



- ” Бондаренко Р., Петренко Ю., Петренко Ю., Куций Д., Єфременко А. Програмоване впровадження інструментів IoT в кондиційному тренуванні студентів-спортсменів. *Освіта. Інноватика. Практика*, 2026. Том 14, № 3. С. 22-29. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol14i3-003>.
- Bondarenko R., Petrenko Yu., Petrenko Yu., Kutsyi D., Yefremenko A. Prohramovane vprovadzhenia instrumentiv IoT v kondytsiinomu trenuvanni studentiv-sportsmeniv [IoT-enabled conditioning frameworks for student-athletes]. *Osvita. Innovatyka. Praktyka – Education. Innovation. Practice*, 2026. Vol. 14, No 3. S. 22-29. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol14i3-003>.

УДК 796.015.132:004.78]:378.091.212  
DOI: 10.31110/2616-650X-vol14i3-003

**Роман БОНДАРЕНКО<sup>1</sup>, Юрій ПЕТРЕНКО<sup>2</sup>, Юлія ПЕТРЕНКО<sup>3</sup>,  
Денис КУЦИЙ<sup>4</sup>, Андрій ЄФРЕМЕНКО<sup>5</sup>**

<sup>1, 3, 5</sup> Харківська державна академія фізичної культури, Україна

<sup>2</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

<sup>4</sup> Харківський національний медичний університет, Україна

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0001-1211-4115>, [lector.khsapc@gmail.com](mailto:lector.khsapc@gmail.com)

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8169-8807>, [petrenkofytlol@gmail.com](mailto:petrenkofytlol@gmail.com)

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6549-3729>, [horbatenko1604@gmail.com](mailto:horbatenko1604@gmail.com)

<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9256-983X>, [denyskutsyi@gmail.com](mailto:denyskutsyi@gmail.com)

<sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0924-0281>, [literasearchukr@gmail.com](mailto:literasearchukr@gmail.com)

## ПРОГРАМОВАНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ІОТ В КОНДИЦІЙНОМУ ТРЕНУВАННІ СТУДЕНТІВ-СПОРТСМЕНІВ

**Анотація.** Сучасна трансформація спортивної освіти в контексті глобальної цифровізації вимагає впровадження в навчальний процес інструментів Інтернету речей (IoT), співставних з тими, які будуть використовуватися майбутніми тренерами з виду спорту в фаховій діяльності. Мета дослідження – пілотна апробація моделі використання IoT в навчанні студентів-спортсменів з основ кондиційного тренування. Методологія роботи базувалася на порівняльному аналізі експериментальної (n = 15) та контрольної (n = 22) груп студентів-спортсменів другого курсу ЗВО віком 19,30±1,10 років, які навчаються на тренера з виду спорту. Для експериментальної групи було запропоновано модель використання IoT у межах електронного освітнього середовища на прикладі навчальної дисципліни «Організаційні основи кондиційного тренування». Комплексний моніторинг результативності навчання включав оцінку теоретичних знань, частоти серцевих скорочень, максимального споживання кисню, а також розрахунок тренувального імпульсу та суб'єктивного сприйняття зусилля. Результати дослідження продемонстрували статистично значуще зростання теоретичної підготовки та покращення об'єктивних фізіологічних параметрів в обох вибірках, що вказує на адекватність запропонованого практичного компонента програми. Проте ключова міжгрупова диференціація була зафіксована у площині перцептивного сприйняття навантаження, де представники експериментальної групи продемонстрували виражене зниження відчуття напруженості при ідентичній інтенсивності роботи. Аналіз кореляційних зв'язків засвідчив посилення взаємозв'язків між об'єктивними показниками кардіореспіраторної системи та суб'єктивними показниками, що підтверджує ефект об'єктивізації внутрішнього стану студентів-спортсменів під впливом використання інструментів IoT. Таке посилення конвергенції даних свідчить про формування в студентів-спортсменів стійкої пропріоцептивної моделі управління навчальним процесом, де цифрові показники стають основою усвідомленого досвіду. Таким чином, впровадження технологій IoT у навчальний процес майбутніх тренерів з виду спорту сприяє підкріпленню когнітивного розвитку інструментальною верифікацією функціональних показників. Запропонований підхід мінімізує психологічну вартість досягнутого результату, забезпечуючи вищу психоемоційну стійкість студентів-спортсменів до зростаючих навчальних навантажень. Отримані результати створюють методичне підґрунтя для підготовки фахівців нового покоління, здатних впроваджувати цифрові технології в процес спортивної підготовки.

**Ключові слова:** електронне навчання; легка атлетика; гейміфікація; інтернет речей (IoT); спортивні тренери; рухові навички; зворотний зв'язок; компетентнісний підхід.

**Roman BONDARENKO<sup>1</sup>, Yurii PETRENKO<sup>2</sup>, Yuliia PETRENKO<sup>3</sup>,  
Denys KUTSYI<sup>4</sup>, Andrii YEFREMENKO<sup>5</sup>**

<sup>1, 3, 5</sup> Kharkiv State Academy of Physical Culture, Ukraine

<sup>2</sup> V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

<sup>4</sup> Kharkiv National Medical University, Ukraine

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0001-1211-4115>, [lector.khsapc@gmail.com](mailto:lector.khsapc@gmail.com)

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8169-8807>, [petrenkofytlol@gmail.com](mailto:petrenkofytlol@gmail.com)

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6549-3729>, [horbatenko1604@gmail.com](mailto:horbatenko1604@gmail.com)

<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9256-983X>, [denyskutsyi@gmail.com](mailto:denyskutsyi@gmail.com)

<sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0924-0281>, [literasearchukr@gmail.com](mailto:literasearchukr@gmail.com)

## IOT-ENABLED CONDITIONING FRAMEWORKS FOR STUDENT-ATHLETES

**Abstract.** The contemporary transformation of sports education amid global digitalization necessitates integrating Internet of Things (IoT) tools into the pedagogical process, aligning them with the technologies that future sports coaches will employ in their professional practice. The aim of this study is to pilot a model for using IoT to teach the fundamentals of conditioning training to student-athletes. The methodology was based on a comparative analysis of experimental (n = 15) and control (n = 22) groups of second-year university student-

*athletes (aged 19.30 ± 1.10 years) majoring in sports coaching. For the experimental group, an IoT integration model was implemented within an electronic learning environment, specifically applied to the discipline "Organizational Foundations of Conditioning Training." Comprehensive monitoring of learning effectiveness included assessments of theoretical knowledge, heart rate (HR), and maximum oxygen consumption (VO<sub>2</sub>max), and the calculation of the training impulse (TRIMP), alongside ratings of perceived exertion (RPE). The research results demonstrated a statistically significant increase in theoretical proficiency and an improvement in objective physiological parameters across both cohorts, indicating the adequacy of the proposed practical component of the program. However, key intergroup differentiation was recorded in the dimension of perceptual exertion; members of the experimental group exhibited a marked decrease in perceived strain during work of identical intensity. Correlation analysis revealed stronger relationships between objective cardiorespiratory metrics and subjective indicators, confirming the "objectification effect" of the student-athletes' internal state under the influence of IoT tools. This enhanced data convergence suggests the formation of a stable proprioceptive model for managing the educational process, wherein digital metrics serve as the foundation for conscious experience. In conclusion, the implementation of IoT technologies in the training of future sports coaches facilitates the reinforcement of cognitive development through the instrumental verification of functional parameters. The proposed approach minimizes the "psychological cost" of the achieved results, ensuring greater psycho-emotional resilience among student-athletes under increasing academic and physical loads. These findings establish a methodological framework for training a new generation of specialists capable of integrating digital technologies into the sports preparation process.*

**Keywords:** *E-learning; track and field; gamification; Internet of Things (IoT); athletic coaches; motor skills; real-time feedback; competency-based approach.*

**Постановка проблеми.** Сучасна спортивна підготовка вимагає впровадження систем моніторингу для забезпечення ефективності тренувального процесу атлетів. Використання інтернету речей дозволяє здійснювати контроль функціональних та біомеханічних показників рухової діяльності в реальному часі. Саме цифровізація освітнього простору майбутніх тренерів виступає визначальним чинником для переходу до об'єктивізованих методів управління тренувальним процесом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз наукового доробку свідчить про домінування інструментів IoT для фіксації зовнішніх параметрів механічного навантаження [13]. Дослідники вказують на недостатню зрілість біосенсорних мереж у контексті верифікації внутрішньої «ціни» вправ [5]. Існуючі концептуальні моделі прогнозування травматизму потребують глибшого обґрунтування через масиви великих даних [14]. Традиційні підходи до оцінки адаптації часто ігнорують необхідність інструментальної об'єктивізації суб'єктивних відчуттів атлета [7]. Наукові праці вказують на брак досліджень, пов'язаних із вивченням формування стійких когнітивних навичок у студентів-спортсменів [11]. Упровадження концепції «Кількісного Я» стикається з труднощами через нерівномірну грамотність користувачів щодо інтерпретації цифрових біомаркерів [6]. Існує необхідність оптимізації зворотного зв'язку між інструментальними та перцептивними метриками. Саме моделювання ситуацій в освітньому процесі, співставних з реальним тренувальним процесом, опосередкованим інструментами IoT, має стати базисом для побудови освітніх траєкторій майбутніх фахівців.

Наразі залишається невирішеним питання ефективної інтеграції IoT для підвищення якості теоретичної та практичної підготовки майбутніх тренерів з виду спорту. Відсутність емпіричних даних щодо впливу системного застосування інструментів IoT на результативність навчання студентів-спортсменів обмежує модернізацію методик підготовки кваліфікованих фахівців у електронному форматі.

**Гіпотеза.** Студенти-спортсмени, які систематично використовували інструменти IoT, покажуть вищі результати навчання з основ кондиційного тренування порівняно з групою контролю.

**Мета дослідження** – пілотна апробація моделі використання IoT в навчанні студентів-спортсменів з основ кондиційного тренування.

**Методи дослідження.** *Учасники.* У дослідженні взяли участь студенти-спортсмени, які обрали для вивчення вибіркової компонент «Організаційні основи кондиційного тренування» в кількості 37 осіб другого курсу ЗВО віком 19,30±1,10 років, без поділу за статтю. Вибірка складалася з трьох академічних груп, які навчалися на тренера з обраного виду спорту (спортивні ігри, техніко-естетичні та водні види спорту, єдиноборства). Розподіл на експериментальну та контрольну групи здійснювався методом випадкового відбору в межах академічних груп для забезпечення гомогенності вибірки за базовим рівнем показників, які вивчали. Після закінчення ранжування особам, які мали скласти експериментальну групу, було запропоновано взяти участь у дослідженні та пояснено його сутність. Як заохочення учасникам експериментальної групи нараховувалися додаткові бали до підсумкового оцінювання курсу за систематичність участі та виконання всіх компонентів втручання. Добровільно зголосилися 15 осіб, з яких було утворено експериментальну групу (ЕГ, n = 15), за умови наявності власного смартфона та можливості встановлення безкоштовних фітнес-додатків або доступу до носимих фітнес-трекерів протягом періоду навчання. Інші учасники склали контрольну групу (КГ, n = 22). Інформована згода отримувалася від усіх учасників після детального пояснення мети дослідження, процедур збору даних, конфіденційності персональної інформації та права на відмову від участі без академічних наслідків.

**Втручання.** Експериментальна група навчалася за програмою, яка передбачала з інтеграцією використання інструментів IoT. Підготовчий етап (перший тиждень) включав онлайн-інструктаж

через відеоконференцію у Google Meet, під час якого студенти отримували покрокові інструкції зі встановлення обов'язкових безкоштовних додатків: 1) Strava для моніторингу рухової навчальної активності; 2) Kinovea або VLC Media Player для відеоаналізу техніки виконання вправ. Студентам надавалися відеоінструкції з налаштування пристроїв, їх калібрування та звітності. Кожен студент отримував доступ до розділу курсу у Google Classroom. Після виконання кожного навчального завдання студенти зберігали дані у власному профілі Strava, який автоматично фіксував тривалість заняття, середню та максимальну ЧСС за наявності датчика серцевого ритму або синхронізованого фітнес-трекера, дистанцію для бігових тренувань, темп руху. Щотижня у суботу студенти експортували файли всіх занять тижня з Strava у форматі GPX через безкоштовну вбудовану функцію експорту (Settings – Export GPX) та завантажували у призначену персональну папку спільного Google Drive курсу з чітко структурованою ієрархією: назва студента – номер тижня – дата заняття. Паралельно студенти заповнювали структуровану Google-форму самозвітування про кожну навчальну активність, де вказували тип заняття, суб'єктивне сприйняття інтенсивності навантаження, рівень втоми, технічні труднощі у виконанні вправ, загальне самопочуття. Дані з форми автоматично накопичувалися у зведеній таблиці Google Sheets, доступній викладачу для моніторингу. Викладач щотижня у суботу переглядав завантажені GPX-файли через безкоштовний онлайн-сервіс GPXSee або імпортував їх у Google My Maps для візуалізації треків та базового аналізу параметрів. Ключові показники кожного тренування (загальний час, час у цільових зонах ЧСС, середня інтенсивність) вносилися у персональні аркуші студентів у майстер-таблиці Google Sheets. На основі цього аналізу в поєднанні з даними самозвітування викладач у неділю формував коментарі для кожного студента щодо корекції наступного тижня. Рекомендації надавалися персонально студентам до кожної навчальної активності з тегуванням студента в Slack. Студенти записували виконання однієї ключової вправи кожного типу навантаження на відео через камеру смартфона: 1) біг з певною швидкістю для аеробних тренувань (фіксація з боку для аналізу постави та роботи рук); 2) стрибкові вправи для швидко-силових якостей (фіксація з боку для аналізу фаз відштовхування та приземлення); 3) функціональні комплекси для силових тренувань (фіксація спереду або з боку для контролю техніки). Відеофайли завантажувалися у персональні папки Google Drive курсу з чіткою номенклатурою файлів: прізвище-тиждень-тип вправи. Перед завантаженням студенти проводили самоаналіз відео через безкоштовну програму Kinovea на комп'ютері або функцію сповільненого покадрового перегляду у стандартних відеоплеєрах смартфонів. За допомогою Kinovea студенти створювали анотовані скріншоти ключових фаз руху з накресленими лініями постави, кутами нахилу тіла, траєкторіями руху кінцівок, додавали текстові коментарі про виявлені технічні помилки. Для тих, хто не мав доступу до комп'ютера, альтернативою була покадрова фіксація проблемних моментів через паузу відео на смартфоні зі створенням скріншотів та текстовим описом у супровідній Google-формі самоаналізу відео. Студенти також порівнювали власну техніку з еталонними відеозразками, розміщеними у групі Telegram, переглядаючи обидва відео послідовно у сповільненому режимі та фіксуючи відмінності у структурованій формі самоаналізу з питаннями про позицію тіла, роботу рук, постановку стоп, ритм дихання. Викладач переглядав відеозаписи студентів протягом тижня та оцінював техніку виконання за розробленими рубриками у форматі Google Sheets, які автоматично розраховували сумарний бал за кожною вправою. Рубрики містили п'ятибальну шкалу з детальними дескрипторами для кожного рівня за окремими критеріями: 1) для бігу оцінювалися постава тулуба, положення голови, робота рук, постановка стопи, економічність рухів; 2) для стрибків аналізувалися фаза підготовки, відштовхування, польоту, приземлення, загальна координація; 3) для силових вправ контролювалися вихідне положення, траєкторія руху, стабільність корпусу, контроль дихання, амплітуда. Викладач завантажував анотовані скріншоти з Kinovea безпосередньо у персональні папки студентів у Google Drive, де графічно позначав проблемні моменти техніки, додавав текстові або короткі голосові коментарі через вбудовану функцію коментування Google Drive. Студенти отримували сповіщення про нові коментарі та могли переглядати аналіз викладача безпосередньо у контексті власного відео. Теоретичний компонент курсу реалізовувався через систему мікронавчання, сполучену з практичною діяльністю. Перед кожним навчальним тижнем мали опрацювати короткий теоретичний модуль тривалістю десять-п'ятнадцять хвилин у форматі відеолекції або інтерактивної презентації, розміщеної у Google Classroom. Після кожного модуля студенти проходили обов'язковий міні-тест на п'ять питань множинного вибору через платформу Quizizz, з подальшим аналізом викладачем наприкінці тижня. Платформа Quizizz надавала студентам миттєвий зворотний зв'язок з поясненнями правильних відповідей та дозволяла необмежену кількість спроб для досягнення стовідсоткового результату, що підтримувало принцип навчання до засвоєння матеріалу.

Контрольна група навчалася за прийнятою на кафедрі легкої атлетики методикою електронного навчання без IoT-компоненти та програмованої адаптації. Студенти отримували доступ до ідентичного теоретичного контенту на платформі Google Classroom, включаючи ті самі відеолекції, інтерактивні презентації, текстові матеріали з основ кондиційного тренування. Теоретичні тести

проводилися через ту саму платформу Quizizz з ідентичними питаннями та графіком тестування, що контролювало когнітивну змінну між групами. Принципова відмінність полягала у організації практичної діяльності та методах контролю її виконання. Студенти контрольної групи виконували тренування самостійно та щотижня заповнювали стандартизовану онлайн-форму звіту через Google Forms, де вказували дату та час кожної навчальної активності, тип згідно з планом, загальну тривалість у хвилинах, перелік виконаних вправ, суб'єктивну оцінку інтенсивності за десятибальною шкалою, загальне самопочуття після тренування. Використання IoT-пристроїв для об'єктивної фіксації параметрів навчальних активностей не було обов'язковим, студенти могли на власний розсуд застосовувати будь-які методи самоконтролю або взагалі обмежитися суб'єктивним сприйняттям навантаження. Дані з форм звітності автоматично накопичувалися у зведеній таблиці Google Sheets, доступній викладачу, але не піддавалися детальному індивідуальному аналізу. Викладач періодично переглядав загальну статистику виконання навчальних активностей групою та надавав загальні коментарі для всієї контрольної групи через оголошення у Google Classroom без персоналізації зворотного зв'язку для окремих студентів. Відеозвітність у контрольній групі здійснювалася за графіком, ідентичним графіку експериментальної групи. Принципова відмінність полягала у відсутності вимоги до попереднього самоаналізу відео з використанням спеціалізованих інструментів. Студенти не отримували інструкцій щодо використання Kinovea чи інших програм відеоаналізу, не зобов'язані були створювати анотовані скріншоти чи порівнювати власну техніку з еталонними зразками. Викладач переглядав відеозаписи студентів контрольної групи та оцінював техніку виконання вправ, але без використання формалізованих рубрик оцінювання. Зворотний зв'язок надавався у формі коротких текстових коментарів безпосередньо під відеофайлом у Google Drive з загальними рекомендаціями щодо покращення техніки без графічних позначок проблемних моментів, без деталізації конкретних фаз руху, без порівняння з еталонними біомеханічними зразками. Студенти контрольної групи не мали доступу до детальних відеоінструкцій з техніки виконання окремих вправ, отримували лише загальні демонстраційні відео комплексних тренувань без акцентів на основних технічних елементах.

*Тестування.* Комплексне оцінювання навчальних результатів здійснювалося на двох контрольних точках протягом 10-тижневого курсу за однаковою програмою: 1) базове тестування на першому тижні до початку основного етапу втручання; 2) підсумкове тестування на десятому тижні після завершення всіх навчальних модулів. Оцінювання структурувалося відповідно до двох векторів моніторингу: 1) когнітивний (теоретичні знання); 2) руховий (практичні навички та функціональна підготовленість). Когнітивний компонент оцінювався через стандартизовані онлайн-тести на платформі Quizizz з ідентичним змістом для обох груп на кожній контрольній точці. Базовий тест мистив тридцять питань множинного вибору. Додатковим показником когнітивного прогресу були результати щотижневих міні-тестів, які студенти проходили після опрацювання кожного теоретичного модуля. Руховий компонент оцінювання включав:

виконання 12-ти хвилинного бігу з фіксацією середньої ЧСС (для КГ відразу по закінченні бігу; для ЕГ з використанням інструментів IoT) та суб'єктивною оцінкою напруженості зусилля RPE (10-ти бальний) [11] по його закінченні з подальшим розрахунком тренувального імпульсу (TRIMP) за формулою [1]:

$$TRIMP = T \cdot ЧСС_{вр} \cdot 0,64e^{k \cdot ЧСС_{вр}}, \text{ де:}$$

$T$  – тривалість вправи у хв (в нашому випадку – 12 хв);

$ЧСС_{вр}$  – відносний резерв ЧСС, що розраховується як:  $\frac{ЧСС_{вр} - ЧСС_{спок}}{ЧСС_{макс} - ЧСС_{спок}}$ , де:

$ЧСС_{вр}$  – середнє ЧСС під час виконання бігового тесту;  $ЧСС_{спок}$  – ЧСС в стані спокою;  $ЧСС_{макс}$  – ЧСС максимальне розраховане за формулою:  $220 - \text{вік}$  в роках;

$k$  – константа (1.92 для чоловіків та 1.67 для жінок);

$e$  – основа натурального логарифма (2,718).

виконання YMCA 3-min step test з подальшим розрахунком  $VO_{2max}$  за формулою [1].

чоловіки:  $VO_{2max} = 111,33 - (0,42 \cdot ЧСС_{відновлення})$

жінки:  $VO_{2max} = 65,81 - (0,1847 \cdot ЧСС_{відновлення})$ , де:

$ЧСС_{відновлення}$  – ЧСС за 1 хв відновлення після тесту.

*Статистичний аналіз.* Описова статистика розраховувалася окремо для експериментальної та контрольної груп на кожній контрольній точці та включала середні арифметичні значення з стандартними відхиленнями для безперервних змінних з нормальним розподілом, медіани з інтерквартильними розмахами для змінних з відхиленням від нормальності. Нормальність розподілу безперервних змінних перевірялася тестом Шапіро-Уілкі. Порівняння експериментальної та контрольної груп здійснювали з використанням непараметричного U-критерію Манна-Уїтні. Внутрішньогрупові порівняння здійснювали з використанням t- або W-критерію, залежно від характеру розподілу даних. Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена використовувався для визначення

взаємозв'язку між функціональними параметрами, які вивчалися. Величина ефекту втручання розраховувалася для кількісної оцінки практичної значущості виявлених відмінностей незалежно від статистичної значущості. Для порівняння двох груп використовувався коефіцієнт Коена  $d$ , розрахований як різниця середніх значень між групами, поділена на об'єднане стандартне відхилення. Рівень статистичної значущості встановлювався на  $p > 0,05$  для всіх аналізів. Всі статистичні аналізи проводилися у програмному пакеті Jamovi.

**Виклад основного матеріалу.** У таблиці 1 представлені результати статистичної обробки даних дослідження (табл. 1).

Таблиця 1

**Комплексна порівняльна динаміка показників експериментальної (n=15) та контрольної (n=22) груп**

Показник	Група	Час	M $\pm$ SD	Me(IQR)	W/t p (внутр.)	d Cohen	U / p (міжгр.)
Теоретичні знання (бали)	ЕГ	I*	35,400 $\pm$ 4,140	35,000 (5,000)	W = 0,000	-2,694	U <sub>I</sub> = 44,000 / <0,001**
		II*	47,333 $\pm$ 3,410	50,000 (5,500)	<0,001 **		
	КГ	I*	40,318 $\pm$ 1,910	40,500 (3,000)	W = 0,000	-1,688	U <sub>II</sub> = 153,500 / 0,710
		II*	46,500 $\pm$ 4,130	50,000 (6,000)	<0,001 **		
ЧСС (уд/хв)	ЕГ	I	98,067 $\pm$ 23,010	98,000 (38,500)	t = -5,390	-1,391	U <sub>I</sub> = 157,500 / 0,828
		II	129,067 $\pm$ 23,210	132,000 (35,500)	<0,001 **		
	КГ	I	99,227 $\pm$ 19,230	97,000 (32,750)	t = -6,666	-1,421	U <sub>II</sub> = 154,500 / 0,757
		II	132,273 $\pm$ 19,410	135,000 (25,250)	<0,001 **		
VO <sub>2</sub> max (мл/кг/хв)	ЕГ	I	31,713 $\pm$ 9,780	29,600 (15,600)	t = -4,250	-1,098	U <sub>I</sub> = 154,500 / 0,757
		II	41,200 $\pm$ 9,150	41,800 (13,100)	<0,001 **		
	КГ	I	30,014 $\pm$ 8,440	27,900 (12,300)	t = -5,693	-1,214	U <sub>II</sub> = 163,500 / 0,975
		II	41,555 $\pm$ 8,230	42,900 (11,100)	<0,001 **		
TRIMP (од.)	ЕГ	I*	16,800 $\pm$ 6,090	12,000 (12,000)	W = 0,000	-0,947	U <sub>I</sub> = 159,000 / 0,840
		II	27,200 $\pm$ 12,420	24,000 (18,000)	0,007 **		
	КГ	I*	16,364 $\pm$ 5,910	12,000 (12,000)	W = 0,000	-1,115	U <sub>II</sub> = 164,000 / 0,987
		II*	26,727 $\pm$ 9,750	24,000 (12,000)	<0,001 **		
RPE (бали)	ЕГ	I	7,267 $\pm$ 1,330	7,000 (1,500)	t = 3,900	1,006	U <sub>I</sub> = 161,500 / 0,924
		II	5,800 $\pm$ 1,610	6,000 (2,000)	0,002 **		
	КГ	I*	7,318 $\pm$ 1,320	7,500 (2,000)	W = 102,000	0,145	U <sub>II</sub> = 90,500 / 0,020**
		II	7,045 $\pm$ 1,290	7,000 (2,000)	0,477		

*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; ЧСС – середнє значення при виконанні 12-ти хвилинного бігу; VO<sub>2</sub>max розраховано за результатами тесту YMCA 3-min step test; TRIMP та RPE зафіксовано по закінченні виконання 12-ти хвилинного бігу.

Аналіз результатів засвідчив наявність вираженої позитивної динаміки в обох групах протягом дослідження. Зокрема, рівень когнітивної складової, що оцінювався за бальною системою теоретичних знань, продемонстрував статистично значуще зростання як в основній, так і в контрольній групах.

Показники кардіореспіраторної системи та об'єктивної інтенсивності навантаження, зокрема ЧСС та VO<sub>2</sub>max, виявили суттєве підвищення значень на завершальному етапі тестування в межах обох вибірок. Аналогічна тенденція до зростання була зафіксована і для показника тренувального імпульсу, що підтверджує адекватність та інтенсивність фізичного компонента програми. При цьому за результатами міжгрупового порівняння не було виявлено статистично значущих відмінностей за вказаними фізіологічними параметрами.

Найбільш вагомими диференційованими результатами зафіксовано при аналізі суб'єктивного сприйняття навантаження за шкалою RPE. В ЕГ спостерігалось статистично значуще зниження відчуття напруженості при виконанні тестового завдання, тоді як у КГ цей показник залишався без суттєвих змін протягом усього періоду спостереження. Така варіативність призвела до виникнення статистично значущої міжгрупової відмінності наприкінці дослідження.

У таблиці 2 представлені результати кореляційного аналізу (табл. 2).

Результати кореляційного аналізу на початковому етапі дослідження свідчать про наявність статистично значущих позитивних взаємозв'язків між усіма зареєстрованими параметрами. Найбільш виражена тіснота зв'язку зафіксована між показниками ЧСС, результатами функціонального тестування YMCA та значеннями TRIMP. Кореляційні зв'язки суб'єктивного сприйняття зусилля за шкалою RPE з об'єктивними фізіологічними маркерами на даному етапі також характеризувалися статистичною значущістю, проте демонстрували помірно нижчі значення коефіцієнтів порівняно з інтрафізіологічними парами показників.

Таблиця 2

Матриця кореляцій показників на початку (I) та в кінці (II) дослідження (n=37)

Показник	Час	ЧСС	VO <sub>2</sub> max	TRIMP	RPE
ЧСС	I	-	0,962 ***	0,853 ***	0,571 ***
	II	-	0,935 ***	0,942 ***	0,632 ***
VO <sub>2</sub> max	I	0,956 ***	-	0,859 ***	0,610 ***
	II	0,906 ***	-	0,868 ***	0,694 ***
TRIMP	I	0,841 ***	0,838 ***	-	0,468 **
	II	0,947 ***	0,856 ***	-	0,548 ***
RPE	I	0,572 ***	0,628 ***	0,460 **	-
	II	0,607 ***	0,661 ***	0,539 ***	-

Примітки: рівні значущості: \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; I – вимірювання на початку дослідження; II – вимірювання в кінці дослідження

На заключному етапі спостереження статистична значущість усіх раніше виявлених кореляцій була підтверджена на високому рівні. У динаміці встановлено посилення тісноти взаємозв'язку між показником TRIMP та ЧСС. Кореляційні відношення показника RPE з усіма інструментальними параметрами інтенсивності навантаження продемонстрували тенденцію до зростання порівняно з вихідними значеннями. Взаємозв'язок між ЧСС та результатами YMCA зберіг стабільно високі показники тісноти з незначними варіаціями коефіцієнтів.

Основні результати дослідження свідчать, що початкова міжгрупова неоднорідність за когнітивним параметром (теоретичні знання) була повністю нівельована до завершення експерименту, що свідчить про ефективність реалізованих освітніх заходів. Зміни функціональних параметрів (ЧСС та VO<sub>2</sub>max) вказують на еквівалентність фізичного впливу та односпрямованість адаптаційних процесів організму в обох вибірках. Отримані дані дозволяють констатувати, що попри ідентичність об'єктивних показників фізіологічної вартості навантаження (TRIMP), представники експериментальної групи демонструють вищу адаптивну здатність та психоемоційну стійкість до фізичного напруження (RPE) порівняно з контрольною групою.

Новизна отриманих даних полягає у виявленні специфічного впливу систематичного використання IoT-технологій не лише на накопичення теоретичних знань, а й на модифікацію суб'єктивного сприйняття інтенсивності фізичних навантажень. Встановлено, що запропонована конфігурація інструментів-IoT виступає в ролі когнітивного посередника, який дозволяє студентам-спортсменам краще інтерпретувати власні фізіологічні стани, що зрештою призводить до зниження психоемоційного напруження при ідентичних об'єктивних параметрах навчального навантаження практичного (фізичного) характеру. Означене розширює традиційне розуміння концепції «Кількісного Я», переводячи її з площини простого моніторингу в площину активного управління адаптивним потенціалом (на прикладі кондиційного тренування) через освітній контекст. Аналіз кореляційної матриці результатів дослідження дозволяє констатувати наявність стійкої конвергенції між функціональними показниками та суб'єктивними метриками сприйняття навантаження. Таким чином, сполучене використання даних з інструментів IoT та суб'єктивних оцінок студентів-спортсменів дозволяє трансформувати дискретні біосигнали у валідну оцінку внутрішнього навантаження в процесі навчання в електронному форматі. Це явище можна інтерпретувати як результат успішного впровадження IoT-інструментів в освітній процес, де студенти-спортсмени через пропріоцептивний зворотний зв'язок у реальному часі вчаться інтерпретувати власні суб'єктивні реакції. Таким чином, суб'єктивна шкала RPE за умови електронного супроводу перестає бути суто інтуїтивним параметром і набуває статусу надійного індикатора внутрішнього стану, що узгоджується з положеннями про взаємозв'язок внутрішнього та зовнішнього навантаження в спортивній підготовці [2].

Отримані результати підтримують наукові положення щодо ефективності використання інструментів IoT для оцінки фізіологічного статусу та фізичних навантажень [3]. Позитивна динаміка показників кардіореспіраторної системи узгоджується з принципами кондиційного тренування та результатами використання технологій для його опосередкування в підготовці спортсменів [4]. Таким чином, вдалося в умовах електронного формату навчання наблизитися до реальної тренерської практики у моделюванні умов навчання. Також підтверджено тезу про те, що контроль внутрішнього навантаження (TRIMP) має високий ступінь кореляції з об'єктивними показниками функціонального стану [12]. Розвиток отримало положення про необхідність мультидисциплінарного підходу до аналізу результативності електронного навчання студентів-спортсменів, де функціональні чинники та когнітивна складова є невід'ємними компонентами успіху [11].

Деякі очікувані результати були спростовані або отримали іншу інтерпретацію в контексті пілотного дослідження. Зокрема, припущення про те, що експериментальна група продемонструє значно вищі темпи функціональної адаптації порівняно з контрольною групою, не знайшло статистичного підтвердження. В котре підтверджено тезу, що фізична адаптація на короткострокових етапах педагогічного втручання, особливо в навчанні специфічних груп таких, як студенти-спортсмени, більше залежить від об'єктивних чинників (обсяг практико-орієнтованого фізичного навантаження та індивідуальні особливості студентів) програми, ніж від способу її моніторингу [8, 15]. Крім того, було нівельовано початкову неоднорідність груп за теоретичними знаннями, що спростовує думку про виключну роль IoT у формуванні когнітивної бази, натомість переорієнтуючи роль технологій як стимулу до вирівнювання освітніх результатів у довгостроковій перспективі [9].

Резюмуючи результати перевірки гіпотези та загальні підсумки дослідження, слід зазначити, що припущення про вищу ефективність навчання за умови використання IoT було підтверджено переважно крізь призму якісних змін в адаптивній здатності організму студентів-спортсменів експериментальної групи. Хоча кількісні показники теоретичних знань та функціональних параметрів організму в обох групах продемонстрували схожу позитивну динаміку, саме диференціація суб'єктивного сприйняття зусилля (RPE) стала ключовим маркером переваги експериментальної моделі. Дослідження доводить, що систематичне використання інструментів IoT сприяє формуванню більш стійкої системи «людина-машина», де студент-спортсмен отримує пропріоцептивний зворотний зв'язок у реальному часі, що мінімізує психологічну вартість досягнутого результату [10, 15]. Таким чином, запропонована в процесі втручання модель виступає інструментом об'єктивізації не лише фізичних кондицій, а й самого процесу навчання основам кондиційного тренування. Здатність системи IoT забезпечувати конвергенцію між «фізіологічною вартістю» навантаження та її відображенням у свідомості студента є вагомим доказом ефективності навчання в електронному форматі. Впровадження запропонованої моделі IoT-опосередкованої програми навчання в електронному форматі на прикладі вивчення основ кондиційного тренування в освітній процес майбутніх працівників з тренерського фаху є виправданим кроком для підвищення його ефективності.

**Обмеження.** Відносно мала чисельність вибірки ( $n=37$ ) та її специфічний характер – залучення виключно студентів-спортсменів обмежує можливість екстраполяції висновків на ширші популяційні групи або професійних атлетів високої кваліфікації. Іншим обмеженням є часовий регламент експерименту, який базувався на порівнянні початкових та заключних вимірювань без довгострокового лонгітюдного спостереження.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Проведене пілотне дослідження підтвердило наукову доцільність та ефективність впровадження технологій інтернету речей у процес підготовки студентів-спортсменів, які навчаються в електронному форматі. Отримані результати свідчать, що використання запропонованої моделі дозволяє трансформувати освітній процес із традиційної репродуктивної моделі засвоєння знань у площину активного управління практичною складовою навчання на основі об'єктивних даних. Встановлено, що попри еквівалентність впливу та схожу позитивну динаміку покращення об'єктивних функціональних параметрів в обох групах, саме експериментальна модель забезпечила більшу ефективність навчання з основ кондиційного тренування. Ключовим підсумком роботи є виявлена здатність опосередкованого IoT електронного навчання виступати дієвим інструментом об'єктивізації суб'єктивного сприйняття пропонуваніх практичних навантажень фізичного характеру. Таким чином, встановлено можливість застосування запропонованої моделі в роботі з іншим контингентом та проведення лонгітюдних спостережень для оцінки стабільності виявлених ефектів. Майбутні дослідження спрямовані на впровадження запропонованої моделі в освітній процес ЗВО спортивного профілю для підвищення якості навчання майбутніх тренерів в умовах дистанційного та змішаного навчання.

**Конфлікт інтересів.** Автори підтверджують відсутність фінансових, особистих чи інших інтересів, що можуть розглядатися як потенційний конфлікт інтересів щодо публікації цієї статті.

**Фінансування.** Робота виконана за відсутності фінансової підтримки з боку будь-яких організацій.

**Доступність даних.** Очищений набір даних розміщено за цим URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18606782>.

**Використання штучного інтелекту.** Інструменти штучного інтелекту використовувалися для оформлення References згідно з вимогами видання.

**Авторський внесок (CRediT):**

Р. Бондаренко – Концептуалізація; Методологія; Керівництво; Написання (початковий варіант рукопису).

Ю. Петренко – Дослідження; Методологія; Формальний аналіз; Написання (перегляд та редагування).

Ю. Петренко – Дослідження; Методологія; Валідація; Написання (перегляд та редагування).  
Д. Куций – Формальний аналіз; Дослідження; Методологія; Написання (перегляд та редагування).  
А. Єфременко – Кураторство даними; Методологія; Адміністрування проєкту; Візуалізація.

### Список використаних джерел / References

1. Bayles, M. P. (2018). *ACSM's exercise testing and prescription*. Lippincott Williams & Wilkins. <http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/bitstream/123456789/5118/1/2018-Exercise-Testing-and-Prescription.pdf>
2. Chu, W. C. -C., Shih, C., Chou, W. -Y., Ahamed, S. I., & Hsiung, P. -A. (2019). Artificial Intelligence of Things in Sports Science: Weight Training as an Example. *Computer*, 52(11), 52-61. <https://doi.org/10.1109/MC.2019.2933772>
3. Huang, Z., Chen, Q., Zhang, L., & Hu, X. (2019). Research on intelligent monitoring and analysis of physical fitness based on the internet of things. *IEEE Access*, 7, 177297-177308. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2956835>
4. Liang, J. (2025). Analyzing biomechanical force characteristics in sports performance monitoring using biochemical sensors and internet of things devices. *Molecular & Cellular Biomechanics*, 22(2), 727. <https://doi.org/10.62617/mcb727>
5. Masuki, S., Morikawa, M. and Nose, H. (2020), Internet of Things (IoT) System and Field Sensors for Exercise Intensity Measurements. *Comprehensive Physiology*, 10, 1207-1240. <https://doi.org/10.1002/j.2040-4603.2020.tb00133.x>
6. Passos, J., Lopes, S. I., Clemente, F. M., Moreira, P. M., Rico-González, M., Bezerra, P., & Rodrigues, L. P. (2021). Wearables and Internet of Things (IoT) Technologies for Fitness Assessment: A Systematic Review. *Sensors*, 21(16), 5418. <https://doi.org/10.3390/s21165418>
7. Rajasekaran, M., Sekar, S., Manikandaprabhu, K., Vijayakumar, R., Rajmohan, M., & Murugan, S. (2024, October). Next-Gen Coaching: IoT and Linear Regression for Adaptive Training Load Management. In *2024 8th International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC)* (pp. 224-229). IEEE. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC61858.2024.10714605>
8. Raman, R., Kaul, M., Meenakshi, R., Jayaprakash, S., Rukmani, D., & Murugan, S. (2023). IoT Applications in Sports and Fitness: Enhancing Performance Monitoring and Training. 137-141. <https://doi.org/10.1109/smarttechcon57526.2023.10391301>
9. Rodríguez-Molina, J., Martínez, J.-F., Castillejo, P., & López, L. (2013). Combining Wireless Sensor Networks and Semantic Middleware for an Internet of Things-Based Sportsman/Woman Monitoring Application. *Sensors*, 13(2), 1787-1835. <https://doi.org/10.3390/s130201787>
10. Sattaburuth, C., & Wannapiroon, P. (2021). Sensorization of Things Intelligent Technology for Sport Science to Develop an Athlete's Physical Potential. *Higher Education Studies*, 11(2), 201-214. <https://doi.org/10.5539/hes.v11n2p201>
11. Shutieiev I., Nalushnyi V., Shalenko V., Sheludko P., Yefremenko A. Effectiveness of teaching track running to students specializing in «football» using mobile technologies. *Sports games*, 4(38), 76-86. <https://doi.org/10.15391/si.2025-4.10>
12. Song, B., & Tuo, P. (2022). Monitoring the physical condition of basketball players using IoT and blockchain. *Mobile information systems*, 2022(1), 7657764. <https://doi.org/10.1155/2022/7657764>
13. Swan, M. (2012). Sensor Mania! The Internet of Things, Wearable Computing, Objective Metrics, and the Quantified Self 2.0. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 1(3), 217-253. <https://doi.org/10.3390/jsan1030217>
14. Wilkerson, G. B., Gupta, A., & Colston, M. A. (2018). Mitigating sports injury risks using internet of things and analytics approaches. *Risk analysis*, 38(7), 1348-1360. <https://doi.org/10.1111/risa.12984>
15. Zhen, H., Kumar, P. M., & Samuel, R. D. J. (2021). Internet of things framework in athletics physical teaching system and health monitoring. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 30(06n08), 2140016. <https://doi.org/10.1142/S0218213021400169>

| Матеріал надійшов до редакції: 12.01.2026 р. | Прийнято до друку: 27.02.2026 р. | Опубліковано: 31.03.2026 р. |

