

УДК 796.81:612.76:796.015.52

DOI <https://doi.org/10.26661/2663-5925-2025-1-46>

БІОМЕХАНІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КИДКІВ У ГРЕКО-РИМСЬКІЙ БОРОТЬБІ

Міфтахутдінова Д. А.

*кандидат наук з фізичного виховання і спорту,
старший викладач кафедри фізичної культури і спорту
Запорізький національний університет
вул. Університетська, 66, Запоріжжя, Україна
orcid.org/0000-0002-9865-2300
mifta_d.a._@ukr.net*

Воронкова Т. В.

*викладач кафедри фізичної культури і спорту
Запорізький національний університет
вул. Університетська, 66, Запоріжжя, Україна
orcid.org/0009-0009-9904-6378
kafedraops@ukr.net*

Сватєєв В. А.

*магістр спеціальності 017 «Фізична культура і спорт»
освітньої програми «Спорт»
Запорізький національний університет
вул. Університетська, 66, Запоріжжя, Україна
orcid.org/0009-0004-4733-2878
vsvatiev@ukr.net*

Мозолюк О. В.

*доцент кафедри теорії і методики фізичного виховання і спорту
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, Хмельницький, Україна
orcid.org/0009-0009-4796-8354
mozovita@meta.ua*

Ключові слова: греко-римська боротьба, біомеханіка, кидки, *motion capture*, розподіл ваги, центр маси, спортивна техніка.

Дослідження спрямоване на порівняльний біомеханічний аналіз виконання кидків борцями двох рівнів підготовки – майстрами спорту та спортсменами середнього рівня (КМС, I розряд). У дослідженні взяли участь 24 борці греко-римського стилю віком 18–25 років. Учасники були поділені на дві групи: група А (досвідчені спортсмени) та група В (менш досвідчені). Аналіз виконання кидків здійснювався за допомогою системи *motion capture* Vicon (240 кадрів/с), інерційних сенсорів Xsens, силової платформи Kistler та відеоаналізу високої швидкості (120 кадрів/с). Було досліджено три базові прийоми: кидок через спину, підворот і кидок прогином. Результати показали, що досвідчені борці демонстрували стабільніші кути згину суглобів, що сприяло ефективнішому використанню вибухової сили. Кут згину колінного суглоба у групі А становив $98,32 \pm 2,45^\circ$, тоді як у групі В – $106,58 \pm 4,12^\circ$ ($p < 0,01$). Аналіз переміщення центру маси показав, що у досвідчених спортсменів воно було глибшим ($14,85 \pm 2,25$ см проти $9,72 \pm 3,12$ см, $p < 0,01$), що дозволяло створити оптимальний імпульс для кидка. Час

виконання прийомів був значно коротшим у групі А: наприклад, кидок через спину виконувався за $812,45 \pm 35,72$ мс, тоді як у менш досвідчених борців – за $968,32 \pm 42,51$ мс ($p < 0,01$). Кореляційний аналіз показав, що правильний розподіл ваги між кінцівками ($r = -0,82$, $p < 0,001$) та ефективне зниження центру маси ($r = 0,79$, $p < 0,001$) суттєво впливають на успішність виконання кидків. Отримані результати підтверджують важливість стабільних біомеханічних параметрів для вдосконалення технічної підготовки борців. Практичне значення дослідження полягає у використанні біомеханічного аналізу для персоналізації тренувального процесу та оптимізації техніки кидків.

BIOMECHANICAL ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THROWS IN GRECO-ROMAN WRESTLING

Miftakhutdinova D. A.

*PhD of Physical Education and Sports,
Senior Lecturer at the Department of Physical Culture and Sports
Zaporizhzhia National University
Universytetska str., 66, Zaporizhzhia, Ukraine
orcid.org/0000-0002-9865-2300
mifta_d.a._@ukr.net*

Voronkova T. V.

*Lecturer at the Department of Physical Culture and Sports
Zaporizhzhia National University
Universytetska str., 66, Zaporizhzhia, Ukraine
orcid.org/0009-0009-9904-6378
kafedraops@ukr.net*

Svatiev V. A.

*Master of Specialty 017 "Physical Culture and Sport"
Educational Program "Sport"
Zaporizhzhia National University
Universytetska str., 66, Zaporizhzhia, Ukraine
orcid.org/0009-0004-4733-2878
vsvatiev@ukr.net*

Mozoliuk O. V.

*Associate Professor at the Department of Theory and Methods
of Physical Education and Sports
Khmelnyskyi National University
Instytutska str., 11, Khmelnyskyi, Ukraine
orcid.org/0009-0009-4796-8354
mozovita@meta.ua*

Key words: *Greco-Roman wrestling, biomechanics, throws, motion capture, weight distribution, center of mass, sports technique.*

This study aimed to conduct a comparative biomechanical analysis of throw execution between two groups of wrestlers – elite athletes (Masters of Sport) and intermediate-level competitors (Candidates for Master of Sport, First-Class athletes). The study involved 24 Greco-Roman wrestlers aged 18–25, divided into two groups: Group A (elite athletes) and Group B

(less experienced wrestlers). The analysis of throw execution was conducted using the Vicon motion capture system (240 fps), Xsens inertial sensors, a Kistler force plate, and high-speed video analysis (120 fps). Three fundamental throws were examined: back-arch throw, pivot throw, and suplex. The results demonstrated that experienced wrestlers exhibited more stable joint flexion angles, facilitating more effective use of explosive power. The knee flexion angle in Group A was $98.32 \pm 2.45^\circ$, whereas in Group B, it was $106.58 \pm 4.12^\circ$ ($p < 0.01$). Center of mass displacement analysis revealed that experienced wrestlers lowered their center of mass by 14.85 ± 2.25 cm, compared to 9.72 ± 3.12 cm in the less experienced group ($p < 0.01$), optimizing the impulse for throws. Execution time was significantly shorter in Group A: for example, the back-arch throw was performed in 812.45 ± 35.72 ms, while in Group B, it took 968.32 ± 42.51 ms ($p < 0.01$). Correlation analysis revealed that proper weight distribution between the supporting and attacking legs ($r = -0.82$, $p < 0.001$) and effective lowering of the center of mass ($r = 0.79$, $p < 0.001$) significantly influenced throw success. The findings confirm the importance of stable biomechanical parameters in refining technical wrestling skills. The practical significance of this study lies in applying biomechanical analysis to personalize training programs and optimize throwing techniques.

Греко-римська боротьба – це один із найстаріших і найтехнічніших видів спорту, де успіх спортсмена залежить від комбінації сили, швидкості, витривалості та ідеального виконання технічних прийомів. Одним із ключових аспектів боротьби є ефективне виконання кидків, які дозволяють борцю дістати перевагу над суперником і набрати максимальну кількість балів. Незважаючи на високу технічність цих дій, більшість тренувальних методик базується на традиційному підході без детального аналізу біомеханіки руху борця.

Сучасні методи аналізу рухів, зокрема технології motion capture та сенсорні системи, дозволяють детально оцінювати кінематику кидків, розподіл навантаження на суглоби та траєкторію руху спортсмена. Використання цих інструментів допомагає визначити оптимальні кути згину суглобів, положення центру маси та ідеальну траєкторію руху, що сприяє максимальній ефективності прийомів.

Мета дослідження – провести біомеханічний аналіз ефективності кидків у греко-римській боротьбі, визначивши ключові кінематичні та динамічні параметри, що впливають на результативність технічних дій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Біомеханічний аналіз у греко-римській боротьбі є відносно новим напрямом досліджень, проте вже існує низка наукових праць, які вивчають кінематику та динаміку технічних дій борців.

Біомеханічні особливості кидків у боротьбі. Попередні дослідження підтверджують, що ефективне виконання кидків залежить від оптимального кута згину суглобів та узгодженості рухів тіла. Так, Barbas et al. (2019) [5] виявили, що

успішні виконання кидків «підворот» та «захоплення корпусу» характеризуються стабільним нахилом корпусу ($45\text{--}50^\circ$) та активним використанням м'язів нижніх кінцівок. Iermakov et al. (2020) [6] зазначають, що головним фактором ефективного виконання кидків є моментальне перенесення центру маси та координація рухів верхніх і нижніх кінцівок.

Використання motion capture у спортивній біомеханіці. Методи тривимірного аналізу руху широко застосовуються у видах спорту, де важливе точне положення тіла в просторі. У дослідженнях Moras et al. (2018) [7] було продемонстровано, що система motion capture дозволяє оцінити зміну кутів згину колінного та кульшового суглобів із точністю до 1° . Це особливо важливо у боротьбі, де швидкість виконання прийому може впливати на результат сутички [1; 4].

Біомеханічний аналіз розподілу силових навантажень під час виконання прийомів. Дослідження Silva et al. (2021) [8] показало, що борці, які використовують правильний розподіл ваги (близько 60 % на передній нозі перед кидком), виконують прийом значно ефективніше, ніж ті, хто рівномірно розподіляє вагу. Крім того, Curby & Petroski (2018) [9] виявили, що борці, які використовують максимальний вибуховий імпульс під час завершальної фази кидка, мають вищий рівень успішності в змагальних умовах.

Попри значну кількість праць, що стосуються біомеханіки боротьби, більшість із них фокусується на загальних рухових характеристиках [2; 10]. У нашому дослідженні з використанням сучасних технологій motion capture та сенсорних систем буде проведено детальний аналіз кутів згину суглобів, розподілу ваги та траєкторії руху

під час виконання ключових кидків. Це дозволить отримати більш точні дані, які можуть бути використані для вдосконалення методики навчання борців.

Для оцінки біомеханічних параметрів ефективності кидків у греко-римській боротьбі було проведено експериментальне дослідження із залученням борців двох рівнів майстерності. Метою було зіставити біомеханічні характеристики кидків між досвідченими спортсменами (майстрами спорту) та борцями середнього рівня та визначити ключові фактори, що впливають на ефективність виконання прийомів.

У дослідженні взяли участь 24 борці, розділені на дві групи:

Група А (досвідчені) – 12 спортсменів із кваліфікацією майстер спорту або вище, стаж у боротьбі понад 8 років.

Група В (менш досвідчені) – 12 спортсменів із кваліфікацією КМС або I розряд, стаж боротьби 4–6 років.

Для оцінки біомеханічних характеристик було використано:

- система motion capture Vicon (12 камер, 240 кадрів/с) – для аналізу траєкторії рухів борця;
- інерційні сенсори Xsens – для визначення кутів згину суглобів під час виконання кидків;
- силова платформа Kistler – для оцінки розподілу ваги між опорною та атакуючою ногою;
- відеоаналіз (120 кадрів/с) – для оцінки частоти успішного виконання кидків.

Досліджувалися три ключові прийоми:

- кидок через спину з захопленням корпусу;
- підворіт із захопленням руки та корпусу;
- кидок прогином.

Критерії ефективності виконання кидків. Для об'єктивного аналізу ефективності кидка використовувалися такі критерії:

- Час виконання прийому (мс) – від початкового руху до повного контролю над суперником.
- Енергетичні затрати (Вт/кг) – оцінювалися за допомогою силової платформи.
- Частота успішного виконання (%) – аналізувалися повторні спроби борців на тренувальному етапі.
- Стабільність техніки – варіабельність траєкторії руху між повторними спробами.

Статистичний аналіз включав дисперсійний аналіз (ANOVA) для оцінки відмінностей між групами, а також кореляційний аналіз для встановлення взаємозв'язку між біомеханічними параметрами та успішністю кидків.

Отримані результати дозволили виявити суттєві відмінності між досвідченими борцями (група А) та менш досвідченими спортсменами (група В) у ключових біомеханічних параметрах виконання кидків.

Досвідчені борці демонстрували менші варіації у кутах згину, що свідчить про стабільність техніки. У менш досвідчених спортсменів спостерігалися значні відхилення, що могло впливати на ефективність виконання прийому.

Було виявлено, що у досвідчених спортсменів центр маси перед кидком знижувався на $14,85 \pm 2,25$ см, що дозволяло створити оптимальний імпульс для кидка. У менш досвідчених борців це значення становило $9,72 \pm 3,12$ см, що може свідчити про меншу ефективність підготовчої фази руху ($p < 0,01$).

Час виконання кидка (від початкового руху до моменту контролю суперника) був значно коротшим у досвідчених спортсменів.

Таблиця 1

Порівняння кутів згину суглобів у досвідчених та менш досвідчених борців під час виконання кидків

Суглоб	Група А (майстри спорту)	Група В (КМС, I розряд)	p
Колінний	$98,32 \pm 2,45^\circ$	$106,58 \pm 4,12^\circ$	$p < 0,01$
Кульшовий	$87,15 \pm 3,12^\circ$	$93,46 \pm 4,78^\circ$	$p < 0,05$
Плечовий	$72,48 \pm 2,98^\circ$	$79,73 \pm 3,51^\circ$	$p < 0,01$

Таблиця 2

Порівняння кутів згину суглобів у досвідчених та менш досвідчених борців під час виконання кидків

Кидок	Група А (мс)	Група В (мс)	p
Кидок через спину	$812,45 \pm 35,72$	$968,32 \pm 42,51$	$p < 0,01$
Підворіт	$725,89 \pm 28,41$	$884,15 \pm 36,97$	$p < 0,01$
Кидок прогином	$945,33 \pm 40,29$	$1075,78 \pm 45,13$	$p < 0,05$

За даними силової платформи, перед виконанням кидка досвідчені борці розподіляли вагу $62,73 \pm 2,85$ % на передню ногу та $37,27 \pm 2,14$ % – на задню. У менш досвідчених спортсменів цей розподіл був менш чітким ($55,18 \pm 3,72$ % / $44,82 \pm 3,01$ %, $p < 0,05$), що могло впливати на втрату ефективності під час вибухового руху.

Було встановлено високий кореляційний зв'язок між часом виконання кидка та точністю розподілу ваги перед початком руху ($r = -0,82$, $p < 0,001$), а також між динамікою зміщення центру маси та успішністю виконання прийому ($r = 0,79$, $p < 0,001$).

Отримані нами результати узгоджуються з попередніми дослідженнями, які вивчали біомеханіку кидків у греко-римській боротьбі та ефективність різних технік.

Наші дані показали, що досвідчені борці використовують менші варіації у кутах згину колінного, кульшового та плечового суглобів під час виконання кидка, що підвищує ефективність прийомів. Це підтверджує результати Barbas et al. (2019) [5], які встановили, що борці світового рівня мають стабільний кут згину коліна в межах $95\text{--}100^\circ$ у фазі поштовху при кидку через спину, тоді як менш досвідчені спортсмени можуть мати відхилення до $10\text{--}15^\circ$.

Також наші результати збігаються з дослідженням Silva et al. (2021) [8], яке продемонструвало, що оптимальний кут згину кульшового суглоба при вибуховому моменті кидка повинен бути у межах $85\text{--}90^\circ$. У нашому дослідженні борці групи А демонстрували середнє значення $87,15 \pm 3,12^\circ$, що відповідає встановленим параметрам, тоді як у менш досвідчених спортсменів цей кут був більшим ($93,46 \pm 4,78^\circ$), що могло впливати на втрату вибухової потужності.

Результати нашого дослідження показали, що у досвідчених спортсменів центр маси перед кидком знижується на $14,85 \pm 2,25$ см, тоді як у менш досвідчених – лише на $9,72 \pm 3,12$ см ($p < 0,01$). Це узгоджується з висновками Iermakov et al. (2020) [6], які зазначають, що ефективне виконання кидка пов'язане з активним зниженням центру маси щонайменше на 12–15 см перед вибуховим поштовхом.

Час виконання кидка є важливим фактором, що впливає на успішність проведення прийомів у змагальних умовах. Наше дослідження показало, що досвідчені борці виконують кидок через спину за $812,45 \pm 35,72$ мс, тоді як менш досвідчені – за

$968,32 \pm 42,51$ мс ($p < 0,01$). Це підтверджується дослідженням Moras et al. (2018) [7], у якому встановлено, що час виконання ефективного кидка у топ-спортсменів не перевищує 850 мс, тоді як у борців нижчого рівня цей показник може перевищувати 950 мс через недостатню координацію рухів.

У нашому дослідженні оптимальний розподіл ваги між опорною та атакуючою ногою у досвідчених борців становив $62,73 \pm 2,85$ % / $37,27 \pm 2,14$ %, тоді як у менш досвідчених цей показник був $55,18 \pm 3,72$ % / $44,82 \pm 3,01$ %. Дослідження Curby & Petroski (2018) [9] показало, що у спортсменів високого рівня перед початком кидка 60–65 % ваги переноситься на передню ногу, що створює ідеальні умови для вибухового руху. Таким чином, наші дані узгоджуються з попередніми висновками та підтверджують важливість правильного розподілу маси тіла перед атакою.

Кореляційний аналіз показав, що:

- чим точніше розподілена вага між кінцівками, тим швидше виконується кидок ($r = -0,82$, $p < 0,001$);

- чим більше знижується центр маси перед кидком, тим вищий відсоток успішного виконання прийому ($r = 0,79$, $p < 0,001$);

- висока варіабельність у кутах згину суглобів негативно корелює з ефективністю техніки ($r = -0,75$, $p < 0,01$).

Отримані висновки підтверджують результати Silva et al. (2021) [8], які довели, що спортсмени, котрі демонструють стабільні показники згину суглобів і точний розподіл ваги, виконують кидки ефективніше у 84 % випадків.

Висновки. Проведене дослідження дозволило виявити ключові біомеханічні параметри, що впливають на ефективність виконання кидків у греко-римській боротьбі. Порівняльний аналіз між досвідченими борцями (майстрами спорту) та спортсменами середнього рівня показав, що стабільність техніки, розподіл ваги та оптимальні кути згину суглобів мають вирішальне значення для успішного виконання прийомів. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення тренувальних методик у греко-римській боротьбі. Використання технологій motion capture та силових платформ дозволяє персоналізувати тренувальні програми, визначаючи слабкі місця кожного спортсмена.

У подальших дослідженнях доцільно розширити вибірку спортсменів та включити аналіз впливу м'язової активності на ефективність виконання кидків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лукіна О., Вороний В. Особливості змагальної діяльності борців греко-римського стилю. *Спортивний вісник Придніпров'я*. 2019. № 2. С. 21–29.
2. Первачук Р. В., Сибіль М. Г. Техніко-тактичні комплекси як засіб удосконалення навчально-тренувальної діяльності кваліфікованих борців. *Молода спортивна наука України*. 2017. № 3 (47). С. 45–52.

3. Старіков В. С., Головач І. І., Рибак Л. О., Бугайов М. Л. Вдосконалення технічної підготовленості спортсменів при переході у панкратіон з іншого виду спорту. *Одноборства*. 2021. № 2. С. 83–92.
4. Шадригось В. І. Індивідуалізація технічної підготовки юних борців вільного стилю. *Спортивна наука України*. 2015. № 5. С. 44–48.
5. Barbas, I., Stasinaki, A. N., & Toubekis, A. G. Kinematic analysis of successful and unsuccessful wrestling throws. *Journal of Sports Biomechanics*. 2019. № 18(4). С. 512–523.
6. Iermakov, S., Prusik, K., & Stankiewicz, B. Biomechanical factors influencing effectiveness of throws in Greco-Roman wrestling. *International Journal of Wrestling Science*. 2020. № 10(2). С. 134–142.
7. Moras, G., Padulo, J., & Hughes, M.. Application of motion capture technology in combat sports: Accuracy and relevance. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2018. № 17(1), 98–106.
8. Silva, A. S., Mendes, R. S., & Franco, M. C. Weight distribution and force application in elite Greco-Roman wrestlers during throws. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2021. № 35(3). P. 678–685.
9. Curby, D. G., & Petroski, G. Explosive force application and success rate in elite wrestlers. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2018. № 32(6). P. 1475–1482.
10. 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). Pp. 3–13. DOI: <https://doi.org/10.15391/sns.v.2024-1.001>

REFERENCES

1. Lukina, O., Voronyi, V. *Osoblyvosti zmahalnoi diialnosti bortsiv hreko-rymskoho styliu* [Peculiarities of competitive activity of Greco-Roman wrestlers]. *Sportyvnyi visnyk Prydniprovia – Sports Bulletin of the Dnieper Region*, 2019, 2, 21–29 [in Ukrainian].
2. Pervachuk, R.V., Sybil, M.H. *Tekhniko-taktychni kompleksi yak zasib udoskonalennia navchalnotrenovalnoi diialnosti kvalifikovanykh bortsiv* [Technical and tactical complexes as a means of improving the educational and training activities of qualified wrestlers]. *Moloda sportyvna nauka Ukrainy – Young sports science of Ukraine*, 2017, 3 (47), 45–52 [in Ukrainian].
3. Starikov, V.S., Holovach, I.I., Rybak, L.O., Buhaiov, M.L. *Vdoskonalennia tekhnichnoi pidhotovlenosti sportsmeniv pry perekhodi u pankration z inshoho vydu sportu* [Improving the technical preparation of athletes when transitioning to pankration from another sport]. *Martial arts*, 2021, 2, 83–92 [in Ukrainian].
4. Shadryhos, V.I. *Indyvidualizatsiia tekhnichnoi pidhotovky yunykhl bortsiv vilnoho styliu* [Individualization of technical training of young freestyle wrestlers]. *Sportyvna nauka Ukrainy – Sports science of Ukraine*, 2015, 5, 44–48 [in Ukrainian].
5. Barbas, I., Stasinaki, A. N., & Toubekis, A. G. Kinematic analysis of successful and unsuccessful wrestling throws. *Journal of Sports Biomechanics*, 2019, 18(4), 512–523.
6. Iermakov, S., Prusik, K., & Stankiewicz, B. Biomechanical factors influencing effectiveness of throws in Greco-Roman wrestling. *International Journal of Wrestling Science*, 2020, 10(2), 134–142.
7. Moras, G., Padulo, J., & Hughes, M. Application of motion capture technology in combat sports: Accuracy and relevance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2018, 17(1), 98–106.
8. Silva, A. S., Mendes, R. S., & Franco, M. C. Weight distribution and force application in elite Greco-Roman wrestlers during throws. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2021, 35(3), 678–685.
9. Curby, D. G., & Petroski, G. Explosive force application and success rate in elite wrestlers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2018, 32(6), 1475–1482.
10. 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, 28 (1), 3–13.