. The algorithm for studying the body parts of athletes had two stages: the first stage is to determine the area of the image fragment (video) where the athletes are located and the second is to determine the body parts of each wrestler. At the first stage of the study, it was possible to identify both athletes in 79,5 % of the images. The analysis of the accuracy of the athletes' body parts identification showed that the body parts of the lower limbs are better identified than those of the right limbs. This is due to the peculiarity of competitive activity. The visual analysis of the images showed that a certain part of the identified links do not coincide with the actual location of the athletes' body links.

Keywords: freestyle wrestling, competitive activity, modern technologies, detection, body parts.

References.

- Arhypov, O.A., & Pytomec', O.P. (2016). Jakisnyj biomehanichnyj analiz tehniky bigu na korotki, seredni ta dovgi dystancii'. *Naukovyj chasopys NPU imeni M.P. Dragomanova*, 3 (70), 285-288.
- Bartik, P., Boychenko, N.V., & Kurylenko, M.M. (2014). Osoblyvosti zmagal'noi' dijal'nosti v sportyvnyj borot'bi. *Problemy razvitija sportivnyh igr i edinoborstv v vysshih uchebnyh zavedenijah*, 1, 18-22.
- Gamaliy, V. (2020). Biomehanichni aspekty racionalizacii' procesu navchannja ruhiv u procesi tehnicnoi' pidgotovky sportsmeniv. *Teorija i metodyka fizychnogo vyhovannja i sportu*, 28(2), 36-41. DOI:10.32652/tmfvs.2020.2.36-41
- Zadorozhna, O.R. (2021). Taktyka uchasti providnyh sportsmenok svitu u systemi zmagani' z zhinochoi' borot'by uprodovzh olimpijs'kogo cyklu 2013-2016 rr. *Jedynoborstva*, 2, 47-61. DOI:10.15391/ed.2021-2.04
- Zakorko, I.P. (2013). Vykorystannja elementiv biomehanichnogo analizu v navchal'no-trenaval'nomu procesi dzjudoi'stiv vysokoi' kvalifikacii'. Visnyk Chernigivs'kogo nacional'nogo pedagogichnogo universytetu. *Pedagogichni nauky. Fizyчне vyhovannja ta sport*, 112 (4), 123-126.
- Kamajev, O.I., Tropin, Ju.M., & Arnaut, V.Ju. (2019). Biomehanichnyj analiz vykonannja tehnicnyh dij u sportyvnyj borot'bi. *Problemy i perspektyvy rozvytku sportyvnyh igr i jedynoborstv u vyshhyh navchal'nyh zakladah*, 1, 32-35.
- Korobejnikov, G., Voroncov, A., Kostjuchenko, V., & Grygorenko, O. (2020). Analiz zmagal'noi' dijal'nosti zbirnoi' komandy Ukrainy z greko-ryms'koi' borot'by na chempionatah Jevropy 2019–2020 rokiv. *Teorija i metodyka fizychnogo vyhovannja i sportu*, (4), 27-33. DOI:10.32652/tmfvs.2020.4.27-33
- Latyshev M.V., Poljanychko O.M., Vol's'kyj D.S., Lahtadyr O.V., & Rybak L.O. (2022). Analiz poperednih dosjagnen' pryzeriv chempionatu svitu 2022 roku z vil'noi' borot'by. *Jedynoborstva*, 4(26), 44–53. DOI:10.15391/ed.2022-4.05
- Latyshev, M.V., Kvasnycja, O.M., Spesyvyh, O.O., & Kvasnycja, I.M. (2019). Prognozuvannja:

- metody, kryterii' ta sportyvnyj rezultat. *Sportyvnyj visnyk Prydniprov'ja*, 1, 39-47.
- Podrygalo, L.V., & Volodchenko, O.A. (2016). Porivnjal'nyj analiz biomechanichnyh aspektiv kik-boksu ta inshyh odnoborstv. *Visnyk Chernigivs'kogo nacional'nogo pedagogichnogo universytetu. Pedagogichni nauky. Fizychni vyhovannja ta sport*, 139 (1), 145-149.
- Tropyn, Ju.N., & Boychenko, N.V. (2017). Tehnyko-taktycheskoe masterstvo borca. *Jedynoborstva*, (3), 78-81.
- Tropyn, Ju.N., Latyshev, N.V., Boychenko, N.V., Kozhanova, O.S., & Mozoljuk, A.V. (2020). Analiz vystuplenyj sbornoj komandy Ukrainy po greko-rymskoj bor'be. *Ukrai'ns'kyj zhurnal medycyny, biologii' ta sportu*, 5(3), 492-497.
- Chertov, I.I., Boychenko, N.V., Zantaraja G.M. & Myroshnychenko, E.S. (2021). Analiz pokaznykiv zmagal'noi' dijial'nosti lidyrujuchyh dzjudoi'stok vagovoi' kategorii' do 52 kg. *Jedynoborstva*, 1(19), 69-78. DOI:10.15391/ed.2021-1.07
- Chertov, I.I., Boychenko, N.V., Pyrog Ju.A. & Alekseev, A.F. (2020). Analiz pokaznykiv zmagal'noi' dijial'nosti vysokokvalifikovanyh dzjudoi'stok legkyh vagovyh kategorij. *Jedynoborstva*, 3(17), 4-12. DOI:10.15391/ed.2020-3.01
- Shandrygos', V.I. (2018a). Systemno-istorychnyj analiz dosjagnen' krai'n-uchasnych' v zmagannjah z vil'noi' borot'by na Olimpijs'kyh Igrah (1904-2016 rr.). *Jedynoborstva*, 1 (7), 89-97.
- Shandrygos', V.I. (2018b). Vykorystannja informacijnyh tehnologij v teorii' i praktyci sportyvnyh jedynoborstv. *Naukovo-metodychni osnovy vykorystannja informacijnyh tehnologij v galuzi fizychnoi' kul'tury ta sportu*, 25(2), 137-41.
- Shandrygos', V.I., Blazhejko, A.I., & Latyshev, M.V. (2022). Stan i perspektyvy rozvytku vil'noi' borot'by v Ukrai'ni. *Jedynoborstva*, №2(24), 96–116, DOI:10.15391/ed.2022-2.09
- 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.
- Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo algorithm developments. *Procedia Computer Science*, 199, 1066-1073.
- 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., Podrygalo, 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.
- 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.
- United World Wrestling. Access Mode: – [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://unitedworldwrestling.org/> (дата звернення: 25.04.2023).
- 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. <https://doi.org/10.1145/3343031.3350910>
- Youtube. Men's freestyle 65 kg. FINAL Highlights. Olympic Games - Tokyo 2020 Access Mode: – [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.youtube.com/watch?v=4Gg8F85T3vo>
- 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. <https://doi.org/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

Рибак Леонід Олександрович: старший викладач; Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького: вул. Шевченка 46, м. Хмельницький, 29007 Україна.

Leonid Rybak: Senior Lecturer; National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after Bogdan Khmelnytsky: Shevchenko, 46, Khmelnytsky, 29007, Ukraine.

<https://orcid.org/0000-0003-0843-7613>

E-mail: rybakleonid@i.ua

Штанагей Дмитро Вікторович: доктор філософії, 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

Вольський Денис Сергійович: доктор філософії, 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: athlefe@gmail.com

Омельчук Микола Костянтинович: викладач; Хмельницький національний університет: вул. Інститутська 11, м. Хмельницький, 29016, Україна.

Mykola Omelchuk: Lecturer; Khmelnytsky National University: Institutskaya Street 11. Khmelnytskyi, 29016, Ukraine.

<http://orcid.org/0009-0007-6268-219X>

E-mail: podillyawrestling2023@ukr.net