

МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ МАРКЕРИ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОРГАНІЗМУ СПОРТСМЕНІВ

Чайка Юлія Юріївна

кандидат біологічних наук, старший викладач

Лупаїна Ірина Семенівна

кандидат біологічних наук, доцент

Бовсуновська Наталія Миколаївна

кандидат біологічних наук, доцент

кафедри медико–біологічних дисциплін ЖДУ імені Івана Франка

Відновлення після інтенсивного фізичного навантаження є критично важливим компонентом спортивної підготовки, що визначає не лише ефективність тренувального процесу, але й сприяє профілактиці травматизму, синдрому перетренованості та функціонального виснаження [9]. Зростання вимог до результативності в спорті обумовлює потребу у застосуванні науково обґрунтованих медико-біологічних методів, які впливають на оптимізацію фізіологічних процесів та нормалізацію функціонального стану організму спортсмена.

Відновлення функціонального стану організму після фізичного навантаження реалізується через складну взаємодію метаболічних, нейрогуморальних і біохімічних механізмів [7], які забезпечують гомеостатичну стабільність, репарацію м'язових волокон, відновлення нервово-м'язової регуляції, енергетичне поповнення та формування адаптивних резервів. Вже в перші хвилини після припинення активності активуються процеси ресинтезу макроергічних сполук – аденозинтрифосфату (АТФ) та креатинфосфату (КФ), що забезпечують енергетичну підтримку біохімічних процесів. Відновлення глікогенових резервів триває значно довше, залежно від інтенсивності фізичного навантаження та нутритивної підтримки – від 12 до 48 годин. Активне відновлення сприяє виведенню лактату як основного продукту анаеробного гліколізу [2], що знижує м'язову втоми та нормалізує нервово-м'язову передачу шляхом стимуляції мікроциркуляції та ферментативної активності лактатдегідрогенази.

Враховуючи багатофакторність процесу втоми і відновлення, а також індивідуальні особливості спортсменів для оцінки ефективності відновлення застосовують лабораторні методи контролю біохімічних і гормональних показників [7]. Рівень креатинкінази (КК), лактатдегідрогенази (ЛДГ), аспартат-(АСАТ) та аланінамінотрансферази (АЛАТ) у крові виступає маркером ушкодження м'язових клітин або порушення мембранної цілісності, що зазвичай зумовлене інтенсивним фізичним навантаженням. Гормональний профіль, зокрема баланс анаболічних (тестостерон, соматотропін, IGF-1) та катаболічних процесів, визначає ефективність відновлення, регенерації тканин і адаптації організму до фізичних навантажень. Оцінка окислювального стресу за показниками рівня вільних радикалів і антиоксидантних ферментів [10] є важливим критерієм визначення ступеня клітинних ушкоджень і стану адаптації. Ефективність відновлення підтверджується підвищенням активності глутатіонпероксидази (GPx) і супероксиддисмутази (SOD) при одночасному зниженні рівня малонового діальдегіду (МДА).

Сучасні медико-біологічні методики відновлення спортсменів базуються на комплексному підході, що включає активне та пасивне відновлення, фізіотерапевтичні процедури, контроль водно-електролітного балансу, раціональне харчування і біохімічний моніторинг. Застосування цих методів дозволяє не лише покращити функціональний стану організму після навантажень, а й запобігти розвитку перетренованості та травматизму.

Однією з найбільш ефективних методик є активне відновлення, що передбачає виконання легких аеробних вправ (повільний біг, плавання, їзда на велосипеді) одразу після тренування. Це сприяє підвищенню локального кровообігу і активації лімфатичної системи, що прискорює виведення молочної кислоти й інших метаболітів та знижує інтенсивність больових відчуттів у м'язах. Наукові дослідження підтверджують, що активне відновлення знижує рівень лактату в крові швидше за пасивний відпочинок і позитивно впливає на імунну систему спортсмена. Цей процес сприяє швидшому нормалізуванню рівня рН та переходу організму до аеробного метаболізму [2, 9].

Кріотерапія є ефективним інноваційним методом, що підтверджено численними клінічними дослідженнями у спортивній медицині. Короткочасний вплив низьких температур (від -110 до -140 °C) активує антиоксидантні системи, зниження продукції прозапальних цитокінів (IL-6, TNF- α) та вивільнення ендорфінів, що забезпечує анальгетичний ефект. Кріотерапія стимулює периферичний кровообіг, сприяючи швидшому постачанню кисню і поживних речовин до ушкоджених тканин, що сприяє зменшенню запальних процесів і набряку, знижує м'язовий біль та покращує загальний функціональний стан [1, 6, 8].

Гідротерапія у вигляді контрастних ванн, холодних й теплих процедур також активно використовується у постнавантажувальному періоді: контрастна водна терапія (CWT) сприяє покращенню циркуляції, зменшенню набряків, виведенню продуктів метаболізму та відновленню м'язових функцій. Кріо-ванни знижують суб'єктивне відчуття болю та пришвидшують м'язову регенерацію [1, 6].

Компресійна терапія, що передбачає використання спеціального одягу, покращує венозний і лімфатичний відтік, зменшує м'язовий набряк, прискорює виведення метаболічних продуктів та знижує ризик мікротравм. Біохімічні дослідження демонструють зниження рівня креатинкінази (КК) – маркера м'язового ушкодження, що свідчить про позитивний регенеративний вплив зазначеного методу [3].

Фізіотерапевтичні процедури – ультразвукова терапія, електростимуляція і лазеротерапія – мають чітке медико-біологічне обґрунтування. Ультразвукова терапія покращує місцевий кровообіг, сприяє розсмоктуванню гематом і активації метаболічних процесів у тканинах. Електростимуляція м'язів за допомогою спеціальних імпульсних струмів покращує мікроциркуляцію і прискорює відновлення нервово-м'язової передачі, що важливо після травм або інтенсивних тренувань. Лазеротерапія володіє протизапальним і регенеративним ефектом, стимулюючи клітинну активність і пришвидшуючи процеси загоєння.

Раціональна нутритивна підтримка та відновлення водно-сольового балансу є невід'ємними компонентами комплексного відновлення спортсменів, спрямованого на оптимізацію метаболічних процесів, репарацію тканин та підтримку імунної функції. Оптимальне надходження макро- і мікронутрієнтів забезпечує ефективний ресинтез м'язового глікогену, прискорює білковий обмін і сприяє зниженню оксидативного стресу [5, 10]. Відновлення водно-сольового балансу критично важливе для підтримки гомеостазу, нормального функціонування серцево-судинної, нервової та м'язової систем. Під час інтенсивних фізичних навантажень організм втрачає значну кількість електролітів (натрію, калію, магнію), дефіцит яких асоціюється з підвищеним ризиком розвитку судом, порушенням нейром'язової передачі та зниженням працездатності [4]. Контроль гідратації та своєчасна корекція електролітного складу за допомогою ізотонічних розчинів, дієтичних добавок або медикаментозних засобів є необхідною умовою стабілізації функціонального стану спортсмена.

Застосування таких ергогенних речовин, як амінокислотні комплекси, креатин, бета-аланін, вітаміни-антиоксиданти (С, Е) і поліфеноли, дозволяє покращити адаптаційні механізми організму, зменшити м'язову втому, прискорити енергетичне відновлення та знизити біомаркери м'язового ушкодження. Ергогенні інтервенції особливо ефективні при високій інтенсивності навантажень і в умовах обмеженого часу для відновлення.

Для оцінки ефективності відновлювальних методів було проаналізовано дані клініко-фізіологічного дослідження, проведеного за участю спринтерів у віці 18–26 років. Дослідження мало на меті оцінити динаміку основних біохімічних показників до та після застосування комплексної відновлювальної програми, що включала: активне відновлення у вигляді 15 хв легкого бігу з розтяжкою, кріотерапію впродовж 2-3 хв при -120°C , компресійну терапію та нутритивну підтримку із споживанням вуглеводно-білкових коктейлів та ізотонічних напоїв.

Таблиця 1 Динаміка біохімічних та суб'єктивних показників під впливом фізичного навантаження та після відновлення

Показник	Фаза спокою	Пік навантаження	Фаза відновлення	Δ %
КК, Од/л	140 ± 18	478 ± 52	220 ± 26	$\downarrow 258 (-54\%)$
Лактат, ммоль/л	1.6 ± 0.4	9.1 ± 0.8	2.4 ± 0.5	$\downarrow 6.7 (-73\%)$
МДА, мкмоль/л	3.2 ± 0.6	6.8 ± 1.0	4.1 ± 0.7	$\downarrow 2.7 (-40\%)$
GPx, Од/л	48 ± 6	44 ± 5	60 ± 7	$\uparrow 16 (+36\%)$
VAS (0–10 балів)	0	7.2 ± 0.9	2.1 ± 0.6	$\downarrow 5.1 (-71\%)$

Примітка: Δ – зміна показника після відновлення порівняно з піком навантаження.

Аналіз змін основних біохімічних та суб'єктивних показників (табл.1) свідчить про виражену фізіологічну відповідь організму на інтенсивне фізичне навантаження, а також про ефективність відновлювальних процедур. Зниження рівня креатинкінази після відновлення відображає активізацію репаративних процесів у м'язовій тканині. Зниження рівня лактату у фазі відновлення свідчить про ефективність відновлювальних процесів, зокрема нормалізацію кислотно-лужного стану, виведення метаболітів гліколізу та поступовий перехід до аеробного енергозабезпечення.

Позитивна динаміка простежується також у зниженні рівня малонового діальдегіду, як маркеру оксидативного стресу, що свідчить про зменшення рівня вільнорадикального ураження клітин. Зростання рівня ферменту глутатіонпероксидази після відновлення відображає активацію систем антиоксидантного захисту. Оцінка суб'єктивного відчуття болю за шкалою VAS демонструє зниження до 71%, що підтверджує ефективність застосованих методів відновлення у зменшенні м'язового дискомфорту.

Отримані дані підтверджують, що застосовані методи відновлення забезпечують швидке й ефективне відновлення організму після інтенсивного фізичного навантаження, знижуючи м'язове напруження та покращуючи

самопочуття. Загалом, динаміка показників свідчить про ефективне відновлення як на біохімічному, так і на суб'єктивному рівнях.

Подальший розвиток відновлювальних технологій у спорті потребує інтеграції міждисциплінарних підходів, що поєднують досягнення біохімії, нейрофізіології, нутриціології та спортивної медицини. Перспективним напрямом є персоніфіковане відновлення, базоване на постійному моніторингу біомаркерів [7] та адаптивному управлінні навантаженням. В умовах високих вимог до спортивної результативності саме науково обґрунтована система відновлення стає ключем до збереження здоров'я, стабільності спортивної форми та підвищення резервних можливостей організму. Таким чином, ефективне поєднання фізіологічного, біохімічного та нутритивного супроводу дозволяє створити оптимальні умови для повноцінної регенерації та стійкої адаптації спортсменів до навантажень.

Список використаних джерел:

1. Bieuzen F. et al. *Hydro- and Cryotherapy Systematic Review*. BMC Musculoskelet Disord, 2024.
2. Cairns S. P. Lactic acid and exercise performance: culprit or friend? *Sports Med.* 36, 2006. 279–291.
3. Goto K., Morishima T. Compression garment promotes muscular strength recovery after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2014 Dec, 46(12): 2265–70
4. Hamouti N., Del Coso J., Ortega J. F., Mora-Rodriguez R. Sweat sodium concentration during exercise in the heat in aerobically trained and untrained humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 111, 2011. 2873–2881
5. Ivy, J.L. et al. *Recovery from Cycling Exercise: Effects of Carbohydrate and Protein Beverages*. J Appl Physiol 109, 200, 2010.
6. Jinnah A. et al. *Cryotherapy Duration Critical in Short-Term Recovery*. Journal ISAKOS, 2019
21. Krishnan S., Sarda S., Kunzweiler C., Wu M., Sundaresan S., Huynh L., et al. Literature review of fatigue scales and association with clinically meaningful improvements in outcomes among patients with and without paroxysmal nocturnal hemoglobinuria. *Adv. Ther.* 39, 2022. 1959–1975.
22. Lombardi G., Ziemann E., Banfi G. Whole-Body Cryotherapy in Athletes: From Therapy to Stimulation. An Updated Review of the Literature. *Front Physiol*, 2017 May 2, 8:258.
23. Menzies, P., Menzies, C., McIntyre, L., et al. Blood lactate clearance during active recovery after intense exercise depends on recovery intensity. *Journal of Sports Sciences*, 28(9), 2010. 975–982.
24. Parker L., McGuckin T. A., Leicht A. S. Influence of exercise intensity on systemic oxidative stress and antioxidant capacity. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 34, 2014. 377–383.