

DOI: [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.6\(179\).28](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.6(179).28)  
УДК: 606:61 + 61:796 (043.2)

**Маслова О.В.**  
кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент  
Національний університет фізичного виховання і спорту України,  
м. Київ  
ORCID: 0000-0001-8907-6172

**Футорний С.М.**  
доктор наук з фізичного виховання і спорту, професор  
Національний університет фізичного виховання і спорту України м. Київ  
ORCID: 0000-0003-1623-7929

**Лукашевич І.І.**  
кандидат медичних наук, доцент  
Національний університет фізичного виховання і спорту України м. Київ  
ORCID: 0000-0001-8186-6292

**Богданович Л.В.**  
кандидат біологічних наук, доцент  
Національний університет фізичного виховання і спорту України м. Київ  
ORCID: 0000-0003-4816-4138

**Лисюк С.І.**  
Викладач  
Національний університет фізичного виховання і спорту України м. Київ  
ORCID: 0009-0000-9104-9448

**Книш Тетяна Вікторівна**  
Викладач  
Національний університет фізичного виховання і спорту України м. Київ  
ORCID: 0009-0005-7565-0600

## СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРАКТИКУ СПОРТИВНОЇ МЕДИЦИНИ

Позитивні тенденції в розвитку медико-технологічних наук пов'язані зі збільшенням витрат на систему охорони здоров'я, які за останнє десятиліття зросли в багатьох країнах і, відповідно, збільшили вартість медичної допомоги, закупівлі сучасного медичного обладнання, впровадження фармакологічних засобів лікування тощо. Це спричинило, значне збільшення інвестицій в дослідження і впровадження розробок новітніх перспективних медико-технологічних напрямів, до прикладу таких як інформаційні медичні технології. У розвинених країнах, де загальне «споживання медичних виробів» становить десятки мільярдів доларів на рік, витрати на інформаційні медичні технології досягають 10-15 відсотків загальних витрат системи охорони здоров'я. За останнє десятиліття цей показник зріс більш ніж удвічі, що зрівняло його з обсягом інвестицій у медичні вироби, в тому числі і у практиці спортивної медицини. Мета дослідження – визначити напрями впровадження біомедичних технологій у практику сучасної спортивної медицини. Матеріали та методи дослідження: аналіз і узагальнення даних спеціальної науково-методичної літератури; моніторинг інформаційних ресурсів мережі Інтернет; метод систематизації; контент-аналіз. Результати. Визначено, що сучасні тенденції та напрями розвитку застосування біомедичної інженерії у практиці спортивної медицини полягають в розвитку новітніх біомедичних пристроїв та технологій для покращення ефективності тренувань і збереження здоров'я спортсменів; використанні штучного інтелекту для аналізу великих об'ємів даних та вдосконалення тренувального процесу; для створення персоналізованих тренувальних програм та адаптації до індивідуальних потреб спортсменів; розробці професійних протезів та екзоскелетів для осіб з обмеженою рухливістю. Висновки. Встановлено, що одночасно з диференціацією наук, їх все більшою спеціалізацією на традиційних межах, з'являються нові міждисциплінарні напрями, які стають містками взаємного проникнення різних областей знання в ім'я загальнолюдського прогресу. Медико-технічні науки, такі як біомедична кібернетика, біоніка, біомеханіка і інші, є також прикладом взаємопроникнення медичних і технічних наук заради пізнання природи здоров'я, захворювань людини, розуміння механізмів діагностики, лікування та попередження уражень організму, в тому числі у практиці спортивної медицини.

**Ключові слова:** біомедичні технології, спортивна медицина, реабілітація, біоінженерія, терапія, лікування.

**Maslova O., Futorny S., Lukasevich I., Bohdanovich L., Lysyuk S., Knysh T. Current tendencies in implementation of biomedical technologies in sports medicine practice.** Positive trends in the development of medical and technological sciences are associated with an increase in the costs of the health care system, which have increased in many countries over the last decade and, accordingly, increased the cost of medical care, the purchase of modern medical equipment,

the introduction of pharmacological treatments, etc. This caused a significant increase in investments in research and implementation of developments in the latest promising medical and technological directions, for example, such as information medical technologies. In developed countries, where the total "consumption of medical devices" is tens of billions of dollars per year, the costs of medical information technology reach 10-15 percent of the total costs of the health care system. Over the last decade, this indicator has more than doubled, which equated it with the amount of investments in medical products, including in the practice of sports medicine. The purpose of the research is to determine the directions of introduction of biomedical technologies into the practice of modern sports medicine. Research materials and methods: analysis and generalization of data from special scientific and methodical literature; monitoring of Internet information resources; systematization method; content analysis. The results. It was determined that the current trends and development directions of the application of biomedical engineering in the practice of sports medicine are the development of the latest biomedical devices and technologies to improve the effectiveness of training and preserve the health of athletes; using artificial intelligence to analyze large volumes of data and improve the training process; to create personalized training programs and adapt to the individual needs of athletes; development of professional prostheses and exoskeletons for persons with limited mobility. Conclusions. It has been established that simultaneously with the differentiation of sciences, their increasing specialization on traditional boundaries, new interdisciplinary directions appear, which become bridges of mutual penetration of different areas of knowledge in the name of universal human progress. Medical and technical sciences, such as biomedical cybernetics, bionics, biomechanics and others, are also an example of the interpenetration of medical and technical sciences for the purpose of learning the nature of health, human diseases, understanding the mechanisms of diagnosis, treatment and prevention of body injuries, including in the practice of sports of medicine.

**Key words: biomedical technologies, sports medicine, rehabilitation, bioengineering, therapy, treatment.**

**Постановка проблеми.** У 20-му столітті людство вступило в нову фазу цивілізації. Розвинені країни живуть у постіндустріальному суспільстві, яке визнає знання, інформацію та людське життя найвищими цінностями [20].

Науки про життя, системна біологія, біотехнології та фармакологія стрімко розвиваються, відбувається революція в інформаційних технологіях та когнітивних науках [22].

У практиці сучасної медицини одним з таких напрямів є біомедична інженерія. Широке задіяння новітніх технологій, апробація методів управління та модернізація професійної діяльності в окремих галузях медицини, в тому числі спортивній медицині, сприяє вирішенню стратегічного питання сьогодення – формування та підтримка здоров'я населення країни [1].

**Аналіз літературних джерел.** Спортом захоплюються в усьому світі, а спортсмени часто є більш значущими, ніж національні лідери. Тому, зважаючи на їхню популярність, вкрай важливо, щоб спортсмени завжди підтримували високий рівень досконалості, демонстрували найвищі результати власних спортивних досягнень і тримали репутацію країни [11].

Внесок сучасних біомедичних технологій у благополуччя спортсменів не має собі рівних як на національному рівні, так і в усьому світі, за рахунок яких сама спортивна наука відкрила нову еру, трансформувавши підхід до індивідуального та командного медико-біологічного та медико-педагогічного супроводу спортсменів через оптимізацію тренувального процесу, підвищення ефективності змагальної діяльності, покращення процесів відновлення організму після втоми, профілактики травм та перенапруження ведучих органів і систем організму тощо [8].

Представлення напрямів впровадження розробок біомедичної інженерії у практику спортивної медицини на конкретних прикладах з доведеною ефективністю їх використання є одним із шляхів висвітлення новітніх тенденцій розвитку та актуалізації потенціалу системи медичного забезпечення всієї сфери фізичної культури і спорту.

**Мета дослідження** – визначити сучасні тенденції впровадження біомедичних технологій у практику спортивної медицини.

**Матеріали та методи дослідження.** Для вирішення поставленої мети дослідження нами були використані наступні методи: аналіз і узагальнення даних спеціальної науково-методичної літератури; моніторинг інформаційних ресурсів мережі Інтернет; метод систематизації; контент-аналіз.

Аналіз і узагальнення даних спеціальної науково-методичної літератури першочергово передбачав визначення змісту поняття біомедичні технології, стратегічних напрямів їх розвитку та впровадження у практику сучасної медицини.

Моніторинг інформаційних ресурсів мережі Інтернет та метод систематизації дозволив дослідити теоретико-методичні аспекти і конкретний практичний досвід долучення біомедичних технологій до професійної діяльності спортивної медицини, ефективність їх використання як у клінічній практиці так і у системі відновлення організму.

Дослідження проводилась відповідно до зведеного плану НДР 2020-2025 рр. на базі Національного університету фізичного виховання і спорту України (кафедра спортивної медицини).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Біомедична інженерія - це галузь науки, яка поєднує інженерію (механічну, електричну, електронну та комп'ютерну) з біомедичними та фізіологічними науками і застосовує передові інженерні теорії й методи для розгляду, аналізу та вирішення біомедичних проблем. Біомедична інженерія уможливорює творчість, розвиток і винаходи завдяки різноманітності медичної галузі та доступності до фізіологічних систем людського організму і на сьогодні представлена найбільш складними, передовими та дорогими технологіями [2, 3, 21].

Біоматеріали, медична візуалізація, медична механіка, нанобіотехнології та тканинна інженерія є одними з найважливіших напрямків сучасних наукових досліджень. Через стрімкий розвиток технологій, збільшення кількості захворювань та існування багатьох медичних і технічних проблем, які потребують вирішення, медичним технікам доводиться мати справу з дедалі складнішими біологічними проблемами, вдосконалювати функції традиційних пристроїв для досягнення кращих результатів та винаходити нові прилади, щоб допомогти лікарям краще виконувати свої завдання за наступними напрямками професійної діяльності [29]:

- клінічна інженерія – розробка та інженерний супровід медичних технологій, пов'язаних з використанням технічних засобів в медицині, управління інженерною інфраструктурою та системою безпеки і якості лікувальних закладів [4];
  - медична радіологія – розробка та вдосконалення джерел променевого впливу на біологічні системи [4];
  - медична техніка – розробка, вдосконалення та метрологічний контроль медичних приладів і систем, інструментів, сенсорів та приводів, активних і пасивних протезів, штучних органів та їх частин, дослідження їх взаємодії з біологічними об'єктами [4];
  - мікроелектромеханічні системи – інтеграція механічних елементів, датчиків, приводів і електроніки на мікросхемах, включаючи розробку мікророботів, для діагностики і лікування в медицині та біології [4];
  - біоматеріали – розробка та вдосконалення, природних, штучних і комбінованих речовин [4];
  - біомеханіка – дослідження опорно-рухового апарату, а також руху, деформації, потоків і транспорту речовин живих організмів та їх штучних аналогів [7];
  - ортопедична і спортивна біоінженерія – застосування принципів інженерної, механіки і біоматеріалознавства для дослідження і моделювання структури і функції опорно-рухового апарату [14];
  - реабілітаційна інженерія – дослідження, інженерний супровід засобів і технологій спрямованих на відновлення втрачених органів, частин органів та їх функцій [7];
  - робототехніка в хірургії – розробка і використання робото-техніки і систем обробки зображень в інтерактивному режимі для хірургічних операцій в умовах дистанційного телеспостереження і управління хірургічними інструментами за допомогою маніпуляторів [4];
  - біоінформатика – вивчення закономірностей та принципів інформаційних процесів у медичних і біологічних системах, створення комп'ютерних засобів збереження, оброблення, передачі інформації [4];
  - системна фізіологія – використання інженерних стратегій для аналізу експериментальних даних і формулюванні математичного опису фізіологічних подій для отримання комплексного та інтегрованого розуміння функції живих організмів та прогнозування фізіологічних реакцій при плануванні експериментів [6];
  - медична біотехнологія – створення і використання живих організмів (або частини організмів) для штучного створення або заміни клітин, тканин та органів людського тіла, для штучного вдосконалення і корекції їх функцій, розробка на цій основі лікувальних і діагностичних технологій та засобів [4];
  - клітинна, тканинна та генна інженерія – дослідження анатомії, біохімії і механіки живих тканин, клітинних і субклітинних структур, розробка методів відображення і аналізу генетичної інформації для виявлення причин захворювань та розробки методів їх діагностики і лікування [18];
  - протеоміка – дослідження механізмів синтезу і відтворення видо специфічних білків з метою розробки технічних засобів виявлення та контролю розповсюдження збудників інфекції [18];
  - медико-біологічні мікро- та нанотехнології – дослідження та розробка технологій створення і застосування технічних засобів і матеріалів розміри яких знаходяться в діапазоні мікро- і нанометрової шкали [18];
  - інженерія нейронних систем – вивчення мозку і нервової системи для заміни або відновлення втрачених розумових, сенсорних і моторних здібностей, впровадження робототехніки контрольованої нервовими імпульсами [4].
- Окремо слід відзначити, що сучасними галузями практичної біомедичної інженерії визначено:
- медичне обладнання: розробка та проектування медичного обладнання та штучних функціональних систем, таких як суглоби, клапани серця, кардіостимулятори, імпланти тощо [4];
  - медична візуалізація: розробка та вдосконалення медичних технологій візуалізації, для візуалізації внутрішньої структури тіла та діагностики захворювань [4];
  - біоматеріали: розробка нових матеріалів для медичних імплантатів та пристроїв, таких як біосумісні полімери та кераміка [4];
  - біосенсори та біоінсталяція: розробка та проектування біосенсорів та гібридних аналітичних пристроїв для моніторингу та діагностики захворювань [26];
  - біомеханіка: вивчення механічної поведінки біологічних систем та їх вплив на протезування, реабілітацію, хірургічне планування, ортопедію тощо [18];
  - комп'ютерне моделювання та проектування: використання комп'ютерних моделей у процесі розробки біологічних систем для клінічних випробувань і досліджень із зменшенням потреб залучення організмів тварин та людини [18];
  - реабілітаційна інженерія: розробка пристроїв та технологій для допомоги людям з обмеженими можливостями та покращення їх якості життя [14];
  - наномедицина: використання нанотехнологій для розробки нових матеріалів та методів лікування для медицини, таких як цільова доставка ліків [18];
  - біомедична обробка сигналів: аналіз сигналів людського організму для діагностики та моніторингу захворювань [27];
  - персоналізована медицина: розробка персоналізованих методів лікування, адаптованих до унікального генетичного профілю особистості людини [13];
  - штучний інтелект: аналіз медичних даних у напрямку первинної та спеціалізованої діагностики, зменшення випадків та зниження вірогідності допуску лікарської помилки [18];

- телемедицина: використання цифрових технологій у розробці гаджетів та спеціалізованих пристроїв для забезпечення віддаленого моніторингу, діагностики й догляду за пацієнтами [24];
- регенеративна медицина: створення технологій для регенерації пошкоджених тканин і органів, включаючи терапію стовбуровими клітинами, тканинну інженерію і 3D-друк органів людини [4];
- моніторингові пристрої: розробка спеціалізованих медичних пристроїв для стаціонарного і дистанційного моніторингу здоров'я, функціонального стану окремих органів та систем організму тощо [4];
- прецизійна медицина: виокремлення точних та ефективних методів лікування за допомогою технологій генної інженерії та наномедицини [4];
- громадське здоров'я: використання біомедичних технологій за для промоції здоров'я, профілактики інфекційних та неінфекційних захворювань, вирішення біоетичних питань, галузі судової експертизи, санітарно-гігієнічного нагляду та епідеміологічного контролю тощо [4].

Проведений нами моніторинг інформаційних ресурсів мережі Інтернет та метод систематизації отриманих даних показали, що розвиток сучасних технологій у біомедичній інженерії дозволяє сьогодні активно їх пропонувати та використовувати у практиці спортивної медицини [5].

Так, одними з перших у своїх дослідженнях Hung, Pallis, (2004) [9] відзначили, що біомедична інженерія може використовуватися для вимірювання різних параметрів фізичної активності, таких як серцевий ритм, частота дихання, кількість кроків тощо (рис. 1).

Biomedical Engineering Principles In Sports  
January 2004  
DOI: 10.1007/978-1-4419-8887-4  
Publisher: Kluwer/Plenum Academic · ISBN: 978-1-4613-4706-4  
Authors: George K. Hung (Rutgers, The State University of New Jer...), Jani Pallis (University of Bridgeport)

Download citation | Copy link

Citations (7)

Біомедична інженерія може бути використана для вимірювання різних параметрів фізичної активності, таких як частота серцевих скорочень, частота дихання та кількість кроків.  
Дослідження також показали, що використання біомедичної інженерії може підвищити ефективність тренувань і допомогти запобігти травмам.

**ORTHOPEDICS & SPORTS MEDICINE**  
Clinical Outcomes  
Surgical Intervention  
Rehabilitation  
Imaging & Bone Densitometry

**ENGINEERING**  
Orthopedic Biomechanics  
Sport Biomechanics  
Electromyography  
Force Plate Testing  
Wearable Devices

**KINESIOLOGY**  
Performance Testing & Evaluation  
Metabolism & Physiology  
Health Screening, Modeling & Injury Prevention  
Strength & Conditioning

**ATHLETICS**  
On Field Application & Testing  
Human Performance  
Injury Prevention

**OBJECTIVE #1: Research Novel Treatment Strategies for Improved Clinical Outcomes**

**OBJECTIVE #2: Improved Screening and Outcomes Assessment Using Novel Technologies and Modeling**

**OBJECTIVE #3: Refining and Developing Novel Rehabilitation and Injury Prevention Strategies**

Рис. 1. Методика діагностики і контролю функціонального стану спортсменів за Hung, Pallis (2004) [9]

Дослідження також показали, що використання біомедичної інженерії може покращити ефективність тренувань та допомогти уникнути травм [26].

Окремим напрямів впровадження біомедичних технологій за авторством Chang, Hsu, Li, Tu, Jhang, Hsu, Huang, Ho, (2020) [6] є використання біомедичних тренажерів, які дозволяють вирішувати конкретні фізичні завдання і контролювати їх результати (рис. 2).

**Reliability and validity of the physical activity monitor for assessing energy expenditures in sedentary, regularly exercising, non-endurance athlete, and endurance athlete adults**

Chun-Hao Chang <sup>\*,1</sup>, Yi-Ju Hsu <sup>\*,1</sup>, Fang Li <sup>1</sup>, Yu-Tsai Tu <sup>1,2</sup>, Wei-Lun Jhang <sup>1</sup>, Chih-Wen Hsu <sup>1</sup>, Chi-Chang Huang <sup>1</sup>, Chin-Shan Ho <sup>1</sup>

Affiliations + expand  
 PMID: 32904158 PMCID: PMC7450994 DOI: 10.7717/peerj.9717

**Abstract**

**Background:** Inertial sensors, such as accelerometers, serve as convenient devices to predict the energy expenditures (Ees) during physical activities by a predictive equation. Although the accuracy of estimate EEs especially matter to athletes receive physical training, most EE predictive equations adopted in accelerometers are based on the general population, not athletes. This study included the heart rate reserve (HRR) as a compensatory parameter for physical intensity and derived new equations customized for sedentary, regularly exercising, non-endurance athlete, and endurance athlete adults.

Одним з прикладів застосування біомедичної інженерії є використання біомедичних тренажерів, які дозволяють вирішувати конкретні фізичні завдання і контролювати їх результати.

Біомедичні тренажери розроблені для практики спортивної медицини з метою покращення спеціальної фізичної підготовки, контролю тренувального процесу та змагальної діяльності.

**The Rehabilitation Training Simulation of High Difficulty Movement and Sports Strain Site Based on Big Data**

Xiaojie Zhang <sup>1</sup>, Zhengda Ma <sup>1</sup>, Yongming Sun <sup>2</sup> and Yanle Hu <sup>2</sup>

Show more

Academic Editor: Balakrishnan Nagaraj

| Received    | Accepted     | Published   |
|-------------|--------------|-------------|
| 25 Jul 2021 | 06 Sept 2021 | 01 Oct 2021 |

**Abstract**

We study the rehabilitation training of damaged parts of ice and snow sports clock and ensure the physical safety of athletes. The results show that the RBF neural network updates the center, weight, and width of the radial basis function, and the predicted



Рис. 2. Методика тренування та реабілітації з використанням біомедичних технологій за Chang, Hsu, Li, Tu, Jhang, Hsu, Huang, Ho, (2020) [6]

Біомедичні тренажери розроблені для практики спортивної медицини з метою покращення спеціальної фізичної підготовки, контролю тренувального процесу та змагальної діяльності [10].

Проте, деякі дослідження таких фахівців, як Aljamali, Almuhana, (2021) [1] вказують на можливі ризики та обмеження застосування біомедичної інженерії у фізичному вихованні та спорті. Наприклад, застосування певних біомедичних пристроїв може бути дорогим та вимагати спеціальної підготовки фахівців для їх використання [27]. Крім того, навіть детальний аналіз фізичних показників не може дати повної картини про фізичний стан спортсмена, оскільки також важливим є психологічний та соціальний аспекти [28].

Великими темпами сьогодні зростає використання віртуальної реальності для покращення ефективності тренувань та розвитку спортивної майстерності [17].

Так, дослідженнями Tibe T., Singha S., Singha R. (2023) [26] показано, що віртуальна реальність дозволяє створювати імітацію спортивних ситуацій та різноманітних умов тренувань, допомагає спортсменам підвищити свою реакцію та швидкість реагування (рис. 3).

**Virtual Reality and Sports Training: Revolutionizing Athletic Performance**

Contributors: The Native Tribe, Surjit Singha, Rangit Singha  
 Date created: 2023-04-09 02:33 AM | Last Updated: 2023-05-17 08:05 AM  
 Identifier: DOI 10.17605/OSF.IO/ERZ5H

Category: Project  
 Description: DOI: 10.17605/OSF.IO/ERZ5H  
 Virtual Reality and Sports Training: Revolutionizing Athletic Performance.

Surjit Singha, Assistant Professor, Department of Commerce, Kristu Jayanti College (Autonomous), Bengaluru, Karnataka, India.  
 ORCID ID: 0000-0002-5730-8677  
 Rangit Singha, PhD Research Scholar, Department of Psychology, Christ University, Bengaluru, Karnataka, India.  
 ORCID ID: 0000-0002-3541-8752

**Abstract:** Virtual Reality (VR) is revolutionising the training and performance of athletes by providing a safe and controlled environment to simulate real-life game situations and develop skills. This technology offers a unique opportunity to improve athletes' athletic performance at all levels, from amateurs to professionals. This article will examine the applications of virtual reality in sports training, its benefits, and the obstacles that must be overcome to realise its full potential. VR applications in sports training offer personalised training programmes, improve motor skills and enhance decision-making abilities, among other benefits. Despite obstacles such as cost and technological limitations, the potential benefits of virtual reality in sports training are substantial. With the increasing adoption of this technology, we can anticipate a significant impact on the future training and performance of athletes.

**Keywords:** Virtual Reality, VR Sports Training, Athletic Performance, Simulation, Personalized Training, Motor Skills, Decision-Making, Challenges, Cost, Technological Limitations, Adoption, Impact.



Рис. 3. Методика тренувальних занять за допомогою віртуальної реальності Tribe, Singha, Singha, (2023) [26]

У своїй роботі Seçkin A.Ç., Ateş B., Seçkin M. (2023) [19] зазначають, що сучасні тенденції та напрями розвитку застосування біомедичної інженерії у практиці спортивної медицини полягають в розвитку новітніх біомедичних пристроїв та технологій для покращення ефективності тренувань і збереження здоров'я спортсменів; використанні штучного інтелекту для аналізу великих об'ємів даних та вдосконалення тренувального процесу; для створення персоналізованих тренувальних програм та адаптації до індивідуальних потреб спортсменів; розробці професійних протезів та екзоскелетів для осіб з обмеженою рухливістю (рис. 4).

Оскільки галузь спортивної медицини продовжує розвиватися, використання цифрових твіннів для моделювання результатів і вивчення нових технологій має великий потенціал для подальшого прогресу [21]. Поєднуючи традиційні методи з інноваційними технологіями біомедичної інженерії, спортивні команди та спортсмени можуть максимізувати свій потенціал, досягти оптимальних результатів і продовжити кар'єру.

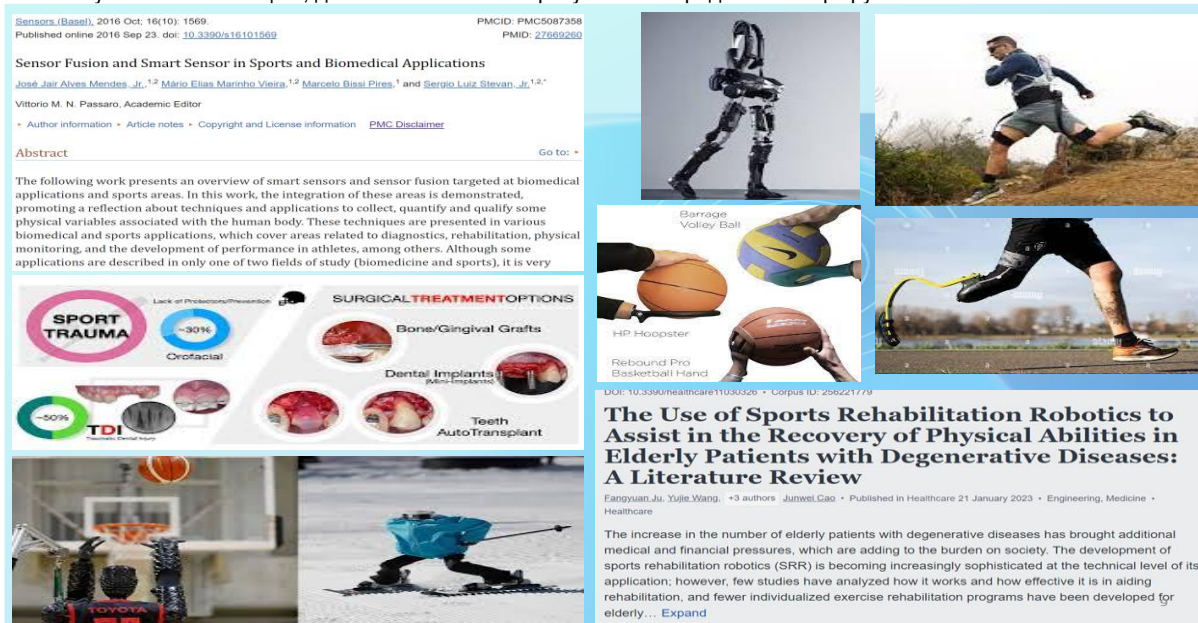


Рис. 4. Пропозиції щодо включення новітніх технологій біомедичної інженерії для оптимізації якості життя спортсменів за Seçkin, Ateş, Seçkin, (2023) [19]

Так, впровадження артроскопічної хірургії зробило революцію в спортивній хірургії. Вона повністю відрізнялася від попередніх методів хірургії і першочергово скоротила період відновлення та реабілітації після хірургічного втручання, що дозволило швидше повертати спортсменів до тренувального процесу та змагальної діяльності [30].

Розвиток комп'ютерних технологій зробив значний внесок у спортивну медицину. Здатність комп'ютерних технологій до прогнозування ймовірності і часу виникнення патології вплинула на розробку спеціалізованих фармакологічних препаратів, засобів діагностики, лікування та відновлення після патологічних процесів і станів пов'язаних з перевтомою і перенапруженням організму після неадекватних фізичних навантажень [30].

Тканинна і клітинна інженерія включає розробку препаратів на основі біоматеріалів, за допомогою яких лікарі спортивної індустрії зробили величезний крок у процесі відновленні організму, як за прикладом ін'єкції збагаченої тромбоцитами плазми, що довели свою ефективність у лікуванні часткових розривів м'язів під впливом фізичних навантажень спортивного характеру [30].

Реконструкція хрестоподібної зв'язки одна з феноменальних технологій сучасності у практиці спортивної медицини, посилена включенням кінезіотейпування за для покращення передньо-задньої та ротаційної стабільності і зменшення ризику виникнення повторної травми [30].

Змінився характер антидопінгового тестування: зменшилась кількість допущених помилок через оптимізацію рідинного тестування, зокрема панельний аналіз слини на допінг вимагав взяття мазка з ротової порожнини і давав точні результати, але лише за умови нещодавнього вживання допінгових засобів, саме тому були розроблені і впроваджені набори для аналізу сечі, які на сьогодні дають точніші результати [30].

Передові комп'ютерні роботизовані технології дозволили спортивним хірургам виконувати часткову заміну колінного і тазостегнового суглобів, а за допомогою 3D комп'ютерної томографії оптимізувався процес планування хірургічного втручання через передачу даних роботизованій техніці, якою керує хірург під час операції [30].

Розвиток новітніх технологій нейрокогнітивної діагностики дозволяє сьогодні спортивним лікарям та фізичним терапевтам контролювати неврологічну й психічну рівновагу спортсмена за для попередження порушення діяльності центральної нервової системи та психо-емоційних уражень внаслідок отримання стресу мозку і виникнення посттравматичного синдрому [30].

Пристрої для відстеження в режимі реального часу, такі як VU від Pivot Verheul, (2019) [29] (рис. 5), аналізують спеціалізовані рухи та технічні прийоми, що забезпечує отримання точної інформації для здійснення біомеханічного аналізу даних рухової діяльності спортсмена [25].

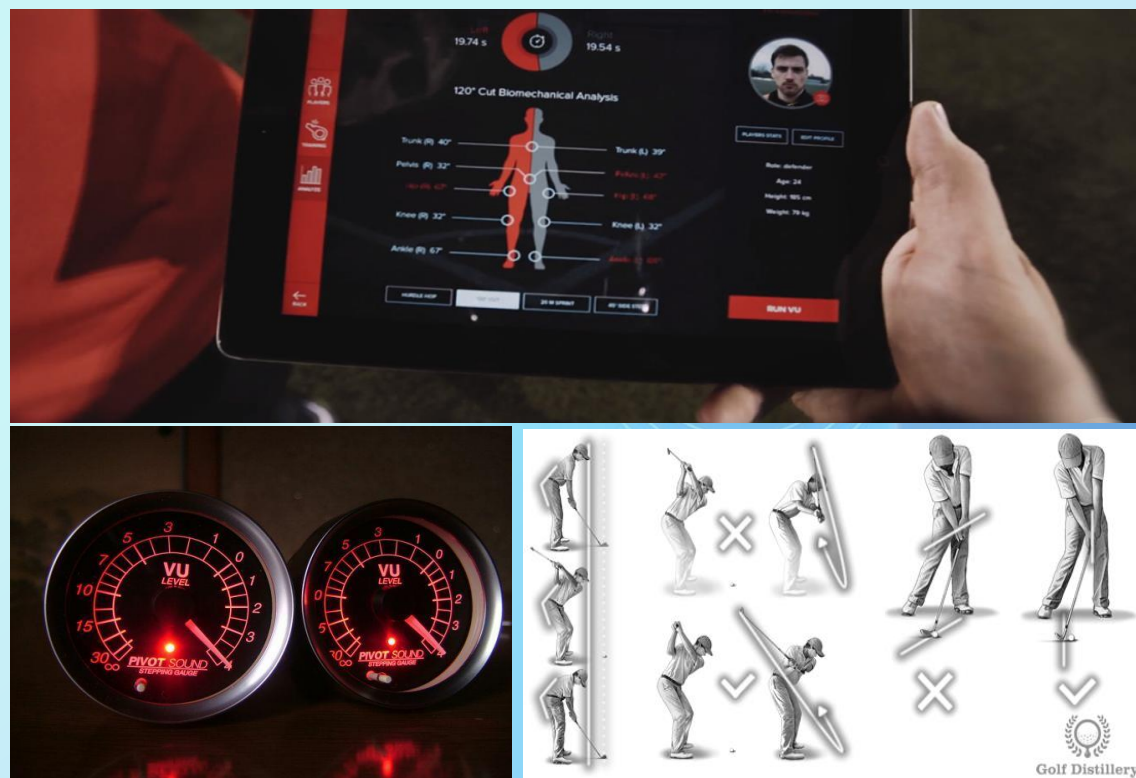


Рис. 5. Модель пристроїв відстеження рухів та біомеханічного аналізу даних від Pivot Verheul, (2019) [29].

Революційна система відновлення після травм – кріотерапія – першочергово дозволяє значно прискорити процес загоєння, зменшити запалення і полегшити біль у м'язах та суглобах. Гіпербарична киснева терапія, з іншого боку, сприяє відновленню тканин, зменшує набряки та знімає біль у м'язах. Застосовуючи ці інноваційні методики, спортсмени можуть прискорити процес відновлення і швидко повернутися до піку своєї продуктивності [25].

Натільні технології стали невід'ємною частиною спортивної науки і спортивної медицини в тому числі (рис. 6) [13].



**Рис. 6. Модель натільних пристроїв для аналізу функціональних даних організму спортсмена Catapult OptimEye S5 [13].**

Такі пристрої, як Catapult OptimEye S5 (Lokteff, Canet, Drissi, Moretto, 2020), відстежують прискорення, положення і наслідки зіткнень, надаючи дані в режимі реального часу тренерам і спортивним лікарям, що в свою чергу дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо розвитку втоми у спортсменів, ризику виникнення травм і включення тактичних коригувань з метою їх попередження [13].

На додаток до фізичного відновлення, в спортивній науці все більшого визнання набувають питання психічного та емоційного здоров'я спортсменів під час відновлювального процесу. Травми можуть завдати шкоди психічному здоров'ю спортсмена, викликаючи почуття смутку, гніву, розчарування і демотивації. Команди, які визнають важливість психологічної підтримки, все частіше надають пріоритет залученню психотерапевтів, які допомагають спортсменам на шляху до відновлення. Ці фахівці надають емоційну допомогу та підтримку, забезпечуючи спортсменів ресурсами, необхідними для подолання психологічних перешкод і відновлення впевненості у власних силах [25].

Аналіз поту революціонував спортивну науку, надаючи життєво важливу інформацію про фізичний стан спортсмена - розумні пластри, такі як ECHO Smart Patch (рис. 7), відстежують склад поту спортсмена, надаючи повне уявлення про рівень гідратації, електролітний баланс і потреби організму спортсмена для оптимізації процесу відновлення через адаптацію тренувальних режимів, періоди відпочинку та стратегій харчування на основі унікальних потреб кожного спортсмена [12].



**Рис. 7. Модель натільних пристроїв для аналізу діяльності системи виділення через функцію потовиділення організму спортсменів ECHO Smart Patch [12].**

Поява цифрових двійників у спортивній науці відкрила нові можливості для моделювання та прогнозування спортивних результатів. Цифрові двійники - це віртуальні моделі, які імітують різні фактори, що впливають на результати спортсменів, такі як біомеханіка, фізіологічні реакції та умови навколишнього середовища.

Тренери та аналітики можуть використовувати ці моделі для прогнозування впливу змін у способі життя, тренувальних програмах та фітнес-режимах на здоров'я та продуктивність спортсмена. Хоча цифровий двійник все ще перебуває в зародковому стані, він вже довів свою корисність для моделювання змін у правилах гри та оцінки ризику травм, дозволяючи командам приймати обґрунтовані рішення та оптимізувати своїх стратегій виступів на змаганнях [12].

Неможливо переоцінити важливість якісного сну для спортивних досягнень, відновлення та профілактики травм. Моніторинг сну має важливе значення у світі спорту, оскільки носимі пристрої та приліжкові монітори відстежують цикли сну, особливості дихання та інші показники сну. Точні дані про сон дозволяють спортсменам і тренерам зрозуміти вплив сну на загальний стан здоров'я та оптимізувати процедури відновлення [12].

Перкусійна терапія у практиці спортивної медицини та фізичної реабілітації за допомогою «масажних пістолетів» визнана ефективним способом сприяння відновленню та полегшення м'язового болю [16].



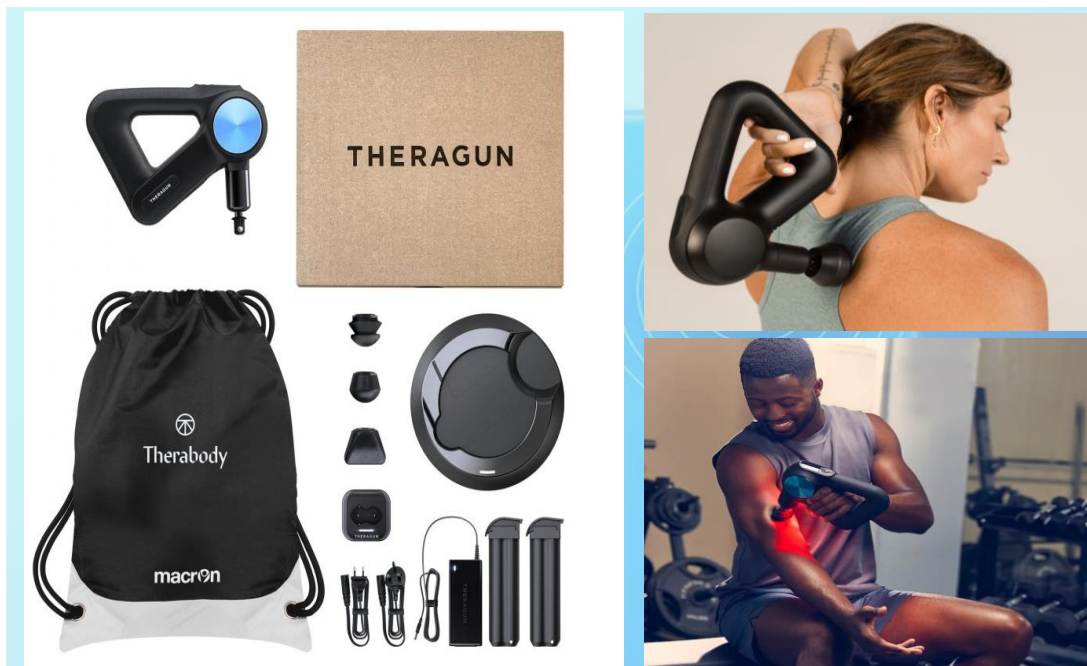


Рис. 8. Модель пристроїв для масажу Theragan [16].

Ці пристрої забезпечують цілеспрямовану вібрацію м'язових тканин, щоб стимулювати кровообіг і сприяти процесу відновлення [16].

Висококласні моделі, такі як Theragan, набули популярності у світі професійного спорту, допомагаючи активувати нервову систему спортсменів, сприяючи відновленню та зменшенню накопичення молочної кислоти. Інтеграція інтелектуальних функцій і мобільних додатків забезпечує персоналізоване розуміння і рекомендації щодо відновлення спортсменів. Розумна ударна терапія стала важливим інструментом для відновлення спортсменів, дозволяючи їм швидше відновлюватися і показувати найкращі результати [16].

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Огляд академічної діяльності наукової спільноти дозволив нам виокремити поняття і основний зміст біомедичної інженерії – галузь науки і техніки, яка поєднує інженерно-технічні та медико-біологічні знання, засоби і методи для створення, вдосконалення і дослідження природних і штучних біологічних об'єктів, техніки, матеріалів і виробів медичного призначення, технологій і технічних систем діагностики, лікування, реабілітації і профілактики захворювань людини, а також програмного забезпечення та інформаційних технологій для вирішення прикладних і фундаментальних проблем біології і медицини у таких напрямках наукових досліджень як:

На підставі проведених нами досліджень було визначено, що одночасно з диференціацією наук, їх все більшою спеціалізацією на традиційних межах, з'являються нові міждисциплінарні напрями, які стають містками взаємного проникнення різних областей знання в ім'я загальнолюдського прогресу. Медико-технічні науки, такі як біомедична кібернетика, біоніка, біомеханіка і інші, є також прикладом взаємопроникнення медичних і технічних наук заради пізнання природи здоров'я, захворювань людини, розуміння механізмів діагностики, лікування та попередження уражень організму, в тому числі у практиці спортивної медицини.

Інтеграція спортивної науки, технологій та медичних інновацій зробила революцію у світі спорту. Спортсмени і команди тепер мають доступ до даних в режимі реального часу, натільних пристроїв і передових медичних технологій для оптимізації продуктивності, запобігання травмам і прискорення відновлення. Використання аналітики, персоналізованих пристроїв для відстеження та аналізу поту допомогло спортсменам краще зрозуміти свій організм, виявити ризики травм і відповідно скоригувати свої тренувальні режими. Крім того, досягнення в системах відновлення після травм, таких як кріотерапія та гіпербарична киснева терапія, значно покращили процес реабілітації. Носимі технології надають тренерам і спортсменам цінну інформацію про продуктивність і профілактику травм, а моніторинг сну відіграє важливу роль в оптимізації відновлення і загального стану здоров'я. Розумна ударна терапія стала ефективним інструментом для сприяння відновленню та полегшення м'язового болю.

Майбутнє спортивної науки багатообіцяюче, а постійні дослідження і технологічний прогрес готові змінити стратегії тренувань, оцінки результатів, профілактики травм і відновлення. Якщо спортсмени та команди продовжуватимуть використовувати ці досягнення, спортивний світ стане свідком ще більших досягнень і проривів у прагненні до досконалості. Революція в спортивній науці прокладає шлях до нової ери спортивних досягнень, коли технології та медичні інновації перетинаються, розширюючи межі людського потенціалу в спорті.

Подальші наші дослідження будуть спрямовані розробку змісту й структури концептуалізації питання провадження біомедичних технологій у практику спортивної медицини.

#### References

1. Aljamali, N., Almuhan, W. (2021). "Review on Biomedical Engineering and Engineering Technology in Bio-Medical Devices", 6, 18-24.

2. Anaam, J. A., Radhiyah, A. B. A., Alaa H. J., Nagham, M. A. (2021). "Review on Basic Rules for the Quality of Health Institutions and Medical Laboratories". *Journal of Pharmaceutical Quality Assurance and Quality Control*, 3(1), 16-22.
3. Atkinson, A. C., Donev, A. N. Tobias, R. D. (2007). "Optimum Experimental Designs with SAS", *Oxford University Press*, 511 <https://doi:10.3102/00028312003003223>. JSTOR 1161806.
4. "Biomedical engineering". (2024), available at: [https://kpi.ua/biomedical\\_engineering](https://kpi.ua/biomedical_engineering) (accessed March 15, 2023).
5. "Biomedical Engineering in Sports Medicine". (2011), available at: <https://www.asme.org/topics-resources/content/biomedical-engineering-in-sports-medicine> (accessed March 15, 2023).
6. Chang, C. H., Hsu, Y. J, Li, F., Tu, Y. T., Jhang, W. L., Hsu, C. W., Huang, C. C., Ho, C. S. (2020). "Reliability and validity of the physical activity monitor for assessing energy expenditures in sedentary, regularly exercising, non-endurance athlete, and endurance athlete adults". *Peer Journal*, 8, e9717. <https://doi: 10.7717/peerj.9717>.
7. "Emerging intersections of biomedical technology and elite sport: institutions, practices and ethics". (2017), available at: <https://gtr.ukri.org/projects?ref=ES%2FK010956%2F1> (accessed March 15, 2023).
8. Faulkner, A., McNamee, M., Coveney, C., Gabe, J. (2017). "Where biomedicalisation and magic meet: Therapeutic innovations of elite sports injury in British professional football and cycling". *Social Science & Medicine*, 78, 136-143. <https://doi: 10.1016/j.socscimed.2017.02.011>.
9. Hung, G., Pallis, J. (2004). "Biomedical Engineering Principles" In Sports. <https://doi: 10.1007/978-1-4419-8887-4>.
10. Johnson D. L. (2004). "Innovation in sports medicine". *Orthopedics*, 27(6), 546, available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15237892> (accessed March 15, 2023).
11. Johnson, R. J. (2010). "New innovations in sports medicine: good for the patient or good for the pocketbook?" *Current Sports Medicine Report*, 9(4), 191-193, available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20622535> (accessed March 15, 2023).
12. "Kenzen gets \$5M for its sweat-sensing wearable for athletes", (2017). available at: <https://www.mobihealthnews.com/content/kenzen-gets-5m-its-sweat-sensing-wearable-athletes> (accessed March 15, 2023).
13. Lokteff, F., Canet, R., Drissi, S., Moretto, P. (2020). "Impacts characterisation in Rugby Union". *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. 23. S175-S177. <https://doi: 10.1080/10255842.2020.1813425>.
14. Muller, B., Hofbauer, M., Murawski, C. D., Wolf, M., Fu, F. H. (2015). "Innovation in Sports Medicine". *Sports Injuries*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi: 10.1007/978-3-642-36569-0\\_246](https://doi: 10.1007/978-3-642-36569-0_246)
15. Putukian, M. (2017). "Clinical Evaluation of the Concussed Athlete: A View From the Sideline". *Journal Athletes Training*, 52(3), 236-244. <https://doi: 10.4085/1062-6050-52.1.08>.
16. "Recover Better with Theragun at Healthworks". (2022) available at: <https://healthworksfitness.com/blog/theragun/> (accessed March 15, 2023).
17. Rigamonti, L., Albrecht, U. V., Lutter, C., Tempel, M., Wolfahrt, B., Digitalisation, W., Back, D. (2020). "Potentials of Digitalization in Sports Medicine: A Narrative Review". *Current Sports Medicine Reports*, 19, 157-163. <https://doi: 10.1249/JSR.0000000000000704>.
18. Saltzman, W. M. (2015). "Biomedical Engineering: Bridging Medicine and Technology" (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 779.
19. Seçkin, A. Ç., Ateş, B., Seçkin, M. (2023). "Review on Wearable Technology in Sports: Concepts, Challenges and Opportunities". *Applied Sciences*, 13(18), 10399. <https://doi: 10.3390/app131810399>.
20. Semidotska, Zh., Chernyakova, I., Borzenko, A. (2020). "Human health and modern biomedical technologies: study guide". Kharkiv: KhNMU, available at: <https://repo.knmu.edu.ua/handle/123456789/28328> (accessed March 15, 2023).
21. Singiresu, R. (2002). "Applied Numerical Methods of Engineers and Scientists". Upper Saddle River New Jersey: Prentice Hall. available at: [http://ijens.org/Vol\\_20\\_I\\_05/203705-6161-IJMME-IJENS.pdf](http://ijens.org/Vol_20_I_05/203705-6161-IJMME-IJENS.pdf). accessed (March 15, 2023)
22. Shuaibov, O., Hrytsak, R. (2019). "Biomedical engineering. Introduction to the specialty: study guide". Uzhgorod: State Higher Secondary School "Uzhgorod National University" (accessed March 15, 2023).
23. Stigler, S.M. (1989). "Francis Galton's Account of the Invention of Correlation". *Statistical Science*, 4 (2), 73-79. <https://doi:10.1214/ss/1177012580>.
24. Subramanyam, V., Day, M. A., Kinderknecht, J. J. (2021). "The Role of Telehealth in Sideline Management of Sports-Related Injuries". *HSS Journal*, 17(1), 46-50. <https://doi: 10.1177/1556331620979653>.
25. The Evolution of Medical Technologies in Sports: Revolutionizing Performance, Recovery, and Well-Being. (2023), available at: <https://www.lifwnetwork.com/insights/sports-insights/the-evolution-of-medical-technologies-in-sports-revolutionizing-performance-recovery-and-well-being/> (accessed March 15, 2023).
26. Tribe, T. N., Singha, S., Singha, R. (2023). Virtual Reality and Sports Training: Revolutionizing Athletic Performance. <https://doi: 10.17605/OSF.IO/ERZSH>.
27. Vasudevan, S., Saha, A., Tarver, M., Patel, B. (2022). "Digital biomarkers: Convergence of digital health technologies and biomarkers". *Digital Medicine*, 56, 36. <https://doi: 10.1038/s41746-022-00583-z>.
28. Verhagen, E., Bolling, C. (2015). "Protecting the health of the athlete: how online technology may aid our common goal to prevent injury and illness in sport". *British Journal Sports Medicine*, 49(18),1174-8. <https://doi: 10.1136/bjsports-2014-094322>.
29. Verheul, J. (2019). "Biomechanical loads in running-based sports: estimating ground reaction forces from segmental accelerations". <https://doi: 10.24377/LJMU.t.00010232>.
30. What Are The Biomedical Technologies That Are Used In Sports Medicine? (2022). Retrieved from <https://joannasayers.com/biomedical-technologies-in-sports-medicine/>