

Metabolic Monitoring and Cardiovascular Safety in Athletic Training: Toward an Integrated Surveillance Framework

Yaryna Kushnir

¹ Graduate student and founder of a private laboratory for functional diagnostics of athletes

✉ Corresponding author:

Yaryna.Kushnir@gmail.com



This work is licensed under CC BY-NC-ND 4.0.

To view a copy of this license, visit

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

ABSTRACT: Modern athletic training pursues performance through progressively higher cardiometabolic loads, which raises the question of how to monitor an athlete's metabolic state while safeguarding cardiovascular health. This paper proposes an integrative framework linking metabolic monitoring with cardiac safety throughout the training process. Synthesising evidence from sports physiology, exercise recovery, sports cardiology, and related clinical fields, it treats lactate clearance kinetics, energy and adipokine metabolism, and redox status as complementary markers of training load and adaptation, and connects them to cardiac-risk stratification, screening, and return-to-sport decisions after illness. The framework is presented as a closed monitoring loop in which load generates measurable metabolic signals that inform risk assessment and subsequent load adjustment. The synthesis argues that combining metabolic surveillance with cardiovascular safeguards supports both performance optimisation and the prevention of maladaptation and adverse cardiac events in athletes.

KEYWORDS: metabolic monitoring; cardiac safety; sports training; lactate kinetics; adipokines; energy metabolism; cardiovascular risk; load management; return to sport; athlete screening.

How to cite: Kushnir, Y. (2026). Metabolic Monitoring and Cardiovascular Safety in Athletic Training: Toward an Integrated Surveillance Framework. *International Multidisciplinary Conference on Innovation, Technology and Sustainability*. Futurity Research Publishing. <https://doi.org/10.5281/zenodo.20747821>

Вступ

Сучасний спорт неухильно підвищує обсяг та інтенсивність тренувальних навантажень: приріст результату дедалі частіше досягається ціною наближення до межі функціональних можливостей організму. У цих умовах загострюється суперечність між прагненням до максимальної працездатності та потребою зберегти здоров'я спортсмена, у якій серцево-судинна система виступає водночас і лімітуючою ланкою, і найбільш уразливою мішенню перевантаження.

Інструментом, що дає змогу керувати цією суперечністю, є метаболічний моніторинг – систематичне відстеження об'єктивних біохімічних і фізіологічних маркерів навантаження, адаптації та втоми (динаміки лактату, показників енергетичного й адипокінового обміну, редокс-статусу). Його логічним продовженням є кардіобезпека – комплекс заходів зі скринінгу, поточного контролю та обґрунтованого допуску до навантажень, зокрема після перенесених захворювань, спрямований на запобігання дезадаптації та раптовим серцевим подіям.

Проте на практиці метаболічний моніторинг (поле спортивної фізіології) та кардіобезпека (поле спортивної кардіології й клінічної медицини) нерідко розвиваються паралельно, без чіткого зв'язку між виміряним метаболічним сигналом і рішенням щодо навантаження. Це зумовлює потребу в інтегративній рамці, яка поєднала б ці складники в єдиний контур контролю. У пропонованих тезах на основі різнопрофільних джерел обґрунтовано такий підхід стосовно процесу спортивної підготовки.

Мета дослідження

Мета дослідження – обґрунтувати інтегративну рамку, що поєднує метаболічний моніторинг і кардіобезпеку в єдиний замкнений контур контролю тренувального процесу, та на основі аналізу різнопрофільних джерел визначити сукупність метаболічних маркерів навантаження й адаптації, пов'язати їх із показниками кардіоризику та сформулювати засади їх використання для дозування навантаження й допуску до спорту.

Літературний огляд

Перший блок джерел описує навантаження та його метаболічні маркери у спорті. Slobodyanyuk (2025) обґрунтовує застосування високоінтенсивного інтервального тренування (BIIT) для розвитку витривалості тенісистів, тобто моделі вираженого кардіометаболічного навантаження, що потребує контролю. Vlasov (2026) досліджує кінетику кліренсу лактату та відновлення м'язової сили, безпосередньо звертаючись до лактату як індикатора метаболічної ціни навантаження й перебігу відновлення. Mahilda (2025) пропонує методiku функціональних вправ для формування здорової рухової культури – приклад дозованої, орієнтованої на здоров'я активності. Plokhikh та співавтори (2024) аналізують самоорганізацію гандболістів за екстремальних умов, що відображає психофізіологічний і регуляторний бік граничних навантажень.

Другий блок становлять кардіометаболічні біомаркери та прогнозування ризику. Koteliukh (2022) розробляє модель прогнозування гострої серцевої недостатності з урахуванням показників енергетичного та адипокінового обміну, а Koteliukh і Dorosh (2022) – модель ранніх ускладнень гострого інфаркту міокарда у хворих на цукровий діабет 2 типу. Хоча обидві праці виконано в клінічному контексті, їхня методологія – пов'язування метаболічних показників із кардіальним ризиком – безпосередньо проєктується на завдання моніторингу кардіометаболічного резерву спортсмена та раннього виявлення несприятливих тенденцій.

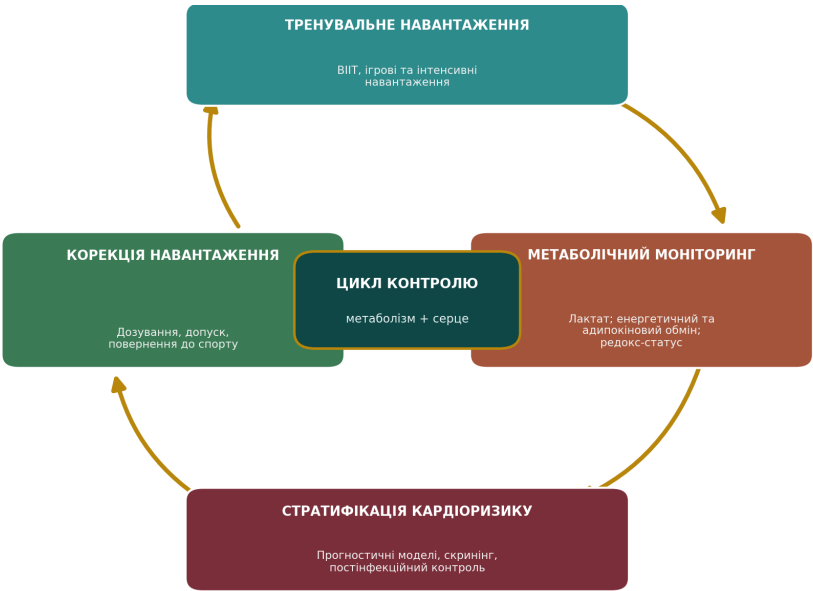
Третій блок стосується безпеки та допуску до навантажень. Граділь та співавтори (2023) на матеріалі клініко-патологоанатомічних зіставлень COVID-19 і пандемічного грипу A(H1N1) демонструють механізми поліорганного, зокрема міокардіального, ураження за тяжких інфекцій, що обґрунтовує обережність і потребу кардіоконтролю при поверненні до тренувань після хвороби. Savchenko (2025), розглядаючи біоактивні форми вітаміну С, актуалізує редокс-вимір: антиоксидантний статус та окиснювальний стрес як складник метаболічного моніторингу й маркер відновлюваності тканин за інтенсивних навантажень.

Четвертий блок доповнює рамку регуляторно-нейровегетативним аспектом. Праці Dekhtiar та співавторів (2019a, 2019b) щодо уродинаміки й лікування ідіопатичного гіперактивного сечового міхура ілюструють значення вегетативної регуляції функцій, контроль якої (зокрема через варіабельність серцевого ритму) є частиною комплексного моніторингу. Башкірова (2009) і Башкірова зі співавторами (2003), спираючись на теорію функціональних систем, дають концептуальну основу для трактування самого моніторингу як функціональної системи зі зворотним зв'язком, у якій вимірюваний результат коригує подальшу дію.

Результати

Зіставлення джерел дає змогу подати метаболічний моніторинг і кардіобезпеку не як дві окремі практики, а як єдиний замкнений контур контролю тренувального процесу (рис. 1). Тренувальне навантаження породжує вимірювані метаболічні сигнали; ці сигнали через стратифікацію кардіоризику трансформуються в рішення щодо корекції навантаження, яке знову змінює його обсяг та інтенсивність. Принцип зворотного зв'язку відповідає логіці функціональної системи й забезпечує безперервність контролю.

Рисунок 1.
Замкнений цикл метаболічного моніторингу



У межах цього контуру доцільно розрізнати три рівні моніторингу. Перший – маркери метаболічної ціни навантаження (динаміка лактату, редокс-статус), що відображають гострий стрес і темп відновлення. Другий – показники кардіометаболічного резерву (енергетичний та адипокіновий обмін), які характеризують стійкіші зрушення й наближення до межі адаптації. Третій – «запобіжники» кардіобезпеки (скринінг, прогностичні моделі, постінфекційний контроль), що визначають допустимість навантаження. Розподіл джерел за цими рівнями та їхній зв’язок із практичними рішеннями узагальнено в таблиці 1.

Таблиця 1
Внесок джерел у контур метаболічного моніторингу та кардіобезпеки

Джерело	Внесок у метаболічний моніторинг	Зв’язок із кардіобезпекою	Практичний індикатор / рішення
Slobodyanyuk (2025)	ВІІТ як модель дозованого кардіометаболічного навантаження	Контроль інтенсивності та переносимості навантаження	Дозування інтервалів і обсягу
Vlasov (2026)	Кінетика кліренсу лактату; відновлення сили	Оцінка темпу відновлення між зусиллями	Планування пауз і відновних мікроциклів
Koteliukh (2022)	Енергетичний та адипокіновий обмін	Прогнозування серцевої недостатності	Маркер кардіометаболічного резерву

Koteliukh & Dorosh (2022)	Метаболічні предиктори у поєднанні з діабетом	Стратифікація ризику кардіоускладнень	Раннє виявлення груп ризику
Граділь та ін. (2023)	Ознаки системного ураження за інфекції	Постінфекційний кардіоконтроль	Критерії повернення до спорту
Savchenko (2025)	Редокс-статус, антиоксидантний захист	Контроль окиснювального стресу	Маркер відновлюваності тканин
Plokhikh та ін. (2024)	Психофізіологічна напруга за граничних навантажень	Оцінка регуляторної ціни діяльності	Контроль перенапруження
Dekhtiar та ін. (2019)	Вегетативна регуляція функцій	Моніторинг автономного балансу (BCP)	Раннє виявлення дезрегуляції
Башкірова та ін. (2003, 2009)	Теорія функціональних систем	Контур зі зворотним зв'язком	Концептуальна модель моніторингу

Інтеграція рівнів дає практично значущі точки прийняття рішень. Поточні маркери (лактат, редокс) керують дозуванням навантаження й тривалістю відновлення в межах мікроциклу; показники кардіометаболічного резерву (енергетичний та адипокіновий обмін) сигналізують про наближення до межі адаптації й потребу розвантаження; «запобіжники» кардіобезпеки регламентують допуск, насамперед при поверненні до спорту після інфекційних та інших захворювань. Такий підхід переносить методологію клінічного прогнозування кардіоризику у площину превентивного контролю в спорті.

Висновки

Метаболічний моніторинг і кардіобезпека у спортивній підготовці доцільно розглядати як єдиний замкнений контур контролю, у якому навантаження породжує вимірювані метаболічні сигнали, а ті через оцінку кардіоризику визначають корекцію навантаження. Різнопрофільні джерела узгоджено вкладаються у три рівні цього контуру – маркери метаболічної ціни навантаження, показники кардіометаболічного резерву та запобіжники кардіобезпеки.

Запропонована рамка дає змогу перенести методологію клінічного прогнозування кардіального ризику в превентивну площину спорту й пов'язати конкретний вимірюваний показник із конкретним рішенням щодо дозування чи допуску. Подальші дослідження доцільно спрямувати на валідацію набору метаболічних маркерів і прогностичних моделей у спортивній популяції та на розроблення алгоритмів повернення до тренувань після перенесених захворювань.

Список літератури

Dekhtiar, Y. M., Kostyev, F. I., Zacheslavsky, O. M., & Kuznietsov, D. O. (2019a). Urodynamic

- characteristics of lower urinary tract of patients with idiopathic overactive bladder. *Urology Annals*, 11(1), 83-86. https://doi.org/10.4103/UA.UA_37_18
- Dekhtiar, Y. M., Kostyev, F. I., & Zalyva, K. A. (2019b). Features treatment of idiopathic overactive bladder without detrusor overactivity. *Лікарська справа*, (7-8), 35-40. [https://doi.org/10.31640/JVD.7-8.2019\(5\)](https://doi.org/10.31640/JVD.7-8.2019(5))
- Koteliukh, M. Yu. (2022). A model for predicting acute heart failure in patients with acute myocardial infarction by taking into account energy and adipokine metabolism indicators. *Medicni Perspektivi*, 27(3), 64-71. <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2022.3.265932>
- Koteliukh, M. Y., & Dorosh, O. H. (2022). Predictive model for early complications of acute myocardial infarction in patients with type 2 diabetes mellitus. *Biomedical Research and Therapy*, 9(2), 4892-4900. <https://doi.org/10.15419/bmrat.v9i2.729>
- Mahilda, O. (2025). The author's methodology of functional exercises as a tool for developing a healthy motor culture. *Педагогічна академія: наукові записки*, (25). <https://doi.org/10.5281/zenodo.18020875>
- Petrovych, Y. (2025). The role of sport fishing in shaping environmental awareness among youth and developing a culture of responsible fishing. *Педагогічна Академія: наукові записки*, (25). <https://doi.org/10.5281/zenodo.19609616>
- Plokhikh, V., Popovych, I., Kruglov, K., Sabadukha, O., Melnyk, N., Omelianiuk, S., & Hoian, I. (2024). Strategies for extreme self-organization among handball players. *Journal of Physical Education and Sport*, 24(8), Article 205. <https://doi.org/10.7752/jpes.2024.08205>
- Savchenko, U.-S. (2025). Prevention of premature skin aging through the use of bioactive forms of vitamin C with hyaluronate. *The American Journal of Medical Sciences and Pharmaceutical Research*, 7(8), 51-55. <https://doi.org/10.37547/tajmspr/Volume07Issue08-08>
- Slobodyanyuk, Y. (2025). Effectiveness of high-intensity interval training in increasing endurance in singles tennis. *Педагогічна академія: наукові записки*, (22). <https://doi.org/10.5281/zenodo.17189026>
- Vlasov, M. (2026). The effect of deep tissue massage on lactate clearance kinetic and muscle strength recovery. *Академічні візії*, (51). <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/2696>
- Башкірова, Л. М. (2009). Клінічні аспекти диференціальної діагностики бульбарного і псевдобульбарного синдромів. *Міжнародний неврологічний журнал*, 7(29), 96-98.
- Башкірова, Л. М., Руденко, А. Ю., & Корженевський, Л. В. (2003). Постневроитична контрактура мимічної мускулатури як модель поетапно сформованої патологічної функціональної системи організації руху. *Український медичний часопис*, 37(5), 75-82.