

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІКИ БІГУ ВИСОКОКВАЛІФІКОВАНИХ СПРИНТЕРІВ

Єфременко Андрій Миколайович,

кандидат наук з фізичного виховання та спорту, доцент,
доцент кафедри легкої атлетики
Харківської державної академії фізичної культури
<https://orcid.org/0000-0003-0924-0281>

Насонкіна Олена Юрївна,

старший викладач кафедри легкої атлетики
Харківської державної академії фізичної культури
<https://orcid.org/0000-0002-6127-932X>

Крайник Ярослав Богданович,

доцент кафедри легкої атлетики
Харківської державної академії фізичної культури
<https://orcid.org/0000-0003-1567-8570>

Павленко Віктор Олексійович,

доцент кафедри легкої атлетики
Харківської державної академії фізичної культури
<https://orcid.org/0000-0003-0888-2485>

Жогло Володимир Миколайович,

старший викладач кафедри фізичної підготовки
Національного університету цивільного захисту
<https://orcid.org/0000-0001-8043-6936>

У статті розглянуто сучасний стан досліджень щодо застосування цифрових технологій для оптимізації техніки бігу висококваліфікованих спринтерів. Висвітлено значення техніки бігу у забезпеченні результативності спринтерських виступів, її зв'язок із біомеханічними, психофізіологічними та психологічними аспектами підготовки спортсменів. Метою дослідження було визначення ефективності використання цифрових технологій для оптимізації техніки спринтерів високої кваліфікації. Методологія передбачала систематичний огляд публікацій, відібраних із бази Web of Science за розширеним пошуковим запитом, що пов'язаний з тематикою цифрових технологій, технікою бігу та спринтерами за 2021–2025 роки. Із 92 знайдених робіт до фінального аналізу включено 10 повнотекстових джерел. Аналіз здійснювався відповідно до протоколу PRISMA із подальшим візуальним кластерним групуванням за допомогою VOSviewer. Результати огляду згруповано в три взаємопов'язані кластери: 1) дослідження біомеханічних характеристик техніки бігу із застосуванням маркерних та безмаркерних систем; 2) використання цифрових технологій у тренувальному процесі для аналізу техніки, виявлення втом, формування індивідуального зворотного зв'язку; 3) дослідження, пов'язані з профілактикою травматизму, силовим тренуванням. Цифрові технології у межах трьох кластерів реалізують взаємопов'язані функції в тренуванні спринтерів. Перший кластер забезпечує високоточне інструментальне вимірювання технічних характеристик бігу. Другий кластер зосереджується на функціональному моніторингу та адаптації техніки в умовах тренувального навантаження. Третій кластер акцентує на профілактиці травматизму через виявлення ризиків на основі цифрових даних. Разом ці напрями формують єдину цифрову систему підтримки тренувального процесу, спрямовану на підвищення ефективності та безпеки підготовки висококваліфікованих спортсменів. Встановлено, що цифрові системи забезпечують точне вимірювання, розширене трактування рухових параметрів та обґрунтоване втручання в тренувальний процес. У висновках підтверджено значущість цифрових технологій у тренуванні спринтерів. Вони є засобом об'єктивного моніторингу, корекції техніки та зниження травматизму. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою комплексних інтегрованих систем моніторингу готовності спортсмена до навантаження.

Ключові слова: спринт, цифрові технології, мобільні технології, біомеханіка, кінематика, інерційні сенсори, машинне навчання, профілактика травм, функціональний моніторинг, висококваліфіковані спортсмени.

Yefremenko Andrii, Nasonkina Olena, Krainyk Yaroslav, Pavlenko Viktor, Zhohlo Volodymyr. Digital technologies in optimizing the running technique of highly skilled sprinters

The article examines the current state of research on the use of digital technologies for optimizing the running technique of highly skilled sprinters. It highlights the importance of running technique in achieving competitive performance and its connection to the biomechanical, psychophysiological, and psychological aspects of athlete preparation. The aim of the study was to determine

the effectiveness of using digital technologies to optimize the technique of elite-level sprinters. The methodology involved a systematic review of publications selected from the Web of Science database using an extended search query related to digital technologies, running technique, and sprinters, covering the period 2021–2025. Out of 92 identified works, 10 full-text sources were included in the final analysis. The analysis followed the PRISMA protocol with further visual cluster grouping performed using VOSviewer. The results were grouped into three interconnected clusters: (1) studies on the biomechanical characteristics of running technique using marker-based and markerless systems; (2) the use of digital technologies in the training process for technique analysis, fatigue detection, and individual feedback generation; and (3) research related to injury prevention and strength training. Digital technologies within these clusters serve interrelated functions in sprinter training. The first cluster ensures high-precision instrumental measurement of technical parameters. The second focuses on functional monitoring and technique adaptation under training loads. The third emphasizes injury prevention through risk detection based on digital data. Together, these areas form an integrated digital system that supports the training process, aiming to improve performance and athlete safety. The findings confirm that digital systems enable accurate measurement, expanded interpretation of motor parameters, and evidence-based interventions in training. The conclusion underscores the importance of digital technologies in sprinter preparation. They serve as tools for objective monitoring, technique correction, and injury reduction. Future research should focus on developing integrated monitoring systems for assessing athlete readiness.

Key words: *sprinting, digital technologies, mobile technologies, biomechanics, kinematics, inertial sensors, machine learning, injury prevention, functional monitoring, elite athletes.*

Вступ. Техніка бігу є визначальною для високої результативності змагальної вправи у спринтерському бігу. Її значення багатогранне – від впливу на реалізацію швидкісних можливостей спортсменів до зниження ризиків травматизації. Лише точність та ґрунтовність оцінювання дозволяє наблизитися до фундаментального розуміння техніки переміщення у таких швидкоплинних заходах, як спринтерські забіги. У сучасному спорті цифрові технології, такі як системи тривимірного захоплення руху, GPS/LPS та інерційні вимірювальні блоки, стали невід’ємною частиною моніторингу та кількісної оцінки характеристик, пов’язаних з тренувальною діяльністю найкращих атлетів [9, 11]. Їх використання створює умови для розширення розуміння біомеханіки бігу, через вивчення об’єктивних просторово-часових характеристики, кінематику та варіативність окремих рухових дій та їх елементів.

Саме різноманіття технічного виконання швидкісного бігу зумовлює увагу до залучення сучасними дослідниками об’єктивних засобів вимірювання рухових характеристик спортсменів. В іншому напрямку, розвиток отримує ідея зв’язку втрати спортсмена та змін техніки бігу, що дозволяє розширити можливості оперативного втручання в динаміку тренувального процесу атлетів – від серії пробіжок до планування окремих тренувальних циклів [6, 16]. Останнім часом увагу дослідників привернули статеві відмінності в техніці бігу на швидкість, що дозволяє акцентувати питання на деталізації підходів до тренування чоловіків та жінок [2, 13]. Психологічні чинники також можуть бути розглянуті в контексті впливу на особливості та зміни техніки пересування з максимальною швидкістю. Зокрема, у видах легкої атлетики, які потребують високоточних рухових дій, які виконуються з високою швидкістю (наприклад, стрибки) [1, 12].

Незважаючи на значну кількість досліджень, у сфері оптимізації техніки бігу з максимальною швидкістю, зокрема в легкій атлетиці, спостерігається недостатня кількість критичної оцінки щодо надійності визначення технічних характеристик бігунів-спринтерів високого класу. Різниця у підготовленості спортсменів, зокрема швидкісній, розміщення пристроїв та методи обробки цифрових даних може суттєво впливати на вимірю-

вання. Необхідно визначити можливості застосування цифрових технологій для їх використання в технічній підготовці бігунів-спринтерів на прикладі спортсменів високої кваліфікації, як необхідної складової для подальшої розробки рекомендацій їх використання на значних вибірках спортсменів.

Мета – визначення ефективності використання цифрових технологій для оптимізації техніки спринтерів високої кваліфікації.

Матеріали та методи. Колекцію публікацій бази Web of Science було обрано через те, що знайдена література загалом представляє визнані та впливові дослідження в галузі. Документи з бази WoS мають пріоритет якості та відтворюваності досліджень над широтою охоплення, що сприятиме висновкам, які ґрунтуються на переконливих наукових доказах. Остаточний комплексний розширений пошуковий запит був наступним: TS=((«digital technolog*» OR «wearable sensor*» OR «motion capture» OR «machine learning» OR «artificial intelligence» OR «AI») AND («running technique» OR «gait analysis» OR «stride mechanics» OR «sprint biomechanics» OR «kinematics» OR «biomechanics») AND («optimisation» OR «optimization» OR «performance enhancement» OR «technique improvement») AND («sprinter*» OR «elite athlete*» OR «highly qualified athlete*»)) AND DT=(Article OR Review). Далі пошук був обмежений 2021–2025 роками для забезпечення актуальних наукових даних. Початковий пошук виявив 92 унікальні документи. З них одна була відкликана. Відповідні бібліометричні дані 91 статей (формат повнотекстового експорту даних документу з WoS) були вилучені для подальшого кластерного аналізу VOSviewer. Після незалежного аналізу двома дослідниками анотацій статей були визнані релевантними за напрямком дослідження 28 оригінальних досліджень. Дослідження були включені в огляд, якщо вони були оригінальними, чітко зосередженими на цифрових технологіях, техніці бігу та спринтерах. Статті виключалися, якщо вони були анотаціями без повного тексту, не були пов’язані з використанням цифрових технологій пов’язано зі спринтерським бігом, були оглядовими дослідженнями, не мали чітких висновків. Для фінального аналізу було отримано 10 повнотексто-

вих джерелах. Процес скринінгу та відбору літератури за допомогою протоколу PRISMA.

Результати дослідження. На рисунку 1 візуалізовані результати кластеризації з використання програмного забезпечення VOSviewer (рис. 1).

Проаналізувавши результати було визначено кластери, які відрізняються за своєю основною спрямованістю, але вони взаємопов'язані та разом роблять внесок у загальний напрямок оптимізації техніки спринтерського бігу за допомогою цифрових технологій. Дослідження за кластером 1 пов'язані з аналіз біомеханічних особливостей спринтерського бігу. Наприклад, системи, такі як Obsmos та FusedOpenPose, дозволяють точно (за даними розробників та дослідників) вимірювати контакти стопи з опорою та крокові характеристики бігу [4, 5]. Зазначено, що продуктивність системи Obsmos є більш послідовною між різними наборами даних, тоді як FusedOpenPose може бути більш чутливою до різних особливостей техніки бігу та може потребувати налаштування для окремих спортсменів. Хоча маркерні системи залишаються «золотим стандартом» для точних вимірювань у лабораторних умовах, дослідження вивчають доцільність використання безмаркерних систем (наприклад, OpenPose) у реальних змаганнях. Проте, результати свідчать про їх низьку відповідність для точного відстеження кінематики, особливо за обмеженої кількості камер та субоптимальних кутів огляду. Інші емпіричні звіти пов'язані з використанням штучних нейронних мереж та методу Layer-wise Relevance Propagation для виявлення унікальних та загальних характеристик рухових патернів у висококваліфікованих бігунів: унікальні – сагітальні рухи хребта та нижніх кінцівок під час середньої фази опори та середньої фази маху;

загальні – сагітальні рухи хребта під час ранньої та пізньої фази опори [8].

Розуміння цих відмінностей може допомогти у розробці індивідуальних тренувальних програм та визначенні ключових аспектів економічного стилю бігу [15]. По суті, кластер 1 являє собою напрям використання цифрових технологій, присвячений ретельному, заснованому на даних дослідженню рухових дій для розуміння та оптимізації спортивної продуктивності, з урахуванням кінематичних та біомеханічних принципів спринту та надійності вимірювань.

Дослідження за кластером 2 пов'язані аналізом даних з використанням цифрових технологій в тренуванні бігунів-спринтерів. Вчені використовують інерційні вимірювальні одиниці та бездротову поверхневу електроміографію у поєднанні з машинним навчанням для об'єктивного виявлення кінематичних та нейром'язових особливостей, пов'язаних із вищими швидкостями спринту. Відомо також про застосування аналізу часових рядів та пояснюваного штучного інтелекту для визначення втоми у бігунів за даними носимих датчиків, а також комерційних GPS-пристроїв з інтегрованими інерційними вимірювальними одиницями [10, 14]. Такі індивідуальні системи зворотного зв'язку є інформативними через особливості (навіть «несхожість») техніки бігу спортсменів високої кваліфікації. Завдяки цьому забезпечується отримання комплексних просторово-часових даних протягом усієї дистанції бігу, тренувальної сесії або структурної одиниці підготовки. Можливість порівняння даних у стані втоми та без неї також є значущою [7]. Порівняно з кластером 1, тут розглядається більш ширший напрямок використання цифрових технологій, включаючи оцінку продуктивності та фізіологічних чинників, в тому числі втоми, для глибшого

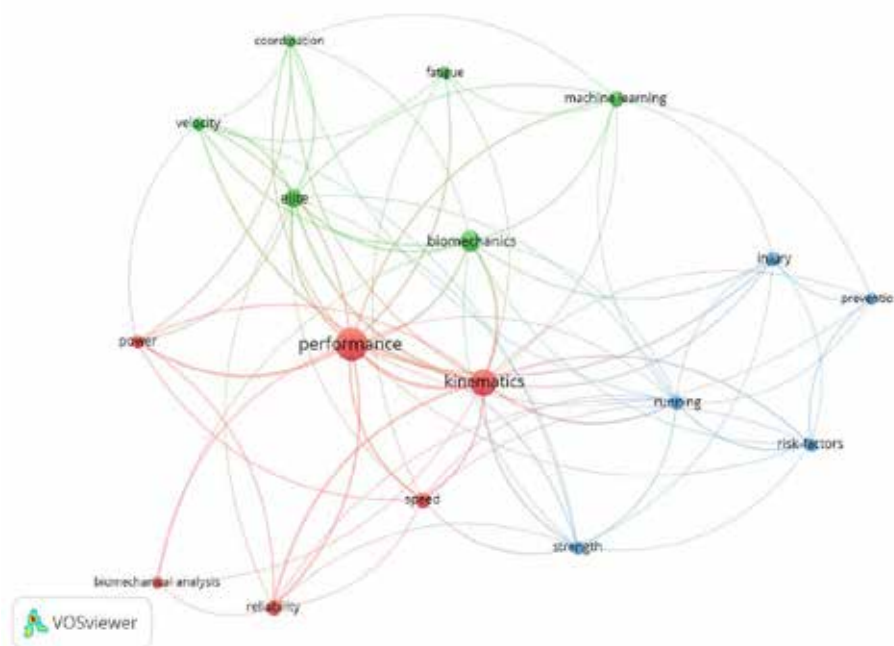


Рис. 1. Мапа ключових слів за напрямком використання цифрових технологій в спринті

Примітка: зображення отримане за допомогою програмного забезпечення VOSviewer (v. 1.6.19)

розуміння техніки спринту з можливістю її ефективної корекції.

Дослідження за кластером 3 пов'язані з профілактикою травматизму та силовими тренуваннями. Таке логічне поєднання є зрозумілим, а виділення такого кластеру – очікуваним, з огляду на важливість сили для висококласного спринту та зростаючу загрозу пошкоджень спортсменів в умовах граничних тренувальних навантажень вибухового характеру [17]. На противагу перевагам використання технологій для прогнозування та профілактики травматизму бігунів високого класу, слід виділити дослідження де було встановлено, що користувачі технологій мають вищу ймовірність отримання травм, пов'язаних з бігом, порівняно з тими, хто не використовує технології в тренуванні. Проте, ті, хто використовував такі технології з конкретною метою – для прийняття рішень щодо тренувань, не мали вищого ризику травм [3]. Важливим висновком є те, що технології можуть збільшувати ризик травматизму бігунів, особливо недосвідчених, пов'язані з нераціональним плануванням тренувальних навантажень без професійного втручання. Майбутні дослідження мають бути пов'язані з вдосконаленням дизайну та функціональності технологій в контексті профілактики травматизму, пов'язано з біомеханічними та психосоціальними факторами бігових тренувань, а також моніторингу тренувальних навантажень. Сутність напрямку, визначеного кластером 3, є складною через необхідність поєднаного розуміння взаємозв'язку між бігом, травмами та заходами профілактики, причому значення силових тренувань спринтерів підвищується коли їх кваліфікація зростає.

Цифрові технології є важливою складовою досліджень в усіх кластерах, дозволяючи здійснювати точне інструментальне оцінювання, розширений аналіз та розробку втручань в тренувальний процес спортсменів на основі даних, спрямованих як на підвищення його ефективності. Фундаментальні біомеханічні та кінематичні характеристики кластеру 1 є необхідним базисом для застосування методів аналізу, які відносяться до кластеру 2. Цифрові технології сприяють збору даних, а машинне навчання покращує їх інтерпретацію для оптимізації техніки висококваліфікованих спортсменів.

Натомість, неоптимальна техніка бігу, дані про яку містяться відносяться до кластеру 1, може бути значним фактором ризику травмування, що є центральною проблемою досліджень кластера 3. Цифрові технології дозволяють більш точно оцінювати технічні (в тому числі, і негативні) особливості бігу спортсменів, що дозволяє

формуванню конкретні заходи з корекції руху, тренування та профілактики травматизму.

Аналітичні методи, які відносяться до кластера 2, можна застосовувати до великих наборів даних для виявлення біомеханічних закономірностей / відхилень або маркерів втоми, які розглядатимуться з позиції прогнозування ризику травм. Моніторинг змін моделі руху спортсмена за допомогою цифрових датчиків та масивів даних сприяє виявленню ранніх відхилень, пов'язаних з надмірною втомою або ризиком пошкодження (коли це ще не можна визначити візуально), що дозволить оперативно коригувати техніку руху або тренувальне навантаження. Таким чином, цифрові технології в технічній підготовці спринтерів високої кваліфікації – не просто ізольовані інструменти, а окремий напрямок провадження неспецифічної поза- та внутрішньо тренувальної діяльності, спрямованої на підвищення продуктивності підготовки та здоров'я спортсменів.

Висновки. Дослідження за період 2021-2025 років демонструють значний прогрес у використанні цифрових технологій у контексті вивчення, корекції та тренування техніки спринтерського бігу. Результати, отримані з досліджень за трьома виокремленими кластерами, демонструють використання цифрових технологій від фундаментальних вимірювань до поглибленого аналізу та, зрештою, до практичного застосування у підвищенні продуктивності та профілактиці травм бігунів-спринтерів. Варіативність технологій дозволяє об'єктивно вимірювати та виокремлювати ключові чинники ефективності бігу, а також унікальні рухові патерни, пов'язані з продуктивністю спортсменів високої кваліфікації. Результати цього огляду мають значне практичне значення для тренерів, спортивних науковців та медичного персоналу, який працює з висококваліфікованими спринтерами. Для тренерської роботи цифрові технології мають потенціал у створенні системи моніторингу, що дозволяє оперативно проводити маніпуляції з технікою виконання бігу спринтерами, порівняно з традиційним суб'єктивного спостереженням, що створює умови переходу до об'єктивних підказок, заснованих на даних. Такі дані є основою індивідуалізації тренування спортсменів, що гарантує адаптацію програм до унікальних сильних та слабких сторін спортсмена, якими характеризуються спортсмени високого класу.

Перспективи подальших досліджень. Наші майбутні дослідження та тренувальна практика будуть зосереджені на розробці інтегрованих систем, які одночасно пов'язані з контролем показників продуктивності, рівня втоми та чинників ризику травматизації, забезпечуючи комплексний моніторинг готовності спортсмена.

Література:

1. Bakti A. P., Kusnanik N. W., Wahjuni E. S. et al. The correlation of leg length, jump height, and leg muscle explosive power toward sprint ability. *Retos*. 2024. Vol. 51. P. 1463–1468. DOI: <https://doi.org/10.47197/retos.v51.101052>
2. Cassirame J., Eustache E., Sanchez H. et al. Clustering technical approaches of elite and world-class pole vaulters based on 10 years of measurement during competitions. *Journal of Sports Sciences*. 2024. Vol. 42, № 11. P. 971–980. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2372940>
3. Chowdhary K., Crockett Z., Chua J., Hoo J. S. Exploring the Relationship between Running-Related Technology Use and Running-Related Injuries: A Cross-Sectional Study of Recreational and Elite Long-Distance Runners. *Healthcare (Basel, Switzerland)*. 2024. Vol. 12, № 6. P. 642. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare12060642>

4. Cronin N. J., Walker J., Tucker C. B. et al. Feasibility of OpenPose markerless motion analysis in a real athletics competition. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2024. Vol. 5. P. 1298003. DOI: <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1298003>
5. Evans M., Colyer S., Salo A., Cosker D. Automatic high fidelity foot contact location and timing for elite sprinting. *Machine Vision and Applications*. 2021. Vol. 32. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00138-021-01236-z>
6. García-Fresneda A., Panoutsakopoulos V., Padullés Riu J. M. et al. Inter-Limb Asymmetry in the Kinematic Parameters of the Long Jump Approach Run in Female Paralympic-Level Class T63/T64 Athletes. *Prosthesis*. 2024. Vol. 6, № 1. P. 146–156. DOI: <https://doi.org/10.3390/prosthesis6010012>
7. Gutierrez C. J., Walton S. P., Bezodis N. E. Development of a novel biofeedback system for the sprint start. *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2023. Vol. 18, № 1. P. 114–122. DOI: <https://doi.org/10.1177/17479541211072729>
8. Hoitz F., Fraeulin L., von Tschanner V. et al. Isolating the unique and generic movement characteristics of highly trained runners. *Sensors*. 2021. Vol. 21, № 21. P. 7145. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21217145>
9. Hut M., Minkler T. O., Glass C. R. et al. A randomized controlled study of mindful sport performance enhancement and psychological skills training with collegiate track and field athletes. *Journal of Applied Sport Psychology*. 2023. Vol. 35, № 2. P. 284–306. DOI: <https://doi.org/10.1080/10413200.2021.1989521>
10. Kathirgamanathan B., Nguyen T. T., Caulfield B. et al. Explaining fatigue in runners using time series analysis on wearable sensor data. *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. P. 87–103. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-74633-8_6
11. Li Y., Guo Q., Shao J. et al. Neuromuscular factors predicting lower limb explosive strength in male college sprinters. *Frontiers in Physiology*. 2025. Vol. 15. P. 1498811. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1498811>
12. Moura L. D. P., Moura N. A., Moura T. F. D. P. et al. Jumping with control: the interplay between psychological constructs and run-up variability in elite jumpers. *Frontiers in Psychology*. 2024. Vol. 15. P. 1412910. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1412910>
13. Montalvo S., Gonzales F., Lance G. et al. Comparative kinematic analysis of high-speed treadmill vs. overground sprinting across athletic levels and sex. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2025. Vol. 65, № 2. P. 171–179. DOI: <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.24.16089-6>
14. Provot T., Millot B., Hazotte E. et al. The Measurement of Spatiotemporal Parameters in Running at Different Velocities: A Comparison Between a GPS Unit and an Infrared Mat. *Methods and Protocols*. 2024. Vol. 7, № 6. P. 103. DOI: <https://doi.org/10.3390/mps7060103>
15. Vellucci C. L., Beaudette S. M. A need for speed: Objectively identifying full-body kinematic and neuromuscular features associated with faster sprint velocities. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2023. Vol. 4. P. 1094163. DOI: <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1094163>
16. Wolski L., Pappas E., Hiller C. et al. Is there an association between high-speed running biomechanics and hamstring strain injury? A systematic review. *Sports Biomechanics*. 2024. Vol. 23, № 10. P. 1313–1339. DOI: <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1960418>
17. Yuce A., Oto O., Misir A. Systemic video analysis of hamstring injury mechanism for professional athletes: sprint-type injuries occurring during the swing phase of the running cycle. *Medicina dello sport*. 2022. Vol. 75, № 3. P. 446–456. DOI: <https://doi.org/10.23736/S0025-7826.22.04121-7>

References:

1. Bakti, A. P., Kusnanik, N. W., Wahjuni, E. S., Firmansyah, A., Susanto, I. H., & Khuddus, L. A. (2024). The correlation of leg length, jump height, and leg muscle explosive power toward sprint ability. *Retos*, 51, 1463-1468. Retrieved from <https://doi.org/10.47197/retos.v51.101052>
2. Cassirame, J., Eustache, E., Sanchez, H., Czingon, H., Collet, P., Homo, S., ... & Frère, J. (2024). Clustering technical approaches of elite and world-class pole vaulters based on 10 years of measurement during competitions. *Journal of Sports Sciences*, 42(11), 971-980. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2372940>
3. Chowdhary, K., Crockett, Z., Chua, J., & Hoo, J. S. (2024). Exploring the Relationship between Running-Related Technology Use and Running-Related Injuries: A Cross-Sectional Study of Recreational and Elite Long-Distance Runners. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 12(6), 642.. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/healthcare12060642>
4. Cronin, N. J., Walker, J., Tucker, C. B., Nicholson, G., Cooke, M., Merlino, S., & Bissas, A. (2024). Feasibility of OpenPose markerless motion analysis in a real athletics competition. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1298003. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1298003>
5. Evans, M., Colyer, S., Salo, A., & Cosker, D. (2021). Automatic high fidelity foot contact location and timing for elite sprinting. *Machine Vision and Applications*, 32, 1-20. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00138-021-01236-z>
6. García-Fresneda, A., Panoutsakopoulos, V., Padullés Riu, J. M., Torralba Jordán, M. A., López-del Amo, J. L., Padullés, X., ... & Theodorou, A. S. (2024). Inter-Limb Asymmetry in the Kinematic Parameters of the Long Jump Approach Run in Female Paralympic-Level Class T63/T64 Athletes. *Prosthesis*, 6(1), 146-156. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/prosthesis6010012>
7. Gutierrez, C. J., Walton, S. P., & Bezodis, N. E. (2023). Development of a novel biofeedback system for the sprint start. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 18(1), 114-122. Retrieved from <https://doi.org/10.1177/17479541211072729>
8. Hoitz, F., Fraeulin, L., von Tschanner, V., Ohlendorf, D., Nigg, B. M., & Maurer-Grubinger, C. (2021). Isolating the unique and generic movement characteristics of highly trained runners. *Sensors*, 21(21), 7145. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/s21217145>

9. Hut, M., Minkler, T. O., Glass, C. R., Weppner, C. H., Thomas, H. M., & Flannery, C. B. (2023). A randomized controlled study of mindful sport performance enhancement and psychological skills training with collegiate track and field athletes. *Journal of Applied Sport Psychology*, 35(2), 284-306. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10413200.2021.1989521>
10. Kathirgamanathan, B., Nguyen, T. T., Caulfield, B., Ifrim, G., & Cunningham, P. Explaining fatigue in runners using time series analysis on wearable sensor data. In: Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. p. 87-103.. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-031-74633-8_6
11. Li, Y., Guo, Q., Shao, J., Gan, Y., Zhao, Y., & Zhou, Y. (2025). Neuromuscular factors predicting lower limb explosive strength in male college sprinters. *Frontiers in Physiology*, 15, 1498811. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1498811>
12. Moura, L. D. P., Moura, N. A., Moura, T. F. D. P., Moura, T. B. M. A., & Brandão, M. R. F. (2024). Jumping with control: the interplay between psychological constructs and run-up variability in elite jumpers. *Frontiers in Psychology*, 15, 1412910. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1412910>
13. Montalvo, S., Gonzales, F., Lance, G., Gonzalez, M. P., Dietze-Hermosa, M. S., & Dorgo, S. (2025). Comparative kinematic analysis of high-speed treadmill vs. overground sprinting across athletic levels and sex. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 65(2), 171-179. Retrieved from <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.24.16089-6>
14. Provot, T., Millot, B., Hazotte, E., Rousseau, T., & Slawinski, J. (2024). The Measurement of Spatiotemporal Parameters in Running at Different Velocities: A Comparison Between a GPS Unit and an Infrared Mat. *Methods and Protocols*, 7(6), 103. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/mps7060103>
15. Vellucci, C. L., & Beaudette, S. M. (2023). A need for speed: Objectively identifying full-body kinematic and neuromuscular features associated with faster sprint velocities. *Frontiers in sports and active living*, 4, 1094163. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1094163>
16. Wolski, L., Pappas, E., Hiller, C., Halaki, M., & Fong Yan, A. (2024). Is there an association between high-speed running biomechanics and hamstring strain injury? A systematic review. *Sports Biomechanics*, 23(10), 1313-1339. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1960418>
17. Yuce, A., Oto, O., & Misir, A. (2022). Systemic video analysis of hamstring injury mechanism for professional athletes: sprint-type injuries occurring during the swing phase of the running cycle. *Medicina dello sport*, 75(3), 446-456. Retrieved from <https://doi.org/10.23736/S0025-7826.22.04121-7>

Дата першого надходження рукопису до видання: 18.06.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 21.07.2025

Дата публікації: 02.09.2025