DOI https://doi.org/10.30525/978-9934-26-280-7-2

ЛАБОРАТОРНИЙ МОНІТОРИНГ СИНДРОМУ ПЕРЕТРЕНОВАНОСТІ У СПОРТІ ВИЩИХ ДОСЯГНЕНЬ

Гуніна Л. М.

ВСТУП

Проблема перетренованості спортсменів привертала увагу фахівців вже з середини минулого століття, тобто тоді, коли тренувальні та змагальні навантаження спорту вищих досягнень навіть не перевищували 30–40 % сучасних. Вже тоді вона розглядалася як «спортивна хвороба», яка може набувати різних форм, відрізнятися різноманітною вираженою симптоматикою і бути наслідком ряду факторів, пов'язаних з невідповідністю тренувальних впливів пристосувальним можливостям організму спортсмена, психічними факторами, хронічними захворюваннями, нераціональним харчуванням та ін.[1].

В теперішній час сформовані певні уявлення, яким чином з найменшими витратами у метаболічному забезпеченні організму оцінити вираженість змін та попередити розвиток гомеостатичних зрушень з подальшим розвитком перевтоми та перетренованості. Наприклад, для цього використовуються різні типи активних та пасивних періодів відновлення після досягнення високих спортивних результатів та при лікуванні травм. Зокрема, показано, що активна затримка значною мірою неефективна з точки зору покращення спортивних результатів того ж дня або наступного дня, але повідомляється про деякі позитивні ефекти її впливу на ефективність тренувальної та змагальної діяльності наступного дня. У той же час, вірогідно, попередні активні «заминки», як показують дані систематичного огляду літератури, не послаблюють довгострокову адаптивну реакцію і водночас прискорюють відновлення рівня лактату в крові до переднавантажувального. Виконання активних заминок може частково запобігати пригніченню імунної системи та сприяти швидшому відновленню серцево-судинної та дихальної систем[2]. При цьому результати більшості досліджень вказують на те, що активні заминки суттєво не зменшують прояви синдрому

[1] Платонов В. Теория периодизации подготовки спортсменов высокой квалификации в течение года: предпосылки, формирование, критика. *Наука в олимпийском спорте*. 2019;(3):118–137.

[2] Van Hooren B., Peake J. M. Do We Need a Cool-Down After Exercise? A Narrative Review of the Psychophysiological Effects and the Effects on Performance, Injuries and the Long-Term Adaptive Response. *Sports Med*. 2018;48(7):1575–1595. DOI: 10.1007/s40279-018-0916-2.

відтермінованої м'язової болючості (DOMS) і не покращують відновлення непрямих маркерів м'язового пошкодження, нервово-м'язових скорочувальних властивостей, м'язово-сухожильної жорсткості, діапазону рухів, системних гормональних концентрацій, що в кінцевому наслідку може обмежувати процес. ресинтезу глікогену в м'язах[3], гальмуючи таким чином перебіг постнавантажувального відновлення[4].

На сьогодні для зниження попередження виникнення перетренованості в динаміці тренувального та змагального процесу використовується загальна кріотерапія (англ. *whole-body cryotherapy*), що має високий рівень доказовості[5], у вигляді аплікацій або дозованого занурення в холодну воду[6]. Звичайно ж, що застосування спеціальних харчових добавок також входить в систему профілактики розвитку перетренованості[7].

Відсутність своєчасного діагностування синдрому перетренованості може призвести до погіршення стану здоров'я спортсмена та педагогічних показників фізичної та функціональної його підготовленості[8]. Своєчасне застосування всієї доступної діагностичної сучасної клініколабораторної панелі – показників порушення цілісності міоцитів, гормонального фону, параметрів окисного стресу, вмісту прозапальних цитокінів і активності маркерних ферментів − для діагностики перенапруження та виявлення перетренованості допоможе тренеру своєчасно

[3] Weerapong P., Hume P. A., Kolt G. S. The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Med*. 2005;35(3):235–256. DOI: 10.2165/00007256-200535030-00004.

[4] Гунина Л., Рыбина И., Санауов Ж. Контроль и управление тренировочным процессом с помощью комплекса лабораторных информативных маркеров: реальная практика. *Наука в олимпийском спорте.* 2020;(2):33–43. DOI: 10.32652/olympic 2020.2_3.

[5] Costello J. T., Baker P. R., Minett G. M., Bieuzen F., Stewart I. B., Bleakley C. Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015;(9):CD010789. DOI: 10.1002/14651858.CD010789.pub2.

[6] Machado A. F., Almeida A. C., Micheletti J. K., Vanderlei F. M., Tribst M. F., Netto Junior J., et al. Dosages of cold-water immersion post exercise on functional and clinical responses: a randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sports*. 2017;27(11):1356–1363. DOI: 10.1111/sms.12734.

[7] Pasiakos S. M., Lieberman H. R., McLellan T. M. Effects of protein supplements on muscle damage, soreness and recovery of muscle function and physical performance: a systematic review. *Sports Med*. 2014;44(5):655–670. DOI: 10.1007/s40279-013-0137-7.

[8] Платонов В. Теории адаптации и функциональных систем в развитии системы знаний в области подготовки спортсменов. *Наука в олимпийском спорте*. 2017;(1):29−47.

змінити структуру тренувального процесу, зберегти здоров'я спортсмена і досягти високого змагального результату[9].

У зв'язку з вищевикладеним ми вважали за необхідне представити сучасні термінологічні характеристики перетренованості, підсумувати основні фактори, що призводять до розвитку даного синдрому у спортсменів, описати алгоритми первинних і уточнюючих діагностичних технологій, а також сучасних методологічних підходів, які дозволяють проводити диференційну оцінку перенапруження та перетренованості, а також надати рекомендації щодо алгоритму поєднаних дій лікаря і тренера для профілактики даного синдрому.

1. Термінологія та основні характеристики перетренованості

Кількісна оцінка та моніторинг тренувального навантаження з використанням різноспрямованих фізіологічних, педагогічних та інших показників були темою багатьох наукових досліджень за останні п'ятнадцять років[10, 11] Моніторинг тренувального навантаження допомагає тренерам індивідуально призначати, відстежувати, аналізувати, коригувати та програмувати тренувальні заняття не тільки з метою управління ефективністю тренувального процесу, але й з метою його контролю для запобігання формування перетренованості. Рання діагностика синдрому перетренованості є одним із важливих аспектів спортивного вдосконалення, і тому вченими ведеться активна робота з пошуку ранніх маркерів цього синдрому, в тому числі, й клініко-лабораторних.

У спеціальній літературі є інформація про дослідження окремих клініко-лабораторних маркерів як надійних маркерів перетренованості, але жоден з них не розглядається як універсальний[12]. Тому раціональним є формування комплексу біомаркерів, що віддзеркалюють різні сторони змін гомеостазу організму спортсменів при розвитку перетренованості.

---

[9] Bell L., Ruddock A., Maden-Wilkinson T., Rogerson D. Overreaching and overtraining in strength sports and resistance training: A scoping review. *J Sports Sci.* 2020;38(16): 1897−1912. DOI:10.1080/02640414.2020.1763077.

[10] Feijen S., Tate A., Kuppens K., Barry L. A., Struyf F. Monitoring the swimmer's training load: A narrative review of monitoring strategies applied in research. *Scand J Med Sci Sports*. 2020;30(11):2037–2043. DOI: 10.1111/sms.13798

[11] Vanrenterghem J., Nedergaard. N. J., Robinson M. A., Drust B. Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. *Sports Med.* 2017;47(11):2135–2142. DOI: 10.1007/s40279-017-0714-2.

[12] Djaoui L., Haddad M., Chamari K., Dellal A. Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers. *Physiol Behav*. 2017;181:86–94. DOI: 10.1016/ j.physbeh.2017.09.004.

Перетренованість (overtraining) – стан, який розвивається у спортсменів при неправильно побудованому режимі тренувань та відпочинку (хронічне фізичне перенавантаження, одноманітність засобів і методів тренувань, порушення принципу поступовості збільшення навантажень, недостатній час відпочинку, часті виступи на змаганнях), особливо на тлі вогнищ хронічної інфекції та соматичних захворювань. У 2012 р. на основі систематичного аналізу даних статей англійською мовою, який проводився за допомогою OVID (1948–2011 рр.) і бази даних PubMed за такими ключовими словами − синдром перетренованості (OTS), перетренування, перевищення, незрозуміла недостатня продуктивність, застарілість, патофізіологія, управління, лікування, оцінка − було сформовано практичний гайдлайн. У ньому постульовано, що «перетренованість є неадаптованою реакцією на надмірне фізичне навантаження без належного відпочинку, що призводить до неврологічних, ендокринологічних, імунологічних порушень у поєднанні зі змінами настрою»[13].

Факторами ризику перетренованості, *пов'язаними з індивідуальними та особистісними характеристиками спортсмена*, є наступні[14]:

– надмірно високий рівень мотивації;
– тренувальний підхід «що більше, тим краще»;
– відсутність перерви у тренуваннях через хворобу;
– форсування підготовки у ранньому віці;
– помилки при побудові раціону та хибні харчові звички спортсмена;
– участь у надлишковій кількості комерційних стартів;
– зовнішні подразники (складні ситуації у сім'ї, роботі, навчанні, фінансові проблеми та ін.);
– перфекціонізм особистості (прагнення до досконалості) та інші психологічні особливості.

Також можна вирізнити фактори ризику перетренованості, *пов'язані саме з тренувальним процесом:*

– рання спеціалізація та неадекватні адаптаційним можливостям організму підлітка навантаження (до закінчення пубертатного періоду);
– перехід з юніорського на дорослий рівень майстерності;
– відсутність індивідуалізації у тренуванні;
– тренування у групі з більш підготовленими спортсменами;
– відсутність науково-обґрунтованого контролю переносимості навантажень;

[13] Kreher J. B., Schwartz J. B. Overtraining syndrome: a practical guide. *Sports Health.* 2012;4(2):128–138. DOI: 10.1177/1941738111434406

[14] Richardson S. O., Anderson M. B., Morris T. Overtraining Athletes. *Personal Journeys in Sport.* Human Kinetics, 2008. 205 p.

– олімпійський сезон;

– тренувальні цикли успішних у минулому спортсменів, які певний час не виступали у змаганнях;

– зміна умов тренувального процесу − переміщення широтами, особливо на схід, зміни клімату, температури навколишнього повітря, висоти над рівнем моря та ін., тобто умов, що загалом укладаються в поняття клімато-часового десинхронозу[15].

Усесвітньо відомий український вчений у галузі теоретико-методологічних засад побудови системи спортивної підготовки в олімпійському спорті та її реалізації у практиці тренувального процесу професор В. М. Платонов визначає перетренованість як «*…стан, що характеризується зниженням спортивної працездатності, погіршенням нервово-психічного та фізичного стану спортсменів, значним комплексом порушень регуляторних і реалізуючих органів і систем, метаболічних змін, що лежать на межі патології. Генералізований їх характер свідчить про те, що порушується усталена у процесі тривалих тренувань узгодженість діяльності центральної нервової системи, рухового апарату і вегетативних органів. Нераціональне тренування неминуче торкається кори головного мозку, порушуючи баланс, встановлений між збудженням та гальмівними процесами.…*»[16]. Основними ознаками перетренованості є знижена фізична працездатність, психологічне виснаження, депресія, гнів, дратівливість, стан втоми, повторні травми, біль у суглобах та м'язах та ін.

Відмінність OTS від інших форм дезадаптації відображена в опублікованому консенсусі Європейської колегії спортивної науки, присвяченому профілактиці, діагностиці та лікуванню OTS[17]. Відповідно до положень цього документа, необхідно диференціювати поняття нефункціонального перенапруження (NFOR − англ. *Nonfunctional Overreaching*) від синдрому перетренованості (OTS − англ. *Overtraining Syndrome*). Відмінність між цими станами чітко не диференційована та залежить від ступеня вираженості зниження працездатності та наявності метаболічних змін. Основною відмінністю між ними є тривалість

[15] Batotsyrenova E. G., Bakulev S. E., Nevzorova T. G., Ivanov M..B, Kashuro V. A., Zolotoverkhaja E. A., Kostrova T. A., Sharabanov A. V. Changes in the Biorhythms of Biochemical Parameters in Animals with Modeled Acute Desynchronosis. *Bull Exp Biol Med*. 2020;170(2):191–195. DOI: 10.1007/s10517-020-05030-1.

[16] Платонов В. Перетренированность в спорте. *Наука в олимпийском спорте.* 2015;(1):19-34.

[17] Meeusen R., Duclos M., Foster C., Fry A., Gleeson M., et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(1):186–205. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a.

відновлення систем організму, які забезпечують працездатність спортсмена. Вважається, що симптоми перетренованості, на відміну від перенапруження, є більш серйозними та їх усунення може займати більш тривалий час (від півроку до кількох років).

Це знайшло своє підтвердження в роботі N. Cardoos (2015)[18], який визначив, що функціональне перенапруження (FOR) виникає тоді, коли інтенсивне тренування призводить до тимчасового зниження продуктивності. Якщо забезпечуються відповідні періоди відновлення (відпочинку), виникає позитивний ефект «суперкомпенсації», коли спортсмен демонструє підвищену продуктивність. Нефункціональне надмірне перенапруження (NFOR), вважає автор, це накопичення тренувального та / або нетренувального стресу, що призводить до короткочасного зниження працездатності за наявності або відсутності відповідних фізіологічних і психологічних ознак та симптомів дезадаптації, коли відновлення працездатності може тривати від кількох днів до кількох тижнів.

Успішне тренування має включати не тільки перевантаження (з метою виникнення суперкомпенсації), але й уникати поєднання надмірного перевантаження та неадекватного відновлення. Спортсмени можуть демонструвати однакові клінічні, гормональні та інші ознаки та симптоми, але ключовим словом для визнання наявності OTS може бути «тривала дезадаптація» не лише організму спортсмена в цілому, але й кількох біологічних, нейрохімічних та гормональних механізмів регуляції. Вважається, що симптоми OTS, такі як втома, зниження працездатності та розлади настрою, є більш серйозними, ніж симптоми NFOR. Однак, як зазначено у спільній Консенсусній заяви Європейського коледжу спортивних наук та Американського коледжу спортивної медицини, немає жодних наукових доказів, які б підтверджували, або спростовували це припущення[19]. Підхід до розуміння етіології OTS передбачає виключення органічних захворювань або інфекцій і таких факторів, як дієтичне обмеження калорійності (негативний енергетичний баланс – RED-S) та недостатнє споживання вуглеводів та / або білка, дефіцит заліза і магнію, наявність алергії та інших патологічних факторів, разом з ідентифікацією ініціаторів подій або тригерів. У цій консенсусній статті надано опис можливих

[18] Cardoos N. Overtraining syndrome. *Curr Sports Med Rep*. 2015;14(3):157–158. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000145.

[19] Meeusen R., Duclos M., Foster C., Fry A., Gleeson M. et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(1):186–205. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a.

чисельних маркерів для виявлення OTS, але жоден з них, як сказано вище, не відповідає всім критеріям, щоб зробити їх використання загальновизнаним. Відрізнити NFOR від OTS дуже важко, і це залежатиме від даних клінічних обстежень та критеріїв виключення. Як бачимо, у дослідників є подібні підходи з деякими розбіжностями стосовно визначення факторів і сутності перетренованості, але усі одностайні в тому, що це явище слід розцінювати як клінічний діагноз.

На сьогоднішній день мало відомо про перенапруження (англ. *Overreaching*, або скор. *OR*) і OTS в популяціях представників силових видів спорту та при силових тренуваннях. Однак дані, що є в доступній літературі, можуть прояснити виникнення обох станів у цих популяціях. Колективом авторів під керівництвом L. Bell (2020) у систематичному огляді[20] на час початкового пошуку було знайдено 1170 записів, з них 47 відібрано для подальшого опрацювання. Під час аналізу даних було визначено дві широкі теми: 1) перенапруження у силових видах спорту; 2) перенапруження та OTS при силових тренуваннях. Короткочасні періоди перенапруження, досягнуті за допомогою високооб'ємного або високоінтенсивного силового навантаження, можуть викликати функціональне перенапруження (FOR), але є також докази того, що хронічна високооб'ємна та / або інтенсивна силова робота може призвести й до нефункціонального перенапруження (NFOR). На підставі досліджень, наведених у цьому огляді, є мінімальні докази того, що справжній OTS має місце в силових видах спорту або під час силових навантажень. Необхідні додаткові дослідження, щоб розробити надійні керівні принципи для практиків з метою обґрунтованого вирізнення OTS у представників силових видів спорту. Крім того, як вважають L. Bell та співавтори, майбутні дослідження, з огляду на неоднорідний характер опублікованих даних, лише виграють від розробки практичних інструментів для ідентифікації та діагностики переходу від FOR до NFOR, а згодом й до OTS у представників силових видів спорту.

Існує погляд, й з точки зору медико-біологічних підходів досить-таки обґрунтований, що OTS, FOR і NFOR – це стани, які діагностуються у спортсменів зі зниженою працездатністю та стомленням, викликані метаболічними, імунними, гормональними та іншими дисфункціями та є результатом дисбалансу між тренувальним стресом і належним

[20] Bell L, Ruddock A, Maden-Wilkinson T, Rogerson D. Overreaching and overtraining in strength sports and resistance training: A scoping review. J Sports Sci. 2020;38(16):1897–1912. DOI: 10.1080/02640414.2020.1763077.

перебігом (і часом) відновлення[21]. У цьому систематичному огляді та мета-аналізі зроблено акцент на гормональні зрушення і поставлено питання, чи є ендокринні зміни надійними маркерами формування цих патологічних станів, які викликає незбалансований за критерієм «навантаження-відновлення» тренувальний процес. Автори огляду F. A. Cadegiani та C. E. Kater на основі аналізу 38 досліджень, що були знайдені в базах даних Pub Med, MEDLINE і Cochrane, показали, що базальні рівні гормонів були переважно нормальними у спортсменів з OTS / FOR/ NFOR порівняно з аналогічними результатами у здорових спортсменів. Тести на стимуляцію, які в основному проводилися в умовах максимального фізичного навантаження, показали притуплені реакції боку гормону росту, або соматотропного гормону, та адренокортикотропного гормону (АКТГ) у спортсменів з OTS / FOR/ NFOR, тоді як коливання вмісту кортизолу і катехоламінів в плазмі крові дали суперечливі результати, а інші гормони (кортизол, тестостерон, інсуліноподібний фактор росту IGF-1, тіреотропний гормон, а також гормони щитоподібної залози, включаючи Т3 і Т4, лютеотропний гормон, пролактин, формуючий протеїн 3 інсуліноподібного фактору росту IGFBP-3) реагували на навантаження як передбачено (нормально). Автори з урахуванням наслідків аналізу чисельних даних зробили висновок, що базальний рівень більшості гормонів не є інформативним та точним прогностичним фактором розвитку перенавантаження та синдрому перетренованості, але притуплені реакції АКТГ і гормону росту на стимуляційні тести можуть бути прогностичним фактором OTS / FOR/ NFOR з високим рівнем інформативності.

У нещодавньому дослідженні T. Stellingwerff та співавторів (2021) було висловлено думку про подібність симптомів перевантаження під час тренування (за наявності діагнозу або без діагнозу OTS) і відносної енергетичної недостатності під час занять спортом (RED-S), причому обидва стани мають гіпоталамо-гіпофізарний ґенез, на що може впливати низький вміст вуглеводів (CHO) і низька доступність енергії[22]. На основі аналізу 145 доказових досліджень автори продемонстрували, що багато негативних наслідків тренувального перевантаження (за наявності або відсутності діагнозу OTS) можуть виникати, насамперед, через невірно оцінений брак енергії або RED-S (синдром відносного

[21] Cadegiani F. A., Kater C. E. Hormonal aspects of overtraining syndrome: a systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2017;9:14. DOI: 10.1186/s13102-017-0079-8.

[22] Stellingwerff T., Heikura I. A., Meeusen R., Bermon S., Seiler S., Mountjoy M. L., Burke L. M. Overtraining Syndrome (OTS) and Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): Shared Pathways, Symptoms and Complexities. *Sports Med*. 2021;51(11): 2251–2280. DOI: 10.1007/s40279-021-01491-0.

дефіциту енергії), через низьку доступність енергії (ЕА) та / або низький вміст вуглеводів. Зазначається, що запобігання недостатньому відновленню є багатофакторним, але багато аспектів базуються на наявності дефіциту енергії та вуглеводів (ЕА та СНО). Продемонстровано, що OTS і RED-S мають кілька спільних шляхів, симптомів і діагностичних складнощів. Як вважають автори цитованого огляду, необхідно приділити значну увагу розширенню знань і обізнаності про RED-S, а також підвищенню надійності діагностики як OTS, так і RED-S, щоб клініцисти могли точніше диференціювати низьку доступність енергії та RED-S з *діагнозом* OTS.

В цілому схематично ми представили «сходження» спортсмена униз по сходинкам різних проявів дезадаптації – від перевтоми до перетренованості – наступним чином (**рис.** 1) та визначили роль в цьому процесі спеціалістів – з одного боку, тренера, а з іншого боку, спортивного лікаря (найчастіше) та / або спортивного нутриціолог (на жаль, набагато рідше).



Рис. 1. Схематичне зображення стадій дезадаптації та ролі тренера і спортивного лікаря в корекції цих патологічних станів

На перших етапах консенсус у співробітництві тренера, лікаря і спортивного нутриціолога за консультативній ролі останніх може допомогти за потреби своєчасно вернути картину стомлення та / або недовідновлення у первинний (вихідний) стан, запобігши розвитку проявів дезадаптації. Зазвичай при еустресі наблюдается нормергічна реакція с формуванням адаптаційних перебудов[23]. Найважливішим моментом в цьому процесі є саме час перебігу процесів відновлення – якщо він систематично затягується понад дві, максимум три доби (в першу чергу, час відновлення структурних і ферментних білків та антиоксидантних факторів), а інтенсивність / обсяг тренувальних навантажень є занадто високими, то можна з великим ступенем вірогідності прогнозувати подальший розвиток перевтоми.

Ще в 1949 р. основоположник спортивної медицини професор С. П. Летунов характеризував перевтому як генеральний процес, що викликає зміни низки найголовніших фізіологічних систем і супроводжується порушенням оптимуму, створеного у процесі зростання тренованості.

Пізніше видатний клініцист та педагог в галузі спортивної медицини професор А. Г. Дембо (1988) запропонував виділити два стани, що виникають внаслідок надмірних фізичних та емоційних навантажень за відсутності адекватних періодів відпочинку, а саме, *загальну перевтому*, яка, з точки зору автора, є крайнім ступенем стомлення, і розцінюється як передпатологічний стан, і *перенапруження* одного або декількох органів і систем з різними патологічними станами, що виникають в них, і стають підґрунтям для формування перетренованості. На цій стадії дезадаптації необхідно застосування біомаркерів для визначення вираженості патологічних процесів, що перебігають в організмі, та формування програми нутритивно-метаболічної підтримки, спрямованої на попередження розвитку перенапруження та синдрому перетренованості. На останній стадії дезадаптаційного процесу участь тренера може стати непотрібною, оскільки часто лікування цього синдрому за наявності важких клінічних проявів перетренованості проводять у стаціонарних умовах.

Необхідно пам’ятати, що OTS притаманний не лише спорту вищих досягнень, але й дитячо-юнацькому спорту[24]. Це робить проблему своєчасного та інформативного лабораторного моніторингу цього патологічного явища ще більш нагальною, оскільки воно призводить до

[23] Медицинская реабилитация в спорте: руководство для врачей и студентов; под общ. ред. В. Н. Сокрута, В. Н. Казакова Донецк, Изд-во «Каштан», 2011. 620 с.

[24] Journeau P., Haumont T., Métaizeau J. D., Lascombes P. Overuse injuries in the young athletes. *Arch Pediatr*. 2006;13(6):545–548. DOI: 10.1016/j.arcped.2006.03.028.

різкого погіршення стану здоров'я, раннього професійного вигоряння та дострокового завершення спортивної кар'єри[25].

Таким чином, на основі аналізу сучасних даних встановлено, що досить складно відрізняти FOR від NFOR, яким би чином вони не виникли (як передбачені в тренувальному процесі або як наслідок збігу декількох негативних обставин), але обидва можуть бути попередниками OTS. Отже, при підготовці спортсменів має передбачатися проведення доцільного та всебічного обстеження з ідентифікацією лабораторних маркерів, які корелюють з перенапруженням і перетренованістю[26], що є підґрунтям проведення профілактичних заходів, включаючи нутритивно-метаболічне забезпечення, з метою запобігання виникненню довгострокової дезадаптації.

2. Роль біомаркерів у виявленні перетренованості під час занять спортом

Згідно з визначенням засновника спортивної генетики професора Клода Бушара (*Cloude Bouchard*), «*…біомаркер» (біологічний маркер) – це вимірюваний продукт або речовина, яка використовується як індикатор біологічного стану для об'єктивного визначення фізіологічних чи патологічних процесів в організмі. У спорті біомаркери є ключовими параметрами з метою оцінки впливу фізичних вправ на різні системи, тканини і органи*»[27]. В даний час у практиці контролю та управління тренувальним процесом та раннього виявлення перетренованості використовується значна кількість різних біомаркерів[28, 29].

Відомо, що ушкодження м'язової тканини при фізичних навантаженнях супроводжується викидом у кров таких ферментів, як КФК та

[25] Walters B. K., Read C. R., Estes A. R. The effects of resistance training, overtraining, and early specialization on youth athlete injury and development. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018;58(9):1339–1348. DOI: 10.23736/S0022-4707.17.07409-6.

[26] Carfagno D. G., Hendrix J. C. 3rd. Overtraining syndrome in the athlete: current clinical practice. *Curr Sports Med Rep.* 2014;13(1):45–51. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000027.

[27] Bouchard C., Shephard R. J., Stephens T. Physical activity; fitness and health: International proceedings and consensus statement. Champaign III : Human Kinetics, 1994. 356 p.

[28] Foster C., Rodriguez-Marroyo J. A., de Koning J. J. Monitoring Training Loads: The Past, the Present, and the Future. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017;12(Suppl 2):22-28. DOI: 10.1123/ijspp.2016-0388.

[29] Lee E. C., Fragala M. S., Kavouras S. A., Queen R. M., Pryor J. L., Casa D. J. Biomarkers in Sports and Exercise: Tracking Health, Performance, and Recovery in Athletes. *J Strength Cond Res.* 2017;31(10):2920–2937. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002122.

ЛДГ, а також міоглобіну та інших білків[30, 31]. Для оцінки впливу тренувального навантаження та у якості маркера перетренованості пропонується використовувати активність сироваткового ферменту КФК[32]. Цей показник вважається одним з найкращих непрямих параметрів постнавантажувального пошкодження м'язів через простоту його ідентифікації та відносно низьку вартість визначення активності ферменту. Однак при цьому необхідно брати до уваги, що існує велика індивідуальна варіація активності КФК[33], що ускладнює окреслення надійних референтних значень для спортсменів.

У дослідженні C. Raeder та співавторів було показано, що при інтервальних гіпоксичних тренуваннях середні зміни значень показників нервово-м'язової функції, сироваткової КФК і параметрів, що відображають вираженість проявів синдрому DOMS, мають низьку точність при одноразовому застосуванні в окремого спортсмена, й тому потрібне комбіноване довгострокове використання цих маркерів для перевірки можливості їх застосування (на індивідуальній основі) та формування надійних референтних значень для спортсменів[34].

Крім того, на активність сироваткової КФК більшою мірою, ніж відмінності в обсязі виконаних тренувальних вправ, можуть впливати такі фактори, як кваліфікація та стать спортсмена, а також задіяні групи м'язів. Значна варіація активності КФК обумовлена також відмінностями швидкості виходу ферменту в кров, що залежить від стану клітинних мембран і змін їхньої проникності під впливом фізичних навантажень. В експериментальних умовах моделювання навантажень у

[30] Durkalec-Michalski K., Jeszka J., Podgórski T. The Effect of a 12-Week Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) Supplementation on Highly-Trained Combat Sports Athletes: A Randomised, Double-Blind, Placebo-Controlled Crossover Study. Nutrients. 2017;9(7):753. DOI: 10.3390/nu9070753. Cochrane Central Register of Controlled Trials.

[31] Nowakowska A., Kostrzewa-Nowak D., Buryta R., Nowak R. Blood Biomarkers of Recovery Efficiency in Soccer Players. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(18): 3279–3307. DOI: 10.3390/ijerph16183279.

[32] Rodrigues B. M., Dantas E., de Salles B. F., Miranda H., Koch A. J., et al. Creatine kinase and lactate dehydrogenase responses after upper-body resistance exercise with different rest intervals. *J Strength Cond Res*. 2010;24(6):1657−1662. DOI:10.1519/ JSC.0b013e3181d8e6b1.

[33] Khaitin V., Bezuglov E., Lazarev A., Matveev S., Ivanova O., Maffulli N., Achkasov E. Markers of muscle damage and strength performance in professional football (soccer) players during the competitive period. *Ann Transl Med*. 2021;9(2):113. DOI: 10.21037/atm-20-2923.

[34] Raeder C., Wiewelhove T., Simola R. Á., Kellmann M., Meyer T., et al. Assessment of Fatigue and Recovery in Male and Female Athletes After 6 Days of Intensified Strength Training. *J Strength Cond Res*. 2016;30(12):3412–3427. DOI: 10.1519/JSC.00000 00000001427.

кваліфікованих спортсменів різного віку комплекс лабораторних досліджень може доповнюватися вивченням морфологічних показників – скорочувальних властивостей окремих «повільних» і «швидких» міофібрил, зокрема у бігунів на довгі та марафонські дистанції[35].

Збільшення активності інших м'язових ферментів під впливом напруженої м'язової діяльності, наприклад, збільшення активності ферменту АСТ до 45−55 ОД.·л$^{-1}$ (біохімічний аналізатор "Humalyzer-3000» та автентичні тест-системи виробництва "Human Gmbh", Німеччина) через добу після інтенсивної фізичного навантаження, не є критерієм перевтоми, якщо гіперферментемія носить короткочасний (до 2−3 діб) характер. Якщо ж гіперферментемія є більш тривалою, то це може, ми вважаємо, розглядатися як одна з ранніх ознак перевтоми та враховуватися для прогнозу розвитку наступного перенапруження.

Крім того, як свідчать результати мета-аналізу та систематичного огляду J. R. Silva та співавторів, у деяких випадках (наприклад змагальний виступ у ігрових видах спорту) навіть 72-годинний проміжок часу після гри недостатній для повного відновлення гомеостатичного балансу, хоча деякі контрольовані параметри гомеостазу повністю відновлюються (наприклад, гормональні)[36]. Насиченість відновлювального періоду після футбольного матчу не може складатися, як вважають автори огляду, з підходу «один розмір підходить всім», тобто йдеться про підвищення індивідуалізації підходів до контролю перевтоми та перетренованості та відповідної корекції, в тому числі, із застосуванням спеціальних харчових добавок відновлювальної спрямованості.

До того ж, понадінтенсивні навантаження без достатнього часу відпочинку, ймовірно, викликають більш значущі зміни вимірюваних величин перцептивних (больовий синдром при DOMS) та біохімічних параметрів, наприклад, маркерів мікропошкодження м'язів, включаючи активність сироваткових ферментів − КФК, АЛТ, а також вираженості окисного стресу та інших чутливих лабораторних показників, включаючи показники гематологічного гомеостазу[37]. Загалом тренери при отриманні лабораторних даних, що вказують на розвиток

[35] Harber M., Trappe S. Single muscle fiber contractile properties of young competitive distance runners. *J Appl Physiol* (1985). 2008;105(2):629–636. DOI: 10.1152/japplphysiol.00995.2007.

[36] da Silva Vasconcelos E., Salla R. F. Resistance exercise, muscle damage and inflammatory response "what doesn't kill you makes you stronger". *MOJ Sports Medicine*. 2018;2(2):65–67.

[37] Гунина Л., Рыбина И., Котляренко Л. Использование показателей гематологического гомеостаза для оценки функционального состояния спортсменов и контроля тренировочного процесса. *Наука в олимпийском спорте*. 2020;(3):65–75. DOI: 10.32652/olympic2020.3_3.

перенапруження і перетренованості, повинні скоригувати структуру та зміст тренувальних сесій під час 72-годинного постнавантажувального інтервалу (після тренувальних занять чи змагань), щоб ефективно керувати тренувальним процесом[38].

Первинний лабораторний скринінг перенапруження та перетренованості. Відомо, що концентрація сечовини в крові свідчить про посилений катаболізм білків та активно застосовується у практиці спорту як маркер недовідновлення, перевтоми та перетренованості. Для оцінки цих станів може бути використана не тільки динаміка концентрації сечовини, а й азоту сечовини (BUN), оскільки цей показник має асоціації зі ступенем активності катаболічних процесів і вмістом глюкортикоїдних гормонів у сироватці крові. Сечовина переважно утворюється у печінці як продукт розщеплення білків (амінокислот). Нормальні концентрації сечовини в крові після оптимального по відношенню до адаптаційних можливостей спортсмена навантаження становлять, залежно від статі, 5–7 ммоль·л$^{-1}$, з максимумом 8,5 ммоль·л$^{-1}$ у представників чоловічої статі[39].

Дуже тривалі тренувальні заняття призводять до збільшення концентрації сечовини як у крові, так й в печінці, скелетних м'язах, сечі та поті, що є маркером напруженості катаболізму білкових структур. Таким чином, вимірювання вмісту сечовини дозволяє оцінити ступінь використання білка як енергетичного субстрату, зокрема ступінь зусиль у змагальному тестовому сеансі та рівень перетренованості спортсмена. Разом з тим, основна проблема використання рівня сечовини як інформативного маркера перенапруження та перетренованості полягає в тому, що при тренувальних навантаженнях високої інтенсивності він може підвищуватися незначно, що залежить від метаболічних характеристик організму[40].

Крім того, значення даного показника певною мірою залежить від надходження з їжею білкових продуктів в організм спортсмена, оскільки при споживанні багатої білками їжі вуглецеві скелети амінокислот використовуються для отримання енергії та утворення значної кількості сечовини з вільних аміногруп, що залишаються. Утворення сечовини

---

[38] Гунина Л., Рыбина И., Санауов Ж. Контроль и управление тренировочным процессом с помощью комплекса лабораторных информативных маркеров: реальная практика. *Наука в олимпийском спорте*. 2020б;(2):33–43. DOI: 10.32652/olympic 2020.2_3.

[39] Рыбина И.Л., Гунина Л.М. Лабораторные маркеры контроля и управления тренировочным процессом спортсменов: наука и практика. М., Спорт, 2021. 372 с.

[40] Palacios G., Pedrero-Chamizo R., Palacios N., Maroto-Sánchez B., Aznar S. et al. ; EXERNET Study Group. Biomarkers of physical activity and exercise. *Nutr Hosp.* 2015;31(Suppl 3):237–244. DOI: 10.3305/nh.2015.31.sup3.8771.

також помітно збільшується при обмеженні раціону (наприклад, у художній гімнастиці), коли для підтримки метаболічної енергії організму починається розщеплення м'язових білків[41]. У зв'язку з цим при використанні вмісту сечовини як маркера переносимості тренувальних навантажень необхідно враховувати характер харчування та фармакологічного забезпечення процесу підготовки спортсменів.

Роль оцінки гормонального статусу організму спортсменів при діагностиці перетренованості. Зміни ендокринного статусу та його окремих показників давно використовуються як індикатори, що відображають напруженість та адекватність метаболічних перебудов у організмі спортсмена під впливом тривалих та інтенсивних фізичних та психоемоційних навантажень[42]. Одним із таких першорядно важливих біомаркерів є вміст у сироватці крові стресового гормону кортизолу. Кортизол − це стероїдний гормон, який синтезується з холестерину за участі ферментів цитохрому Р450 у корі надниркових залоз. Продукція гормону має наступний циркадний ритм: опівночі рівень кортизолу в крові дуже низький (іноді навіть не виявляється), потім він поступово підвищується і досягає максимуму вранці. Цей ритм регулюється головним циркадним осцилятором в супрахіазматичному ядрі гіпоталамуса.

Кортизол протидіє впливу інсуліну в організмі, сприяючи підвищенню рівня глюкози в крові за допомогою стимуляції глюконеогенезу – метаболічного шляху, в якому глюкоза синтезується з оксалоацетату. Кортизол запускає процес експресії ферментів, критичних для глюконеогенезу, сприяючи таким чином збільшенню продукції глюкози. І навпаки, він також стимулює синтез глікогену в печінці, що знижує вміст глюкози в крові. Таким чином, кортизол регулює рівень глюкози, що циркулює у кровообігу. Коли рівень глюкози в крові критично знижується (наприклад, під час голодування), кортизол забезпечує базальну концентрацію глюкози через активацію глюконеогенезу. Кортизол має багатогранні метаболічні функції, зокрема бере участь у регулюванні pH позаклітинної рідини[43]. Коли клітини

[41] Nelson D., Cox M. In: Fundamentals of Biochemistry Lehninger: Vol. 2: Bioenergetics and metabolism. Moscow, Binom, Knowledge Laboratory, 2014. 356 p.

[42] Pedlar C. R., Newell J., Lewis N. A. Blood Biomarker Profiling and Monitoring for High-Performance Physiology and Nutrition: Current Perspectives, Limitations and Recommendations. *Sports Med.* 2019;49(Suppl 2):185–198. DOI: 10.1007/s40279-019-01158-x.

[43] Petry L., Kippenberger S., Meissner M., Kleemann J., Kaufmann R., et al. Directing adipose-derived stem cells into keratinocyte-like cells: impact of medium composition and culture condition. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2018;32(11):2010–2019. DOI: 10.1111/jdv.15010.

втрачають дуже багато натрію, це прискорює швидкість виведення калію. Отже, кортизол регулює дію натрієво-калієвих насосів для досягнення іонної рівноваги після будь-якої дестабілізуючої події, включаючи фізичне навантаження[44].

Слід зазначити, що отримані дані щодо ефективності кортизолу як надійного маркеру перетренованості є певною мірою суперечливими. У систематичному огляді та мета-аналізі, в якому зроблено акцент на гормональні зрушення і поставлено питання щодо надійності використання показників ендокринних змін як маркерів формування патологічних станів, що пов'язані з незбалансованим за критерієм «навантаження-відновлення» тренувальним процесом[45, 46].

Добре відомі також ефекти впливу кортизолу на імунну відповідь. Т-лімфоцити активуються молекулами цитокінів (інтерлейкінів) через сигнальний шлях, а кортизол перешкоджає тому, щоб специфічні рецептори Т-клітин розпізнавали сигнали інтерлейкінів та зменшували проліферацію Т-клітин, що сприяє зовнішньому пригніченню запального процесу, залишаючи активним осередок інфекції. Так само гормон зменшує запалення шляхом інгібування секреції гістаміну[47]. Здатність кортизолу запобігати розвитку нормальної імунній відповіді на вплив ксенобіотиків може зробити осіб, які страждають від наслідків хронічного стресу, надзвичайно вразливими до дії інфекційних чинників[48]. Хоча надниркoвим залозам необхідно секретувати більше кортизолу у відповідь на психологічний або фізичний стрес, також важливо, щоб вміст кортизолу повертався до нормальних значень після стресової події. На жаль, у деяких спортсменів стресова реакція на

[44] Hu Y. C., Chu K. F., Hwang L. Y., Lee T. H. Cortisol regulation of Na(+), K(+)-ATPase beta1 subunit transcription via the pre-receptor 11beta-hydroxysteroid dehydrogenase 1-like (11beta-Hsd1L) in gills of hypothermal freshwater milkfish, Chanos chanos. *J Steroid Biochem Mol Biol.* 2019;192:105381. DOI: 10.1016/j.jsbmb.20 19.105381.

[45] Cadegiani F. A., Kater C. E. Basal Hormones and Biochemical Markers as Predictors of Overtraining Syndrome in Male Athletes: The EROS-BASAL. *Study J Athl Train.* 2019;54(8):906–914. DOI: 10.4085/1062-6050-148-18.

[46] Cadegiani F. A., Kater C. E. Hormonal response to a non-exercise stress test in athletes with overtraining syndrome: results from the Endocrine and metabolic Responses on Overtraining Syndrome (EROS) − EROS-STRESS. *J Sci Med Sport*. 2018;21(7):648–653. DOI: 10.1016/j.jsams.2017.10.033.

[47] Pondeljak N., Lugović-Mihić L. Stress-induced Interaction of Skin Immune Cells, Hormones, and Neurotransmitters. *Clin Ther.* 2020;42(5):757–770. DOI: 10.1016/ j.clinthera.2020.03.008.

[48] Patterson S., Moran P., Epel E., Sinclair E., Kemeny M. E., Deeks S. G. et al. Cortisol patterns are associated with T cell activation in HIV. *PLoS One.* 2013;26:8(7):e63429. DOI: 10.1371/journal.pone.0063429.

інтенсивні навантаження активується так часто, що зміни метаболізму не завжди мають шанс повернутися до нормального стану. Це може призвести до проблем зі здоров'ям, у тому числі, до формування хронічного стресу та розвитку перевтоми й перетренованості.

Потрібно зазначити, що адекватним відображенням стресорних ситуацій, які відбуваються в організмі спортсмена, є зміни вмісту не тільки сироваткового кортизолу, але й вмісту кортизолу в слині, що чітко корелює з напруженістю попередніх м'язових навантажень і нейро-м'язової продуктивності[49]. Встановлено, що зміни рівня кортизолу слини після фізичного навантаження залежать від його інтенсивності. Наприклад, відразу після виконання силової високоінтенсивної вправи з високим опором напруженню скелетної мускулатури рівень кортизолу слини підвищився на 97 % порівняно з вихідними значеннями.

Ще одним фактором, який може вплинути на реакцію кортизолу в слині, є рівень тренованості спортсменів[50]. У висококваліфікованих представників силових видів спорту спостерігається зворотна та значуща кореляція з нейро-м'язовою активністю. У дослідженні щодо наявності зв'язку вмісту кортизолу та продуктивності протягом сезону в ігрових видах спорту (висококваліфіковані футболісти) автори дійшли висновку, що у спортсменів, які починають сезон із підвищеними значеннями кортизолу, можуть спостерігатися значні зниження параметрів фізичної підготовленості та працездатності протягом сезону[51]. Аналогічні результати були отримані у бігунів на середні та довгі дистанції. Таким чином, в оцінці коливань показників вмісту кортизолу у представників різних груп видів спорту, залежно від інтенсивності навантажень та виникнення функціонального та нефункціонального перенапруження, немає однозначності, що не дає змоги використовувати цей параметр як високоінформативний маркер OTS.

Рівень тестостерону часто використовується як біомаркер гомеостатичних процесів в організмі анаболічної спрямованості. Це стероїдний гормон, що відноситься до групи андрогенів, сприяє збільшенню м'язової маси та сили, підвищенню боєздатності та спортивної

[49] Gorostiaga E. M., Grandados C., Ibanez J., Gonzalez-Badillo J. J., Izquierdo M. Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Med Sci Sports Exercise*. 2006;38:357–366. DOI: 10.1249/01.mss.0000184586.74398.03.

[50] Geisler S., Aussieker T., Paldauf S., Scholz S., Kurz M. et al. Salivary testosterone and cortisol concentrations after two different resistance training exercises. *J Sports Med Phys Fitness*. 2019;59(6):1030–1035. DOI: 10.23736/S0022-4707.18.08786-8.

[51] Kraemer W. J., Flanagan S. D., Comstock B. A., Fragala M. S., Earp J. E. Effects of a whole body compression garment on markers of recovery after a heavy resistance workout in men and women. *J Strength Cond Res.* 2010;24(3):804–814. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181d33025.

агресивності й дозволяє значно зменшити процент жирової складової організму. Еталонні діапазони вмісту тестостерону становлять 300–1000 нг·дл$^{-1}$ для чоловіків і 15–70 нг·дл$^{-1}$ – для жінок.

Непропорційна фізіологічна реакція на навантаження викликає збільшення секреції кортизолу, що, в свою чергу, може інгібувати синтез тестостерону[52]. Співвідношення кортизол / тестостерон є показником, який застосовується для оцінювання хронічної втоми у спортсменів. Використання анаболічного індексу «тестостерон / кортизол» (Т/К), або індексу анаболізму – інтегрального показника, запропонованого професором В. О. Таймазовим як маркера перетренованості, базується на обґрунтованому припущенні, що тестостерон є анаболічним гормоном, а кортизол −катаболічним. Отже, їх співвідношення може опосередковано відображати процес ресинтезу протеїнів, деструктованих у ході фізичного навантаження, тобто бути маркером перебігу відновлення.

Зниження значення цього індексу нижче 3,0 ум. од. у спортсменів чоловічої статі розглядається як критерій перетренованості[53]. Однак результати деяких більш ранніх досліджень показують відсутність достовірних змін цього показника під впливом тренувальних навантажень у висококваліфікованих спортсменів. При розвитку OTS може спостерігатися зниження рівня регуляції периферичних гормональних рецепторів або центральна дисфункція гормональної регуляції на рівні гіпофіз-гіпоталамус. У цьому випадку можна припускати недостатність відповіді рівня кортизолу на фізичні вправи у спортсменів із ризиком розвитку явищ перетренованості[54].

Нічна екскреція катехоламінів, яка залежить від симпатико-адреналових імпульсів, у перетренованих спортсменів є нижчою порівняно з даними групи спортсменів, у яких явища перетренованості не реєструються. Також повідомляють про достовірне зниження вмісту

[52] Kraemer W. J., Flanagan S. D., Comstock B. A., Fragala M. S., Earp J. E. Effects of a whole body compression garment on markers of recovery after a heavy resistance workout in men and women. *J Strength Cond Res*. 2010;24(3):804–814. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181d33025.

[53] Castro-Sepulveda M., Cancino J., Fernández-Verdejo R., Pérez-Luco C., Jannas-Vela S., Ramirez-Campillo R., Del Coso J., Zbinden-Foncea H. Basal Serum Cortisol and Testosterone/Cortisol Ratio Are Related to Rate of Na+ Lost During Exercise in Elite Soccer Players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2019;29(6):658–663. DOI: 10.1123/ijsnem.2019-0129.

[54] Hooper D. R., Tenforde A. S., Hackney A. C. Treating exercise-associated low testosterone and its related symptoms. *Phys Sportsmed*. 2018;46(4):427–434. DOI: 10.1080/00913847.2018.1507234.

кортизолу під впливом напружених фізичних навантажень, яке не пов'язують з перетренованістю[55].

Вищевикладені аргументи можуть бути покладені, але лише опосередковано, в основу використання разового визначення гормональних маркерів для діагностики стану перетренованості, що наближується. Найбільш перспективним підходом може бути вимірювання гормональної відповіді на одну або кілька серій вправ високої інтенсивності, оскільки гормони є інформативними показниками для оцінки адаптації до тренувальних навантажень та запобігання перетренованості[56]. Для широкого використання гормональних методів необхідна розробка протоколів тестування та комплексу фізичних вправ, найбільш чутливих для виявлення ранніх стадій стану перетренованості.

Більш ранні результати, отримані M. Lehmann та співавторами[57] при обстеженні бігунів на середні та довгі дистанції, свідчать про біохімічні зміни периферичної крові при моделюванні у спортсменів OTS, який супроводжувався значним зниженням концентрації глюкози, лактату, вільних жирних кислот, альбуміну, холестерину і ліпопротеїдів низької та дуже низької щільності, вмісту гемоглобіну й лейкоцитів, а також частоти серцевих скорочень до та під час виконання фізичних вправ. Спостерігалося значне збільшення активності КФК, а рівні сечовини, креатиніну, сечової кислоти, іонів (крім фосфатів та кальцію) сироватки крові та активність маркерних ферментів АСТ та АЛТ залишалися незмінними. Таким чином, результати спостережень вказують на складність метаболічних зрушень, що спостерігаються у разі розвитку OTS у кваліфікованих спортсменів, що потребує комплексних досліджень для встановлення діагнозу OTS.

Сучасні технології лабораторного скринінгу перетренованості. Як сучасні лабораторні тести, що відображають наявність несептичного запального процесу в тканинах, може використовуватися збільшення

[55] Jones T. W., Howatson G., Russell M., French D. N. Effects of strength and endurance exercise order on endocrine responses to concurrent training. *Eur J Sport Sci.* 2017;17(3):326–334. DOI: 10.1080/17461391.2016.1236148.

[56] Cadegiani F. A., Kater C. E. Basal Hormones and Biochemical Markers as Predictors of Overtraining Syndrome in Male Athletes: The EROS-BASAL. *Study J Athl Train.* 2019;54(8):906–914. DOI: 10.4085/1062-6050-148-18.

[57] Lehmann M., Baumgartl P., Wiesenack C., Seidel A., Baumann H. et al. Training-overtraining: influence of a defined increase in training volume vs training intensity on performance, catecholamines and some metabolic parameters in experienced middle- and long-distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1992;64(2):169–177. DOI: 10.1007/BF00717956.

вмісту так званих білків «гострої фази» − фібриногену, гаптоглобіну, кислого α1-глікопротеїну, СРБ, α1-антитрипсину та ін.[58].

На сьогодні у спортсменів (на прикладі ультрамарафону) описано *три біохімічні патерни* лабораторних показників перевтоми і перенапруження як попередників OTS[59]. Так, було вивчено зміни біомаркерів крові у 18 спортсменів середнього віку, які брали участь у дводенному ультрамарафоні на 130 км, та проаналізовано зразки крові учасників дослідження, взяті у нульовій точці (вихідні дані), після досягнення цілей у перший та другий день спостереження й в трьох тимчасових точках (1, 3 та 5−6 дні) після забігу. У спрямованості та вираженості змін вивчених показників було виявлено три закономірності.

До *першого патерну* віднесено показники, що практично не змінилися після 1, 3 та 5−6 днів тестування: значення еритроцитарних індексів (середній об'єм еритроцитів − MCV, абсолютний вміст гемоглобіну в еритроциті − MCH, концентрація гемоглобіну в еритроциті − MCHC, ширина розподілу еритроцитів − RDW-SD), активності маркерного ферменту печінки γ-глутамілтранспептизази (ГГТП) і вмісту фактору некрозу пухлини α (TNF-α).

До *другого патерну* включено більшість показників, які були підвищені під час забігів та після них, а потім поверталися до вихідного рівня. Це були маркери гемолізу / деструкції еритроцитів (непрямий білірубін) та показник насиченості депо залізом (феритин), параметри пошкодження м'язів (сечова кислота, ензиматична активність КФК, ЛДГ та АСТ), маркери ниркової дисфункції (креатинін і азот сечовини у сироватці крові), пошкодження печінки (АЛТ), показники ліпідного обміну (вільні жирні кислоти), реакційно-активні радикали кисню та маркери асептичного запалення міоцитів (лейкоцити, прозапальний цитокін інтерлейкін IL-6 та С-реактивний білок − СРБ), а також фактори, що характеризують енергопродукцію та адренергічну регуляцію процесів метаболізму (вміст адреналіну, норадреналіну та дофаміну).

Третій патерн лабораторних показників перевтоми і перенапруження складав монопоказник вмісту триацілглицеролів (ТАГ), або тригліцеридів (як маркер інтенсивності та спрямованості ліпідного

[58] Lee E. C., Fragala M. S., Kavouras S. A., Queen R. M., Pryor J. L., Casa D. J. Biomarkers in Sports and Exercise: Tracking Health, Performance, and Recovery in Athletes. *J Strength Cond Res*. 2017;31(10):2920–2937. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002122.

[59] Arakawa K., Hosono A., Shibata K., Ghadimi R., Fuku M. Changes in blood biochemical markers before, during, and after a 2-day ultramarathon. *Open Access J Sports Med*. 2016;7:43–50. DOI: 10.2147/OAJSM.S97468.

обміну); рівень показника знижувався під час ультрамарафону, а після його закінчення починав повертатися до вихідного рівня.

Стосовно окремих гормональних маркерів (зокрема ендогенного інсуліну, лептину та адипонектину) в ході описаного дослідження були встановлені унікальні закономірності. Ці результати виявилися інформативними для спортсменів і тренерів, які мають приймати рішення про оптимальний рівень навантажень, тривалість й загальний обсяг навантажень для підвищення фізичної працездатності та моніторингу фізичного та психічного стану, а також для запобігання перетренованості та зниження ризику травмонебезпечності[60].

Отримані дані сприяли подальшому розвитку фундаментальних положень відомого італійського дослідника в галузі спортивної медицини та лабораторної діагностики Дж. Банфі (*Guiseppe Banfi*) щодо необхідності використання цілісного комплексу клініко-лабораторних маркерів для оцінки рівня тренованості спортсменів, а також при розвитку перенапруження та OTS[61].

Для диференціальної діагностики проявів NFO та OTS R. Meeusen із співавторами ще у 2010 р. запропонували тест для оцінки фізичної працездатності та гормональних реакцій, спричинених стресом. Використовували протокол із двома підходами максимального фізичного навантаження з поступовим збільшенням інтенсивності та інтервалом у 4 години. Наприкінці обох тестів із фізичним навантаженням вимірювали тривалість фізичного навантаження, частота серцевих скорочень і концентрація лактату в крові. Концентрації у венозній крові кортизолу, АКТГ, пролактину та гормону росту оцінювали як до, так і після проведення обох тестів з фізичним навантаженням. Максимальна концентрація лактату в крові була нижчою при OTS порівняно з даними при NFO, тоді як концентрації кортизолу, АКТГ і пролактину в стані спокою були вищими; однак чутливість цих параметрів була не надто високою. Реакції АКТГ і пролактину на друге навантаження були більш вираженими у спортсменів з NFO порівняно з даними при наявності OTS і показали найвищу чутливість для визначення цієї відмінності, а саме, у спортсменів із OTS спостерігалося незначне збільшення концентрації вищезазначених гормонів або взагалі відсутність змін[62]. Автори зробили

[60] Arakawa K., Hosono A., Shibata K., Ghadimi R., Fuku M. Changes in blood biochemical markers before, during, and after a 2-day ultramarathon. *Open Access J Sports Med*. 2016;7:43–50. DOI: 10.2147/OAJSM.S97468.

[61] Banfi G., Colombini A., Lombardi G., Lubkowska A. Metabolic markers in sports medicine. *Adv Clin Chem*. 2012;56:1–54. DOI: 10.1016/b978-0-12-394317-0.00015-7.

[62] Meeusen R., Nederhof E., Buyse L., Roelands B., de Schutter G., Piacentini M. F. Diagnosing overtraining in athletes using the two-bout exercise protocol. *Br J Sports Med*. 2010;44(9):642–648. DOI: 10.1136/bjsm.2008.049981.

висновок, що NFO можна відрізнити від OTS на основі реакції АКТГ і пролактину в протоколі з двох стимуляційних послідовних вправ. Цей тест може бути корисним інструментом для діагностики NFO та OTS, однак брак даних на сьогодні не дозволяє використовувати його як золотий стандарт.

Проте, як зазначалося вище, через 7 років було показано, що помірні зміни рівнів гормонів, зокрема АКТГ (і гормону росту), на стимуляційні тести з фізичним навантаженням з високим рівнем інформативності можуть бути прогностичним показником для усіх трьох станів − FOR/ NFOR / OTS[63, 64].

При цьому питання диференційної діагностики цих станів на основі визначення різниці у вираженості гормональної відповіді лишається невирішеним. Хоча не можна й ігнорувати важливу роль змін гормонального статусу спортсменів у формуванні недовідновлення та подальшого розвитку перенапруження і перетренованості, й навіть можливість використання розрахункових індексів для характеристики порушень у спортсменів анаболічного та катаболічного статусу, які лежать в основі виникнення зазначених патологічних станів.

ВИСНОВКИ

Таким чином, визначення наявності та вираженості OTS у професійних висококваліфікованих спортсменів є надзвичайно актуальним (хоча і дуже непростим) питанням сучасної спортивної медицини та лабораторної діагностики. Використання значної кількості тестів, заснованих на визначенні психологічних і фізіологічних показників, не завжди дає ясне та, головне, своєчасне уявлення про виникнення синдрому перетренованості. Тобто за відсутності належного лабораторного контролю можливого розвитку OTS подальше продовження тренувальних занять без модифікації тренувального процесу та відповідної фармакологічної та нутриціологічної корекції може призвести до посилення стану перетренованості спортсмена. Це стане проблемою патофізіологічного характеру з подальшими клінічними проявами, що потребуватиме усунення від тренувального процесу для проведення відповідного лікування.

[63] Cadegiani F. A., Kater C. E. Hormonal aspects of overtraining syndrome: a systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2017;9:14. DOI: 10.1186/s13102-017-0079-8.

[64] Cadegiani F. A., Kater C. E. Basal Hormones and Biochemical Markers as Predictors of Overtraining Syndrome in Male Athletes: The EROS-BASAL. *Study J Athl Train.* 2019;54(8):906–914. DOI: 10.4085/1062-6050-148-18.

Основу своєчасної діагностики перетренованості повинні складати тести першого рівня, що вказують на розвиток недовідновлення/ перевтоми – визначення вмісту сечовини, креатиніну, параметру середнього об'єму еритроцитів (MCV), а також активності КФК. І таке тестування має бути скринінговим і проводитися регулярно для контролю та управління тренувальним процесом спортсменів. У разі виникнення первинних зрушень необхідний комплекс тренерських дій з належним клініколабораторним контролем та подальшою корекцією з використанням медикаментозних та нутритивно-метаболічних засобів. У разі невиконання цих положень існує загроза прогресування стану перенапруження, посилення метаболічних зрушень та розвитку OTS, що негативно позначиться на рівні фізичної та функціональної підготовленості атлета.

АНОТАЦІЯ

В оглядовій роботі наведено сучасні термінологічні характеристики перетренованості, підсумовано основні фактори, що призводять до розвитку даного синдрому у спортсменів, та описано алгоритми первинних та уточнюючих складніших діагностичних технологій. Висвітлено найважливішу роль змін гормонального статусу спортсменів у формуванні недовосстановления та подальшого розвитку перетренованості, а також можливість використання розрахункових індексів для характеристики порушень у спортсменів анаболічного та катаболічного статусу, що лежать в основі виникнення зазначених патологічних станів. Коротко описані найсучасніші методологічні підходи, що дозволяють проводити диференційну оцінку перетренованості та перенапруження.

Література

1. Гунина Л, Рыбина И, Котляренко Л. Использование показателей гематологического гомеостаза для оценки функционального состояния спортсменов и контроля тренировочного процесса. *Наука в олимпийском спорте.* 2020 № 3. С. 65–75. DOI: 10.32652/olympic2020.3_3.

2. Гунина Л, Рыбина И, Санауов Ж. Контроль и управление тренировочным процессом с помощью комплекса лабораторных информативных маркеров: реальная практика. Наука в олимпийском спорте. 2020. № 2. С. 33–43. DOI: 10.32652/olympic2020.2_3.

3. Медицинская реабилитация в спорте: руководство для врачей и студентов; под общ. ред. В. Н. Сокрута, В. Н. Казакова Донецк : Изд-во «Каштан», 2011. 620 с.

4. Платонов В. Теории адаптации и функциональных систем в развитии системы знаний в области подготовки спортсменов. *Наука в олимпийском спорте*. 2017. № 1. С. 29–47.

5. Платонов В. Теория периодизации подготовки спортсменов высокой квалификации в течение года: предпосылки, формирование, критика. *Наука в олимпийском спорте*. 2019. № 3. С. 118–137.

6. Платонов В. Перетренированность в спорте. *Наука в олимпийском спорте*. 2015. № 1. С. 19–34.

7. Рыбина И. Л., Гунина Л. М. Лабораторные маркеры контроля и управления тренировочным процессом спортсменов: наука и практика. М., Спорт, 2021. 372 с.

8. Arakawa K., Hosono A., Shibata K., Ghadimi R., Fuku M. Changes in blood biochemical markers before, during, and after a 2-day ultramarathon. *Open Access J Sports Med.* 2016. № 7. P. 43–50. DOI: 10.2147/OAJSM.S97468.

9. Banfi G., Colombini A., Lombardi G., Lubkowska A. Metabolic markers in sports medicine. *Adv Clin Chem*. 2012. № 56. P. 1–54. DOI: 10.1016/b978-0-12-394317-0.00015-7.

10. Batotsyrenova E. G., Bakulev S. E., Nevzorova TG, Ivanov MB, Kashuro V. A, Zolotoverkhaja E. A, Kostrova T. A, Sharabanov A. V. Changes in the Biorhythms of Biochemical Parameters in Animals with Modeled Acute Desynchronosis. *Bull Exp Biol Med.* 2020. № 170 (2). P. 191–195. DOI: 10.1007/s10517-020-05030-1.

11. Bell L., Ruddock A., Maden-Wilkinson T., Rogerson D. Overreaching and overtraining in strength sports and resistance training: A scoping review. *J Sports Sci.* 2020. № 38 (16). P. 1897–1912. DOI: 10.1080/02640414.2020.1763077.

12. Bell L., Ruddock A., Maden-Wilkinson T., Rogerson D. Overreaching and overtraining in strength sports and resistance training: A scoping review. *J Sports Sci*. 2020. № 38 (16). P. 1897–1912. DOI: 10.1080/02640414.2020.1763077.

13. Bouchard C., Shephard R. J., Stephens T. *Physical activity; fitness and health* : International proceedings and consensus statement. Champaign III: Human Kinetics, 1994. 356 p.

14. Cadegiani F. A., Kater C. E. Basal Hormones and Biochemical Markers as Predictors of Overtraining Syndrome in Male Athletes: The EROS−BASAL *Study J Athl Train*. 2019. № 54 (8). P. 906–914. DOI: 10.4085/1062-6050-148-18.

15. Cadegiani F. A., Kater C. E. Hormonal aspects of overtraining syndrome: a systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2017. № 9. P. 14. DOI: 10.1186/s13102-017-0079-8.

16. Cadegiani F. A., Kater C. E. Hormonal response to a non-exercise stress test in athletes with overtraining syndrome: results from the Endocrine and metabolic Responses on Overtraining Syndrome (EROS) − EROS-

STRESS. *J Sci Med Sport.* 2018. № 21 (7). P. 648–653. DOI: 10.1016/j.jsams.2017.10.033.

17. Cardoos N. Overtraining syndrome. *Curr Sports Med Rep*. 2015. № 14 (3). P. 157–158. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000145.

18. Carfagno D. G, Hendrix J. C. 3rd. Overtraining syndrome in the athlete: current clinical practice. *Curr Sports Med Rep.* 2014. № 13 (1). P. 45–51. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000027.

19. Castro-Sepulveda M., Cancino J., Fernández-Verdejo R., Pérez-Luco C., Jannas-Vela S., Ramirez-Campillo R., Del Coso J., Zbinden-Foncea H. Basal Serum Cortisol and Testosterone/Cortisol Ratio Are Related to Rate of Na+ Lost During Exercise in Elite Soccer Players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2019. № 29 (6). P. 658–663. DOI: 10.1123/ijsnem.2019-0129.

20. Costello J. T., Baker P. R., Minett G. M., Bieuzen F., Stewart I. B., Bleakley C. Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015. № 9. CD010789. DOI: 10.1002/14651858.CD010789.pub2.

21. da Silva Vasconcelos E., Salla R. F. Resistance exercise, muscle damage and inflammatory response "what doesn't kill you makes you stronger". *MOJ Sports Medicine*. 2018. № 2 (2). P. 65–67.

22. Djaoui L., Haddad M., Chamari K., Dellal A. Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers. *Physiol Behav.* 2017. № 181. P. 86–94. DOI: 10.1016/j.physbeh.2017.09.004.

23. Durkalec-Michalski K., Jeszka J., Podgórski T. The Effect of a 12-Week Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) Supplementation on Highly-Trained Combat Sports Athletes: A Randomised, Double-Blind, Placebo-Controlled Crossover Study. *Nutrients.* 2017. № 9 (7). P. 753. DOI: 10.3390/nu9070753. Cochrane Central Register of Controlled Trials.

24. Feijen S., Tate A., Kuppens K., Barry L. A., Struyf F. Monitoring the swimmer's training load: A narrative review of monitoring strategies applied in research. *Scand J Med Sci Sports*. 2020. № 30 (11). P. 2037–2043. DOI: 10.1111/sms.13798.

25. Foster C., Rodriguez-Marroyo J. A., de Koning J.J. Monitoring Training Loads: The Past, the Present, and the Future. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017. № 12(Suppl 2). P. S22-S28. DOI: 10.1123/ijspp.2016-0388.

26. Geisler S., Aussieker T., Paldauf S., Scholz S., Kurz M., et al. Salivary testosterone and cortisol concentrations after two different resistance training exercises. *J Sports Med Phys Fitness*. 2019. № 59 (6). P. 1030–1035. DOI: 10.23736/S0022-4707.18.08786-8.

27. Gorostiaga E. M., Grandados C., Ibanez J., Gonzalez-Badillo J. J., Izquierdo M. Effects of an entire season on physical fitness changes in elite

male handball players. *Med Sci Sports Exercise*. 2006. № 38. P. 357–366. DOI: 10.1249/01.mss.0000184586.74398.03.

28. Harber M, Trappe S. Single muscle fiber contractile properties of young competitive distance runners. J Appl Physiol (1985). 2008. № 105 (2). P. 629–636. DOI: 10.1152/japplphysiol.00995.2007.

29. Hooper D. R., Tenforde A. S., Hackney A. C. Treating exercise-associated low testosterone and its related symptoms. *Phys Sportsmed*. 2018. № 46(4). P. 427–434. DOI: 10.1080/00913847.2018.1507234.

30. Hu Y. C., Chu K. F., Hwang L. Y., Lee T. H. Cortisol regulation of Na(+), K(+)-ATPase beta1 subunit transcription via the pre-receptor 11beta-hydroxysteroid dehydrogenase 1-like (11beta-Hsd1L) in gills of hypothermal freshwater milkfish, Chanos chanos. *J Steroid Biochem Mol Biol*. 2019. № 192. P. 105–381. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2019.105381.

31. Jones T. W., Howatson G., Russell M., French D. N. Effects of strength and endurance exercise order on endocrine responses to concurrent training. *Eur J Sport Sci.* 2017. № 17 (3). P. 326–334. DOI: 10.1080/17461391.2016.1236148.

32. Journeau P., Haumont T., Métaizeau J. D., Lascombes P. Overuse injuries in the young athletes. *Arch Pediatr*. 2006. № 13 (6). P. 545–548. DOI: 10.1016/j.arcped.2006.03.028.

33. Khaitin V., Bezuglov E., Lazarev A., Matveev S., Ivanova O., Maffulli N., Achkasov E. Markers of muscle damage and strength performance in professional football (soccer) players during the competitive period. *Ann Transl Med.* 2021. № 9 (2). P.113. DOI: 10.21037/atm-20-2923.

34. Kraemer W. J., Flanagan S. D., Comstock B. A., Fragala M. S., Earp J. E. Effects of a whole body compression garment on markers of recovery after a heavy resistance workout in men and women. *J Strength Cond Res*. 2010. № 24 (3). P. 804–814. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181d33025.

35. Kreher J. B., Schwartz J. B. Overtraining syndrome: a practical guide. *Sports Health*. 2012. № 4 (2). P. 128–138. DOI: 10.1177/1941738111434406

36. Lee E. C., Fragala M. S., Kavouras S. A., Queen R. M., Pryor J. L., Casa D. J. Biomarkers in Sports and Exercise: Tracking Health, Performance, and Recovery in Athletes. *J Strength Cond Res*. 2017. № 31 (10). P. 2920–2937. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002122.

37. Lehmann M., Baumgartl P., Wiesenack C., Seidel A., Baumann H. et al. Training-overtraining: influence of a defined increase in training volume vs training intensity on performance, catecholamines and some metabolic parameters in experienced middle- and long-distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992. № 64 (2). P. 169–177. DOI: 10.1007/BF00717956.

38. Machado A. F., Almeida A. C., Micheletti J. K., Vanderlei F. M., Tribst M. F., Netto Junior J. Dosages of cold-water immersion post exercise on functional and clinical responses: a randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sports*. 2017. № 27 (11). P. 1356–1363. DOI: 10.1111/sms.12734.

39. Meeusen R., Duclos M., Foster C., Fry A., Gleeson M. et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc.* 2013. № 45 (1). P. 186–205. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a.

40. Meeusen R., Nederhof E., Buyse L., Roelands B., de Schutter G., Piacentini M. F. Diagnosing overtraining in athletes using the two-bout exercise protocol. *Br J Sports Med*. 2010. № 44 (9). P. 642–648. DOI: 10.1136/bjsm.2008.049981.

41. Nelson D., Cox M. In: Fundamentals of Biochemistry Lehninger. Vol. 2: Bioenergetics and metabolism. Moscow : Binom, Knowledge Laboratory, 2014.

42. Nowakowska A., Kostrzewa-Nowak D., Buryta R., Nowak R. Blood Biomarkers of Recovery Efficiency in Soccer Players. *Int J Environ Res Public Health*. 2019. № 16 (18). P. 3279–3307. DOI: 10.3390/ijerph16 183279.

43. Palacios G., Pedrero-Chamizo R., Palacios N., Maroto-Sánchez B., Aznar S. et al. EXERNET Study Group. Biomarkers of physical activity and exercise. *Nutr Hosp*. 2015. № 31 (Suppl 3). P. 237–244. DOI: 10.3305/ nh.2015.31.sup3.8771.

44. Pasiakos S. M., Lieberman H. R., McLellan T. M. Effects of protein supplements on muscle damage, soreness and recovery of muscle function and physical performance: a systematic review. *Sports Med*. 2014. № 44 (5). P. 655–670. DOI: 10.1007/s40279-013-0137-7/

45. Patterson S., Moran P., Epel E., Sinclair E., Kemeny M. E., Deeks S. G. et al. Cortisol patterns are associated with T cell activation in HIV. *PLoS One.* 2013. № 26:8(7):e63429. DOI: 10.1371/journal.pone. 0063429.

46. Pedlar C. R., Newell J., Lewis N. A. Blood Biomarker Profiling and Monitoring for High-Performance Physiology and Nutrition: Current Perspectives, Limitations and Recommendations. *Sports Med.* 2019. № 49 (Suppl 2). P. 185–198. DOI: 10.1007/s40279-019-01158-x.

47. Petry L., Kippenberger S., Meissner M., Kleemann J., Kaufmann R. et al. Directing adipose-derived stem cells into keratinocyte-like cells: impact of medium composition and culture condition. *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 2018. № 32 (11) P. 2010–2019. DOI: 10.1111/jdv.15010.

48. Pondeljak N., Lugović-Mihić L. Stress-induced Interaction of Skin Immune Cells, Hormones, and Neurotransmitters. *Clin Ther*. 2020. № 42 (5). P. 757–770. DOI: 10.1016/j.clinthera.2020.03.008.

49. Raeder C., Wiewelhove T., Simola R. Á., Kellmann M., Meyer T. et al. Assessment of Fatigue and Recovery in Male and Female Athletes After 6 Days of Intensified Strength Training. J Strength Cond Res. 2016. № 30 (12). P. 3412–3427. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001427.

50. Richardson S. O., Anderson M. B., Morris T. Overtraining Athletes: *Personal Journeys in Sport*. Human Kinetics, 2008. 205 p.

51. Rodrigues B. M., Dantas E., de Salles B. F., Miranda H., Koch A. J. et al. Creatine kinase and lactate dehydrogenase responses after upper-body resistance exercise with different rest intervals. *J Strength Cond Res*. 2010. № 24 (6). P. 1657–1662. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181d8e6b1.

52. Stellingwerff T., Heikura I. A., Meeusen R., Bermon S., Seiler S., Mountjoy M. L., Burke L. M. Overtraining Syndrome (OTS) and Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): Shared Pathways, Symptoms and Complexities. *Sports Med*. 2021. № 51 (11). P. 2251–2280. DOI: 10.1007/s40 279-021-01491-0.

53. Van Hooren B., Peake J M. Do We Need a Cool-Down After Exercise? A Narrative Review of the Psychophysiological Effects and the Effects on Performance, Injuries and the Long-Term Adaptive Response. *Sports Med*. 2018. № 48 (7). P. 1575–1595. DOI: 10.1007/s40279-018-0916-2.

54. Vanrenterghem J., Nedergaard N. J., Robinson M. A., Drust B. Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. *Sports Med*. 2017. № 47 (11). P. 2135–2142. DOI: 10.1007/s40279-017-0714-2.

55. Walters B. K., Read C. R., Estes A. R. The effects of resistance training, overtraining, and early specialization on youth athlete injury and development. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018. № 58 (9). P. 1339–1348. DOI: 10.23736/S0022-4707.17.07409-6.

56. Weerapong P., Hume P. A., Kolt G. S. The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Med*. 2005. № 35 (3). P. 235–256. DOI: 10.2165/00007256-200535030-00004.

Information about the author:
Gunina Larisa Mykhailivna,
Doctor of Biology, Professor,
Deputy Director for Scientific & Pedagogical Work
of the Olympic Institute
National University of Physical Education and Sports of Ukraine
15A, av. Golosiivsky, Kyiv, 03039, Ukraine