

УДК 796.81:612.76:796.015.52

DOI <https://doi.org/10.24195/olympicus/2025-1.11>**Євстігнєєва Ірина Вікторівна**

кандидат педагогічних наук, доцент,
завідувач кафедри теоретичних основ фізичного та адаптивного виховання
Класичний приватний університет
ORCID ID: 0009-0000-2319-8396

Тищенко Валерія Олексіївна

доктор наук з фізичного виховання і спорту, професор,
професор кафедри теорії та методики фізичної культури і спорту
Запорізький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-9540-9612

Соколова Ольга Валентинівна

кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент,
доцент кафедри теорії та методики фізичної культури і спорту
Запорізький національний університет
ORCID ID: 0000-0003-1062-0935

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРЕНУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ В СПОРТИВНИХ ЄДИНОБОРСТВАХ ЗА ДОПОМОГОЮ БІОМЕХАНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У статті розглядається вплив сучасних інноваційних технологій на підготовку жінок у спортивних єдиноборствах. Аналізуються біомеханічні системи моніторингу рухів, сенсорні тренажери для розвитку швидкості реакції, технології віртуальної реальності для тактичної підготовки, а також цифрові системи аналізу бою. Мета дослідження – оцінити ефективність упровадження біомеханічного контролю, VR-симуляцій, сенсорних тренажерів та інерційних сенсорів у підготовці борців. Основна увага приділена аналізу змін у фізичних та технічних показниках спортсменів, зокрема вибуховій силі, швидкості реакції, точності рухів, витривалості та ефективності атакуючих дій. Методологія дослідження базується на експериментальному порівнянні двох груп спортсменів – контрольної, що тренувалася за традиційною методикою, та експериментальної, у тренувальний процес якої впроваджено інноваційні технології. Результати дослідження показали, що використання біомеханічного контролю та інноваційних тренувальних методик дало змогу спортсменам експериментальної групи значно покращити показники фізичної та технічної підготовки. Зокрема, сила ударних та кидкових рухів зросла на 14,2%, час реакції зменшився на 12,7%, витривалість ($\text{VO}_2 \text{ max}$) покращилася на 9,5%, точність технічних дій зросла на 25,7%, а ефективність атакуючих дій підвищилася на 14,9%. У контрольній групі, що тренувалася за традиційними методами, позитивна динаміка змін була менш вираженою. Отримані результати підтверджують доцільність використання інноваційних технологій у підготовці борців як ефективного засобу підвищення їхньої змагальної готовності. Висновки. Біомеханічний моніторинг та цифрові методи тренування не лише сприяють покращенню технічної майстерності та фізичної підготовки, а й мінімізують ризик травматизму завдяки більш точному розподілу навантажень. Упровадження таких технологій у систему спортивної підготовки може суттєво підвищити конкурентоспроможність борців на міжнародному рівні та забезпечити ефективну корекцію індивідуальних техніко-тактичних помилок спортсменів.

Ключові слова: спортивні єдиноборства, функціональний стан, сенсорні тренажери, VR-тренування, кінематичний аналіз, моторна координація.

Вступ. Зростання популярності жіночих єдиноборств потребує вдосконалення методів підготовки спортсменок, що враховують їхні фізіологічні особливості, стратегії ведення бою

та психоемоційну стійкість. Сучасні інноваційні технології відкривають нові можливості для оптимізації тренувального процесу, зменшення ризику травматизму й підвищення змагальної ефективності. Інтеграція цифрових рішень у підготовку бійчинь дає змогу персоналізувати тренування, коригувати техніку в реальному часі та створювати умови для безпечного відпрацювання складних елементів.

Зростання популярності жіночих єдиноборств сприяє активному впровадженню інноваційних методів підготовки. Очікується, що в майбутньому будуть розроблені ще точніші біомеханічні аналізатори, індивідуальні алгоритми підготовки на основі штучного інтелекту, а також адаптивні тренувальні системи, які зможуть автоматично підлаштовувати навантаження під фізіологічний стан спортсменки.

Сучасні біомеханічні системи, сенсорні тренажери, VR-симуляції у спортивному аналізі стають невід'ємною частиною підготовки спортсменок, що забезпечує новий рівень індивідуалізації тренувального процесу. Інтеграція цих технологій у жіночі єдиноборства сприятиме подальшому розвитку дисципліни та зростанню конкурентоспроможності спортсменок на світовій арені. Біомеханічні системи моніторингу, як-от 3D-аналіз руху (Motion Capture), високошвидкісний відеоаналіз та інерційні сенсори (IMU), дають змогу детально оцінити технічне виконання ударів, захисних дій і пересувань у рингу. Системи допомагають виявити неефективні рухи, оптимізувати траєкторію ударів та зменшити зайві енергетичні витрати під час бою.

Застосування біомеханічного контролю в жіночих єдиноборствах особливо важливе з огляду на фізіологічні особливості спортсменок. Жінки, порівняно із чоловіками, мають нижчий рівень м'язової маси, що потребує більш точного розподілу силового навантаження та вдосконалення техніки ударних рухів для ефективної реалізації потенціалу.

Однією з ключових переваг сучасних технологій є використання сенсорних тренажерів, як-от BlazePod, Fitlight Trainer, Reflexion, що допомагають розвивати швидкість реакції, периферійний зір та здатність миттєво ухвалювати рішень під час бою. Тренування з використанням сенсорних систем дають змогу покращити: швидкість реагування на зміну ситуації в бою, координацію ударів та ухилень, здатність концентрувати увагу на кількох об'єктах одночасно.

Окреслені технології особливо ефективні в жіночих єдиноборствах, оскільки дають змогу компенсувати відносно меншу вибухову силу завдяки покращенню тактичної гнучкості та швидкості ухвалення рішень.

Зв'язок роботи з важливими науковими програмами або практичними завданнями. Робота виконана відповідно до тем: «Теоретико-методичні засади вдосконалення навчально-тренувального процесу в різних видах спорту» (державний реєстраційний номер: 0122U001108) плану науково-дослідної роботи Запорізького національного університету на 2022–2026 рр.

Мета дослідження – визначити ефективність використання біомеханічного контролю, сенсорних тренажерів та VR-технологій у підготовці бійчинь спортивних єдиноборств.

Методи дослідження: біомеханічний аналіз – використання відеоаналізу та інерційних сенсорів для оцінки кінематичних характеристик ударів і переміщень; педагогічний експеримент; фізіологічне тестування – вимірювання сили удару, швидкості реакції, $\text{VO}_2 \text{ max}$, точності ударів і балансу рухів за допомогою відповідних тестів (таблиця 1); VR-симуляції та сенсорні платформи – оцінка покращення тактичного мислення, координації та зорово-моторної реакції після використання BlazePod, Fitlight Trainer, Nexersys та інших інтерактивних технологій; статистичний аналіз – використання t-критерію Стьюдента для оцінки достовірності змін у фізичних і технічних показниках між групами.

Результати. Для вдосконалення процесу підготовки нами в експериментальну групу впроваджено комплекс біомеханічного контролю та інноваційних тренувальних технологій, спрямованих на оптимізацію техніко-тактичних дій, розвиток вибухової сили, підвищення швидкісно-силових характеристик і покращення сенсомоторної координації.

Зокрема, до програми тренувань експериментальної групи інтегровано такі методи. Використання відеоаналізу високої частоти та інерційних сенсорів дало змогу провести кінематичний

Таблиця 1

Тести для перевірки підготовленості жінок у спортивних єдиноборствах

Якість	Тест	Параметри	Норма
Вибухова сила (ударна потужність)	Вимірювання сили удару за допомогою ударної платформи або динамометра	Максимальна сила удару (Н), імпульс сили (Н·с)	1500–2500 Н
Швидкість реакції	Використання BlazePod або Fitlight Trainer для тестування часу реакції на візуальні сигнали	Середній час реакції (мс)	<250 мс – висока швидкість реакції, 250–350 мс – середній рівень, >350 мс – потребує покращення
Витривалість	Wingate Test (30-секундний тест на велоергометрі)	VO ₂ max (мл/кг/хв)	≥45 мл/кг/хв
Гнучкість та мобільність суглобів	Sit-and-Reach (нахил вперед із положення сидючи) та оцінка амплітуди руху в плечовому й тазостегновому суглобах за допомогою гоніометра.	Гнучкість у попереку та стегнах (см)	≥30 см
Точність ударів	Використання інтерактивної ударної панелі (наприклад, Nexersys або FightCamp) для визначення точності влучень	Відсоток влучень у задані зони (%)	>85% – високий рівень, 70–85% – середній, <70% – потребує покращення
Координація рухів	Динамічний тест на швидкість комбінацій (10 ударів за 5 секунд).	Час виконання комбінації	10 ударів за 5 секунд – відмінний рівень
Збалансованість ударів	Виконання серії ударів правою та лівою рукою з однаковою швидкістю і силою	Співвідношення сили удару між руками (%)	Різниця <10%
Аналіз бою з використанням AI	Оцінка бою за допомогою програмного забезпечення (Corner AI, FightMetric).	Ефективність атак (%)	>80% ефективних атак – високий рівень

аналіз технічних дій борців, визначити відхилення в траєкторії рухів та оптимізувати розподіл навантаження між основними м'язовими групами. Це забезпечило більш раціональну структуру ударних, захисних і кидкових технік, мінімізуючи втрати енергії та підвищуючи ефективність виконання прийомів.

Включення в тренувальний процес BlazePod, Fitlight Trainer та інших інтерактивних систем дало змогу борцям експериментальної групи покращити реакцію на раптові зміни ситуації в поєдинку, що критично важливо при реалізації захисно-контратакувальних дій. Тестування показало, що використання таких технологій сприяє вдосконаленню периферійного зору, пришвидшенню ухвалення рішень і підвищенню загальної моторної реактивності спортсменів.

Упровадження VR-тренувань дало змогу імітувати змагальні ситуації з різними стилями боротьби, моделювати дії суперників і відпрацьовувати контрприйоми у віртуальному середовищі, що сприяло вдосконаленню просторово-часової адаптації борців, що особливо важливо при веденні сутичок на високій швидкості.

Запропонована система спеціалізованих інтервальних тренувань високої інтенсивності з акцентом на анаеробну потужність сприяла підвищенню рівня м'язової мобілізації, що дало змогу спортсменам ефективніше реалізовувати атакувальні та контратакувальні дії.

За допомогою детального аналізу розподілу навантаження між кінцівками та суглобами впроваджено коригувальні вправи для мінімізації асиметрії м'язової активності, що дало змогу борцям експериментальної групи зменшити ризик травмування й покращити стабільність положення тіла під час виконання технічних дій.

Результати дослідження демонструють значні позитивні зміни у фізичній та технічній підготовленості бійчинь після застосування біомеханічного контролю та сучасних тренувальних методик (табл. 2). Фізіологічний аналіз цих змін дає змогу оцінити механізми адаптації нерво-м'язової, енергетичної та сенсомоторної систем спортсменок.

Підвищення вибухової сили в спортсменок експериментальної групи є наслідком покращеної нейром'язової координації, що виникла в результаті цілеспрямованої роботи над кінематикою

ударних рухів. Інтенсивна стимуляція швидких м'язових волокон (тип II) у процесі тренувань з використанням біомеханічного аналізу дала змогу оптимізувати кінетичний ланцюг від нижніх кінцівок до верхньої частини тіла. У контрольній групі адаптація до навантажень відбувалася повільніше через відсутність персоналізованого контролю техніки удару, що пояснює нижчий відсоток приросту сили.

Значне зменшення часу реакції в експериментальній групі пояснюється вдосконаленням сенсомоторної інтеграції. Тренування з використанням сенсорних платформ (BlazePod, Fitlight Trainer) стимулювали розвиток зорово-моторної координації та формування швидкісних рефлексів. Покращення реакції відбулося завдяки пришвидшенню передаванню імпульсів у центральній нервовій системі, зокрема, скороченню латентного періоду між отриманням зорового сигналу та моторною відповіддю. Контрольна група, яка не використовувала такі інноваційні методи, продемонструвала менш виражені зміни.

Підвищення показників аеробної потужності в спортсменок експериментальної групи є результатом збільшення мітохондріальної біогенезу та покращення ефективності кисневого транспорту до м'язів, які працюють. Інтервальні тренування високої інтенсивності, які застосовували в експериментальній програмі, сприяли розвитку серцево-судинної системи та підвищенню аеробно-анаеробного порогу. Контрольна група, яка дотримувалася традиційних тренувальних підходів, показала лише незначне підвищення $\text{VO}_{2\text{max}}$, що вказує на обмеженість класичних кардіотренувань у контексті підготовки бійчинь.

Висока ефективність розвитку гнучкості в експериментальній групі пояснюється застосуванням методик PNF (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation) і мобілізаційних вправ із біомеханічним моніторингом. Підвищення еластичності м'язів і сухожиль сприяло розширенню амплітуди рухів, що, своєю чергою, покращило кінематику ударів та маневреність під час поєдинку. Контрольна група демонструвала помірне зростання цього показника, що свідчить про недостатню ефективність статичного розтягування без індивідуального контролю біомеханічних параметрів.

Значний приріст точності ударів в експериментальній групі пояснюється вдосконаленням нейром'язового контролю та підвищенням просторового сприйняття завдяки VR-тренуванням та інтерактивним панелям (Nexersys, FightCamp). Покращення контролю руху відбулося завдяки більш ефективному використанню пропріоцептивних механізмів, що дало змогу спортсменкам краще адаптувати силу та напрямок ударів залежно від позиції супротивника. Контрольна група демонструвала менш виражені зміни, оскільки класичні методи тренування не давали змоги аналізувати кінцеву точку удару з такою ж точністю. Різке покращення цього показника в експериментальній групі свідчить про значну активізацію роботи мозочка та базальних гангліїв, що відповідають за моторне навчання та рухову адаптацію.

Таблиця 2

Динаміка показників підготовленості контрольної та експериментальної групи

Тест	КГ (до)	КГ (після)	ЕГ (до)	ЕГ (після)	Зміни у КГ (%)	Зміни в ЕГ (%)
Вибухова сила (Н)	1600	1700	1620	1850	6,25	14,2
Швидкість реакції (мс)	320	310	315	275	-3,1	-12,7
Витривалість ($\text{VO}_{2\text{max}}$, мл/кг/хв)	43	44	42	46	2,3	9,5
Гнучкість (см)	28	29	27	32	3,6	18,5
Точність ударів (%)	72	76	70	88	5,6	25,7
Координація рухів (удари за 5 с)	8	9	7	10	12,5	42,9
Збалансованість ударів (%)	12	11	13	8	-8,3	-38,5
Ефективність атак (%)	75	78	74	85	4,0	14,9

Використання біомеханічного аналізу дало змогу скоригувати помилки в розподілі м'язового тону, що призвело до більш плавних і точних рухів під час виконання серій ударів. Контрольна група показала повільніший темп прогресу через менш ефективну систему зворотного зв'язку під час тренувань.

Зниження дисбалансу між ударною та неосновною рукою є наслідком активного використання асиметричних тренувань, що змушували спортсменок рівномірно навантажувати обидві сторони тіла.

Біомеханічний контроль виявив компенсаторні рухи, які заважали спортсменкам реалізувати повний потенціал недомінантної руки. Упровадження відповідних корекцій допомогло суттєво покращити баланс рухів у бійців експериментальної групи, тоді як контрольна група демонструвала мінімальний прогрес. Підвищення ефективності атак є результатом комплексного впливу покращення точності, координації та реакції на зміну ситуації в бою.

Висновки. Отримані результати свідчать про те, що використання біомеханічного аналізу, VR-симуляцій та сенсорних тренажерів у тренувальному процесі бійчинь сприяє суттєвому покращенню фізичних і технічних показників. Основні зміни відбулися внаслідок адаптації нервово-м'язової системи, покращення координації та сенсомоторної інтеграції, що дало змогу спортсменкам експериментальної групи значно покращити вибухову силу, швидкість реакції, точність ударів і загальну ефективність атак.

Фізіологічні зміни, зафіксовані в експериментальній групі, підтверджують високу ефективність персоналізованого біомеханічного контролю, який дає змогу виявити й виправити технічні недоліки, оптимізувати рухові стратегії та зменшити енергетичні втрати під час виконання ударів.

Контрольна група, яка тренувалася за традиційними методами без використання інноваційних технологій, показала менш виражені зміни, що свідчить про обмеженість стандартного підходу до підготовки бійців. Упровадження біомеханічного моніторингу в систему тренувань може значно підвищити рівень техніко-тактичної підготовки жінок у спортивних єдиноборствах та сприяти досягненню вищих спортивних результатів.

Література:

1. Квасниця О., Петрова Н., Корольов Б., Ляшенко О., & Вербицький С. Популярність єдиноборств в Україні. *Єдиноборства*. 2023. № 3 (29). С. 28–38.
2. Коробейніков Г. В., Данько Т. Г., Коханевич А. І. Функціональний стан кваліфікованих борців на етапі спеціалізованої базової підготовки. *Єдиноборства*. 2022. № 2. С. 17–25.
3. Радченко Ю. А. Теоретико-методичні засади контролю та управління в єдиноборствах (на матеріалі рукопашного бою). *Olympicus*. 2024. № 2. С. 174–183.
4. Романенко В., & Цигановська Н. Новітні можливості оцінки простої зорово-моторної реакції з використанням сучасних мобільних технологій. *Єдиноборства*. 2024. № 3 (33). С. 59–69.
5. Тропін Ю., Романенко В., Мирошніченко Є., Джерелій В., & Володченко О. Особливості фізичної підготовки в різних видах єдиноборств (систематичний огляд). *Єдиноборства*. 2023. № 3 (29). С. 98–117.
6. Romanenko V., Piatysotska S., Tropin Y., Rydzik Ł., Holokha V. & Boychenko N. Study of the reaction of the choice of combat athletes using computer technology. *Slobozhanskyi Herald of Science & Sport*. 2022. № 4. С. 97–103.
7. Tyshchenko V., Karaulova S., Lytvynenko, Hlukhov I., Drobot K., Liuta D. Influence of Hand-to-Hand Combat Training on Functional Fitness of Cadets at Higher Educational Establishments of the Ministry of Internal Affairs. *Slobozhanskyi herald of science and sport*. 2024. Vol. 28 (1). P. 3–13.

References:

1. Kvasnytsya, O., Petrova, N., Korol'ov, B., Lyashenko, O., & Verbyts'kyi, S. (2023). Popularity of martial arts in Ukraine [Popularity of martial arts in Ukraine]. *Yedynoborstva – Martial Arts*, 3 (29), 28–38 [in Ukrainian].

2. Korobeynikov H.V., Dan'ko T.H., Kokhanevych A.I. (2022). Funktsional'nyy stan kvalifikovanykh bortsiv na etapi spetsializovanoyi bazovoyi pidhotovky [Functional state of qualified wrestlers at the stage of specialized basic training]. *Yedynoborstva – Martial Arts*, 2, 17–25 [in Ukrainian].
3. Radchenko YU. A. (2024). Teoretyko-metodychni zasady kontrolyu ta upravlinnya v yedynoborstvakh (na materialy rukopashnoho boyu) [Theoretical and methodological principles of control and management in martial arts (based on hand-to-hand combat)]. *Olympicus*, 2, 174–183 [in Ukrainian].
4. Romanenko, V., & Tsyhanovs'ka, N. (2024). Novitni mozhyvosti otsinky prostoyi zorovo-motornoyi reaktsiyi z vykorystannyam suchasnykh mobil'nykh tekhnolohiy [New possibilities for assessing simple visual-motor reaction using modern mobile technologies]. *Yedynoborstva – Martial Arts*, (3 (33)), 59–69 [in Ukrainian].
5. Tropin, Yu., Romanenko, V., Myroshnychenko, YE., Dzhereliy, V., & Volodchenko, O. (2023). Osoblyvosti fizychnoyi pidhotovky v riznykh vydakh yedynoborstv (systematychnyy ohlyad) [Peculiarities of physical training in different types of martial arts (systematic review)]. *Yedynoborstva – Martial Arts*, 3 (29)), 98–117 [in Ukrainian].
6. Romanenko, V., Piatysotska, S., Tropin, Y., Rydzik, Ł., Holokha, V., & Boychenko, N. (2022). Study of the reaction of the choice of combat athletes using computer technology. *Slobozhanskyi Herald of Science & Sport*, 4, 97–103.
7. Tyshchenko V., Karaulova S., Lytvynenko, Hlukhov I., Drobot K., & Liuta D. (2024). Influence of Hand-to-Hand Combat Training on Functional Fitness of Cadets at Higher Educational Establishments of the Ministry of Internal Affairs. *Slobozhanskyi herald of science and sport*, 28 (1), 3–13.

Ievstigneieva Iryna, Tyshchenko Valeria, Sokolova Olha

OPTIMIZATION OF THE TRAINING PROCESS IN COMBAT SPORTS THROUGH BIOMECHANICAL CONTROL AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

The article examines the impact of modern innovative technologies on the training of female athletes in combat sports. It analyzes biomechanical movement monitoring systems, sensory trainers for reaction speed development, virtual reality technologies for tactical preparation, and digital combat analysis systems. The aim of the study is to evaluate the effectiveness of implementing biomechanical control, VR simulations, sensory trainers, and inertial sensors in the training of wrestlers. The primary focus is on analyzing changes in athletes' physical and technical performance, including explosive strength, reaction speed, movement accuracy, endurance, and attacking efficiency. The research methodology is based on an experimental comparison of two groups of athletes: a control group, which trained using traditional methods, and an experimental group, where innovative technologies were incorporated into the training process. The study results demonstrated that the use of biomechanical control and innovative training methodologies significantly improved the physical and technical performance of athletes in the experimental group. Specifically, the strength of striking and throwing movements increased by 14.2%, reaction time decreased by 12.7%, endurance (VO₂ max) improved by 9.5%, technical movement accuracy increased by 25.7%, and the effectiveness of attacking actions rose by 14.9%. In the control group, which followed traditional training methods, the positive dynamics of changes were less pronounced. Conclusions. The obtained results confirm the feasibility of using innovative technologies in combat sports training as an effective means of enhancing competitive readiness. Biomechanical monitoring and digital training methods not only improve technical proficiency and physical fitness but also minimize the risk of injuries by ensuring a more precise distribution of loads. The integration of these technologies into the sports training system can significantly increase the competitiveness of wrestlers at the international level and ensure effective correction of individual technical and tactical errors.

Key words: combat sports, functional state, sensory trainers, VR training, kinematic analysis, motor coordination.