4.Kozina, Zh. L. (2018). *Health-improving technologies in physical education*. Kharkiv: H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University. 256.

5.Krutsevych, T. Yu., & Pangelova, N. Ye. (2019). *Health-oriented fitness in women's physical education*. Kyiv: Naukovyi Svit. 218.

6.Melnyk, O. V., Romanenko, O. I., & Kizlevych, Yu. V. (2018**).** The impact of strength fitness training on the dynamics of physical condition indicators of women in the first period of mature age**.** *Physical Culture, Sport and Health of the Nation***, 5,** 80–84. DOI: http://doi.org/10.5281/zenodo.1293591

7.Miroshnichenko, V., Shvets, O., & Mychkovska, L. (2021). Dynamics of physical fitness indicators in women of the first period of adulthood with different somatotypes under the influence of fitness training. *Scientific Journal of the National Pedagogical Dragomanov University. Series 15: Scientific and Pedagogical Problems of Physical Culture*, 12(144), 90–95. DOI: https://doi.org/10.31392/NPU-nc.series15.2021.12(144).19

8.Mitova, O. O. (2020). Fitness technologies in physical education of different population groups. Dnipro: Zhurfond, 300.

Стаття надійшла до редакції / Received 17.02.2026
Прийнята до друку / Accepted 04.03.2026
Опубліковано / Published 24.03.2026

DOI: https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2026.03(202).07

Бондаренко Р. В.
аспірант кафедри легкої атлетики
Харківської державної академії фізичної культури, м. Харків
https://orcid.org/0009-0001-1211-4115
Петренко Ю. І.
к.п.н., доцент
доцентка кафедри інформатики, біомеханіки та кіберспорту
Харківської державної академії фізичної культури, м. Харків
https://orcid.org/0000-0002-6549-3729
Полторацька Г. С.
ст. викладач кафедри інформатики, біомеханіки та кіберспорту
Харківської державної академії фізичної культури, м. Харків
https://orcid.org/0000-0002-0076-4727
Єфременко А. М.
к. фіз. вих., доцент
доцент кафедри легкої атлетики Харківської державної академії фізичної культури, м. Харків
https://orcid.org/0000-0003-0924-0281

БІОМЕХАНІЧНИЙ АНАЛІЗ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ IOT В НАВЧАННІ ЛЕГКОЇ АТЛЕТИКИ СТУДЕНТІВ-СПОРТСМЕНІВ

Бондаренко Р.В., Петренко Ю.І., Полторацька Г.С., Єфременко А.М. Біомеханічний аналіз з використанням інструментів IoT в навчанні легкої атлетики студентів-спортсменів. *Цифрова трансформація спортивної освіти зумовлює необхідність впровадження інноваційних технологічних рішень для об'єктивізації процесу засвоєння рухових навичок майбутніми фахівцями. Метою статті є оцінка ефективності комплексного підходу до застосування біомеханічного аналізу в навчанні легкої атлетики студентів-спортсменів на основі інструментів IoT. Методологія дослідження базувалася на десятитижневому квазіекспериментальному втручанні за участю 39 студентів-спортсменів (19,35±1,40 років) різних спеціалізацій, крім легкої атлетики, випадковим чином розподілених на групу втручання (n=17) та контрольну групу (n=22). Обидві групи проходили навчання в електронному форматі за ідентичним теоретичним курсом, проте експериментальна методика передбачала обов'язкове використання IoT-інструментів для біомеханічного аналізу. Оцінка техніки швидкісного бігу проводилася за темпоральними параметрами десяти бігових кроків зі старту за допомогою стандартизованих протоколів відеозапису. Результати дослідження продемонстрували відсутність статистично значущих міжгрупових відмінностей наприкінці експерименту. Проте в групі втручання зафіксовано виражену позитивну внутрішньогрупову динаміку. Величина ефекту за Коеном свідчить про суттєвий вплив систематичного використання відеобіомеханічного аналізу на результативність рухового навчання. У контрольній групі жоден із контрольованих параметрів не зазнав значущих змін, залишаючись на рівні базових значень (p > 0,05), а розраховані величини ефектів класифікувалися як низькі. Впровадження інструментів IoT у навчальний процес забезпечує об'єктивізацію контролю технічних параметрів та стимулює внутрішній прогрес студентів-спортсменів. Незважаючи на відсутність миттєвої статистичної переваги над традиційним електронним навчанням у міжгруповому порівнянні, запропонована методика виступає надійним засобом індивідуалізованого моніторингу рухових навичок. Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні кумулятивного впливу відеоаналізу протягом більш тривалого періоду спостереження.*

Ключові слова: *біомеханічний аналіз, інструменти IoT, легка атлетика, студенти-спортсмени, відеоаналіз.*

Bondarenko R., Petrenko Yu., Poltoratska H.Yefremenko A. Biomechanical analysis using IoT tools in athletics training for student-athletes. *Digital transformation in sports education necessitates innovative technological solutions for the objective acquisition of complex motor skills by future specialists. The aim of the article is and the evaluation of the effectiveness of a comprehensive approach to the use of biomechanical analysis in the training of athletics of student-athletes based on IoT tools. The research methodology involved a ten-week quasi-experimental study with 39 student-athletes (19.35±1.40 years) randomly assigned to an intervention group (n=17) and a control group (n=22). Both groups received identical theoretical material online, but the experimental methodology integrated a structured IoT protocol using personal mobile and software for kinematic analysis. Biomechanical efficiency was assessed through temporal parameters of ten sprinting steps from a start, recorded according to standardized protocols at baseline and after the intervention. Results demonstrated no statistically significant intergroup differences at the study's conclusion, supporting the research hypothesis (p > 0.05). However, the intervention group exhibited significant intragroup positive dynamics: running speed increased from 3.95±0.64 m/s to 4.43±0.78 m/s (p = 0.005), step frequency improved from 4.11±0.58 steps/s to 4.37±0.77 steps/s (p = 0.018), and mean performance time significantly decreased from 2.53±0.35 s to 2.37±0.35 s (p = 0.043). Cohen's d indicates a substantial effect of systematic video analysis on motor learning outcomes. In contrast, the control group showed no significant changes in any monitored parameters, maintaining baseline values with low effect sizes (p > 0.05). The implementation of IoT tools in the educational process ensures objective monitoring of technical parameters and stimulates the internal progress of student-athletes. While no immediate statistical superiority over traditional e-learning was observed in intergroup comparisons, the proposed methodology serves as a reliable instrument for personalized monitoring of motor skills. Prospects for further research are to study the cumulative impact of video analysis over a longer observation period.*

Keywords: *biomechanical analysis, IoT tools, athletics, student-athletes, video analysis, temporal parameters.*

Вступ. Спортивна індустрія, зокрема її науковий кластер, характеризується пошуком рішень для об'єктивізації та адаптації підготовки спортивних тренерів до актуальних умов тренувального процесу. Особливий потенціал мають технології Інтернету речей (IoT) для забезпечення якісної освіти у галузі фізичного виховання та спорту.

Дослідження вказують на переваги використання відеоаналізу та цифрових інструментів для формування компетентності у виконанні фундаментальних рухових навичок [2]. Додатково вимірювальні пристрої дозволяють здійснювати моніторинг прискорень і кінематичних характеристик динамічних вправ (наприклад, стрибкових), пов'язаних з навчанням легкої атлетики [4]. Застосування портативних датчиків підтвердило свою валідність у визначенні часу контакту з опорою, довжини кроку та частоти кроків у бігових дисциплінах [5]. Виявлено, що автоматизовані інструменти обробки відеоданих забезпечують точність оцінки висоти стрибка та кінетики рухів на рівні, співставному з комерційними силовими платформами [6]. Дослідження також демонструють, що використання інноваційних інструментів для формування зворотного зв'язку сприяє швидшому засвоєнню складних технічних елементів та підвищує мотивацію студентів до навчання [2; 7].

Проте доступ до високоточного біомеханічного аналізу за допомогою стаціонарних систем або масове забезпечення студентів носимими вимірюваними пристроями, часто є обмеженим для повсюдного впровадження в навчальний процес через високу вартість обладнання та потребу в спеціальних технічних знаннях. Відсутність педагогічно обґрунтованих та економічно доступних рішень для моніторингу техніки рухів безпосередньо в умовах електронного навчання створює суттєвий розрив між теоретичними розробками та практичною реалізацією процесу навчання легкої атлетики в освітньому процесі тренерів з виду спорту.

Метою статті є та оцінка ефективності комплексного підходу до застосування біомеханічного аналізу в навчанні легкої атлетики студентів-спортсменів на основі інструментів IoT.

Гіпотеза. Систематичне використання доступних IoT-інструментів для біомеханічного відеоаналізу не призведе до статистично значущих відмінностей у темпоральних параметрах швидкісного бігу порівняно з традиційним електронним навчанням.

Методологія. У дослідженні з квазіекспериментальним дизайном брали участь 39 студентів-спортсменів віком 19,35±1,40 років - представників ігрових, техніко-естетичних, циклічних видів спорту (але не легкої атлетики) та єдиноборств. Студенти мали спортивну кваліфікацію від III розряду до майстра спорту. Всі учасники відносилися до основної групи здоров'я.

Втручання. Всім учасникам записаним добровільно на навчальний курс «Організаційні основи кондиційного тренування» було запропоновано взяти участь в експериментальному навчанні. З тих, хто зголосився було сформовано групу втручання (ВГ, n = 17), інші (КГ, n = 22) учасники сформували контрольну групу. Втручання проводилося протягом 10 тижнів у електронному форматі. Єдиною систематичною відмінністю між групами було обов'язкове включення відеобіомеханічного аналізу в навчання групи втручання. Учасники КГ отримали комплексну теоретичну підготовку з біомеханічних принципів та отримали рекомендації щодо використання відеоаналізу як частини самостійного навчання. Втручання ВГ було структуровано навколо трьох взаємопов'язаних компонентів відеобіомеханічного аналізу, які представлені на рисунку 1 (рис. 1).

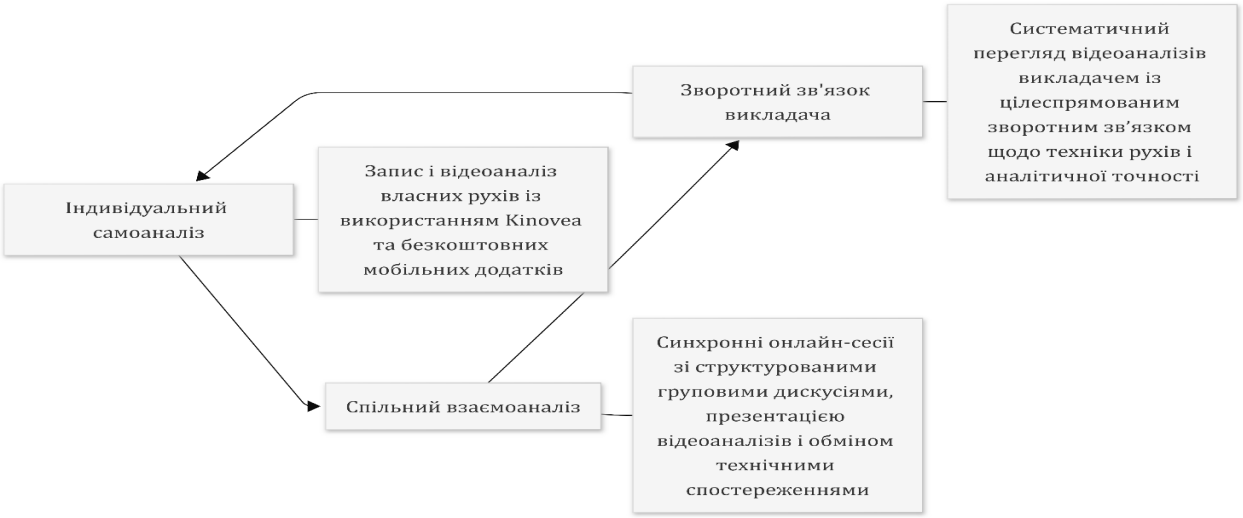


Рисунок 1. Структура використання відеобіомеханічного аналізу в навчанні студентів-спортсменів групи втручання

Тестування. Основним показником результату була біомеханічна ефективність техніки швидкісного бігу, виражена через часові параметри 10 кроків бігу зі старту. Дотримуючись стандартизованих протоколів відеозапису, встановлених у нашому попередньому дослідженні [9], учасники виконували 30-метрові спринти з максимальним зусиллям, одночасно записуючи за допомогою камер смартфонів. Біомеханічний аналіз зосереджувався на таких часових параметрах на етапах 6-15 (за винятком початкових кроків прискорення 1-5 для забезпечення аналізу встановленої механіки швидкісного бігу): середній час бігу (с); середня дистанція бігу (м); середня швидкість бігу (м/с); середня довжина бігового кроку (м); середня частота бігових кроків (к/с). Вимірювання проводилися за однаковою процедурою у два моменти часу: 1-й тиждень (базова оцінка); 10-й тиждень (оцінка після втручання). Відеоаналіз проводили за допомогою програмного забезпечення Kinovea незалежно двома дослідниками, навченими процедурам біомеханічного аналізу.

Статистика. Дані аналізували за допомогою статистичного програмного забезпечення Jamovi. Нормальність розподілів оцінювали за допомогою тестів Шапіро-Уілкі. Міжгрупові відмінності на початку та в кінці дослідження оцінювали за допомогою U-тестів Манна-Уітні. Ефект втручання досліджували за допомогою t- або W-критерію (залежно від характеру розподілу даних) для пов'язаних вибірок. Розміри ефектів розраховували за допомогою d Коена для парних порівнянь. Альфа-рівень був встановлений на рівні $p < 0,05$ для всіх аналізів.

Результати. Результати тестування учасників дослідження представлені в таблиці 1 (табл. 1). Встановлено відсутність значущої міжгрупової диференціації за всіма досліджуваними показниками на початковому етапі експерименту. Порівняння вихідних даних групи втручання та контрольної групи за параметрами середнього часу, дистанції, швидкості, довжини та частоти кроків не виявило статистично значущих відмінностей, що підтверджує гомогенність сформованих вибірок перед початком дослідження. Аналіз внутрішньогрупової динаміки в основній групі продемонстрував наявність статистично значущих змін у більшості часових та кінематичних характеристик. Зокрема, зафіксовано значуще зменшення середнього часу виконання вправи, що супроводжувалося значущим зростанням показників середньої дистанції та швидкості пересування.

Таблиця 1 – Зміни параметрів 10-ти бігових кроків зі старту студентів-спортсменів групи втручання (n = 17) та контрольної (n =22) групи

Показник	Група	Час	M±SD	Me(IQR)	W/t (внутр.)	d Cohen	U/p (міжгр.)
Середній час бігу, с	ВГ	I	2,53 ± 0,35	2,62 (2,20; 2,80)	t=2,20	0,533	U_I=159 / 0,749
		II	2,37 ± 0,35	2,40 (2,05; 2,65)	p=0,043**		
	КГ	I	2,50 ± 0,33	2,51 (2,24; 2,75)	t=-0,14	-0,032	U_{II}=139 / 0,352
		II	2,52 ± 0,48	2,50 (2,11; 2,86)	p=0,889		
Середня дистанція бігу, м	ВГ	I	9,78 ± 1,32	10,2 (8,60; 10,8)	W=23,5	-0,423	U_I =163 / 0,843
		II*	10,3 ± 1,60	10,4 (8,80; 11,5)	p=0,013**		
	КГ	I	9,84 ± 1,40	9,92 (8,59; 10,9)	t=-0,65	-0,144	U_{II} =157 / 0,703
		II	10,1 ± 1,57	10,1 (8,85; 11,2)	p=0,527		
Середня швидкість бігу, м/с	ВГ	I	3,95 ± 0,64	4,12 (3,40; 4,45)	t=-3,25	-0,788	U_I =167 / 0,927
		II	4,43 ± 0,78	4,45 (3,75; 4,95)	p=0,005**		

	КГ	I	3,96 ± 0,64	3,99 (3,34; 4,41)	t=-0,69	-0,153	U_{II} =131 /
		II	4,11 ± 0,78	4,14 (3,50; 4,65)	p=0,501		0,234
Середня довжина бігового кроку, м	ВГ	I	0,99 ± 0,20	1,03 (0,84; 1,12)	W=36,0	-0,259	U_{I} =167 /
		II*	1,03 ± 0,15	1,08 (0,88; 1,15)	p=0,058		0,939
	КГ	I	0,98 ± 0,14	0,99 (0,86; 1,08)	t=-0,43	-0,095	U_{II} =150 /
		II	1,00 ± 0,17	1,02 (0,87; 1,12)	p=0,675		0,542
Середня частота бігових кроків, к/с	ВГ	I	4,11 ± 0,58	4,30 (3,60; 4,55)	W=26,0	-0,448	U_{I} =167 /
		II*	4,37 ± 0,77	4,45 (3,65; 4,95)	p=0,018**		0,939
	КГ	I	4,08 ± 0,61	4,10 (3,45; 4,51)	t=-0,60	-0,133	U_{II} =146 /
		II	4,20 ± 0,75	4,22 (3,61; 4,74)	p=0,558		0,473

Примітка: * – Шапіро-Уілкі тест значущий на рівні p < 0,05; ** – різниця між порівнюваними показниками значуща; I – вимірювання на початку дослідження; II – вимірювання в кінці дослідження

Також в основній групі встановлено статистично значуще підвищення частоти кроків, тоді як динаміка довжини кроку, попри позитивну тенденцію, не досягла рівня статистичної значущості. Оцінка величини ефекту за Коеном для показників швидкості та часу в цій групі свідчить про наявність середнього та вираженого впливу експериментального чинника.

У контрольній групі за результатами повторного тестування не було виявлено статистично значущих змін за жодним із контрольованих параметрів. Показники середнього часу, дистанції, швидкості, а також характеристики структури кроку залишилися на рівні вихідних значень без ознак значущого поліпшення чи погіршення. Розраховані величини ефекту в цій групі класифікуються як низькі, що вказує на стабільність результатів протягом усього періоду спостереження. Попри виявлену позитивну внутрішньогрупову динаміку у групі втручання, результати міжгрупового порівняння в кінці дослідження не дозволили встановити статистично значущої різниці між групами за жодним із вимірюваних показників.

Аналіз отриманих емпіричних даних свідчить про підтвердження висунутої гіпотези щодо відсутності статистично значущих відмінностей у темпоральних параметрах спринтерського бігу між групою втручання та контрольною групами наприкінці дослідження (p > 0,05). Зокрема, результати порівняння вказують на те, що впровадження інструментів IoT не створює ізольованої переваги над традиційним електронним навчанням у короткостроковій перспективі. Водночас спостерігається суттєва внутрішньогрупова динаміка у групі втручання, де показники швидкості зросли, а частота кроків покращилася. Отримані дані узгоджуються з висновками Mödinger, Woll & Wagner (2022) про те, що відеозворотний зв'язок є ефективним механізмом стимулювання рухового навчання, оскільки дозволяє студентам зіставляти суб'єктивне відчуття руху з його об'єктивною візуалізацією [7].

Наукова новизна дослідження полягає у розробці та верифікації комплексної методики біомеханічного аналізу навчанні студентів-спортсменів, яка поєднує мобільні додатки для первинної фіксації даних та спеціалізоване програмне забезпечення Kinovea для поглибленої параметризації рухів у стандартних умовах навчального процесу. На відміну від робіт Dobre & Gheorghe (2021), які акцентували увагу на лабораторній діагностиці, наше дослідження демонструє можливість реалізації біомеханічного аналізу в підготовці майбутніх тренерів за допомогою доступних IoT-інструментів без залучення дороговартісних систем захоплення руху [3]. Завдяки цьому розширено сферу застосування біомеханічного моніторингу за межі професійного спорту, шляхом впровадження його в масову підготовку студентів-спортсменів.

Результати дослідження отримали подальший розвиток у контексті формування професійних компетентностей майбутніх тренерів з виду спорту. Використання Kinovea у поєднанні з мобільними пристроями сприяло активізації пізнавальної діяльності студентів-спортсменів (всі учасники успішно завершили курс, без відмови від участі та вибуття), що узгоджується з даними Müller & Wagner (2025) про переваги цифрового формувального оцінювання [8]. Ми підтвердили, що візуалізація технічних помилок через уповільнене відтворення та графічне накладання кутів у Kinovea забезпечує глибше розуміння біомеханічної структури бігового кроку, ніж виключно вербальні вказівки викладача [5]. Практичне значення цих результатів підкріплюється можливістю оперативного коригування навчальної траєкторії на основі об'єктивних метрик частоти та довжини кроку через лабільність цих показників в осіб, які тільки навчаються і не спеціалізуються в легкій атлетиці.

Відсутність статистично значущих міжгрупових розбіжностей при наявності вираженого внутрішньогрупового прогресу у групі втручання може бути пояснена обмеженою тривалістю втручання та «ефектом стелі» у кваліфікованих студентів-спортсменів. Подібні тенденції описував Beseler зі співав. (2024), зауважуючи, що одноразові або нетривалі сесії відеоаналізу часто призводять до швидкого початкового покращення техніки, яке, проте, потребує тривалішої практики для закріплення стабільної переваги над контрольною групою [1]. Наші дані доводять, що IoT-інструменти на базі Kinovea та мобільних додатків є надійним засобом моніторингу, проте їхня ефективність як диференціюючого фактора навчання повною мірою може розкриватися лише при систематичному використанні протягом більш тривалого періоду.

Практична значущість дослідження полягає у запропонованому алгоритмі використання мобільних технологій для збору біомеханічних даних, що мінімізує організаційні витрати при збереженні високої якості зворотного зв'язку. Впровадження мобільного відеоаналізу дозволяє подолати проблему недостатньої технічної грамотності викладачів, про яку згадували попередні дослідники, завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу сучасних додатків та автоматизації розрахунків у Kinovea [10]. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення методології електронного навчання, де IoT-інструменти виступають ключовою ланкою між теоретичними знаннями та практичним вдосконаленням рухових навичок.

Висновки. Реалізація мети дослідження дозволила підтвердити висунуту гіпотезу про відсутність статистично значущої міжгрупової диференціації за темпоральними параметрами швидкісного бігу після десятитижневого втручання ($p > 0,05$). Відсутність значущих міжгрупових розбіжностей при наявному вираженому внутрішньому прогресі групи втручання вказує на потенціал відеоаналізу як інструменту біомеханічного аналізу в контексті оптимізації рухового навчання студентів-спортсменів в електронному форматі. Встановлена позитивна динаміка в групі втручання з вираженим розміром ефекту підтверджує спроможність IoT-інструментів виступати ефективним засобом об'єктивізації зворотного зв'язку. Отримані результати верифікують можливість впровадження доступних цифрових рішень для біомеханічного моніторингу техніки рухів в умовах природного навчального процесу в електронному форматі без залучення додаткового обладнання.

Подальші дослідження пов'язані з проведенням пост-експериментального тестування для визначення збереження ефекту втручання.

References

1.Beseler, B., Plumb, M. S., Spittle, M., Johnson, N. F., Harvey, J. T., & Mesagno, C. (2024). Examining single session peer-teaching instructional approaches on pre-service physical education teachers' throwing techniques. *Perceptual and Motor Skills,* 131(1), 246–266. https://doi.org/10.1177/00315125231214126

2.Constantinides, P. (2023). Video-based analysis for teacher development in physical education. *European Journal of Education and Pedagogy,* 4(6), 146–150. https://doi.org/10.24018/ejedu.2023.4.6.745

3.Dobre, A. G., & Gheorghe, C. (2021). The optimization of the running technique using video analysis method. *Journal of Physics: Conference Series,* 1746(1), 012086. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1746/1/012086

4.He, T., Lv, D., & Li, Z. (2021). Research on long jump posture in school physical education teaching based on video analysis. *Computational Intelligence and Neuroscience,* 2021, 2324352. https://doi.org/10.1155/2021/2324352

5.Hensley, C. P., Kontos, D., Feldman, C., Wafford, Q. E., Wright, A., & Chang, A. H. (2022). Reliability and validity of 2-dimensional video analysis for a running task: A systematic review. *Physical Therapy in Sport,* 58, 16–33. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.08.001

6.Mason, R., Pearson, L. T., Barry, G., Young, F., Lennon, O., Godfrey, A., & Stuart, S. (2023). Wearables for running gait analysis: A systematic review. *Sports Medicine,* 53, 241–268. https://doi.org/10.1007/s40279-022-01760-6

7.Mödinger, M., Woll, A., & Wagner, I. (2022). Video-based visual feedback to enhance motor learning in physical education – A systematic review. *German Journal of Exercise and Sport Research,* 52(3), 447–460. https://doi.org/10.1007/s12662-021-00782-y

8.Müller, J., & Wagner, I. (2025). Formative assessment of motor learning through digital tools in physical education: A systematic literature review. *European Physical Education Review.* 1356336X251357207. https://doi.org/10.1177/1356336X251357207

9.Spuziak, V., Kalashnyk, N., Sharipova, D., Kofanov, I., & Yefremenko, A. (2025). Movement analysis as a monitoring factor in teaching physical exercises to students. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Chernihivskyi kolehiium» imeni T. H. Shevchenka. Ser.: Pedahohichni nauky,* (31), 144–148. https://doi.org/10.58407/visnik.253123

10. Zulkifli, A. F., & Danis, A. (2022). Technology in physical education: Using movement analysis application to improve feedback on sports skills among undergraduate physical education students. *Social Sciences & Humanities Open,* 6(1), 100350. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2022.100350

Стаття надійшла до редакції / Received 07.03.2026
Прийнята до друку / Accepted 19.03.2026
Опубліковано / Published 24.03.2026