

Есенціальний мікроелемент селен (Se) та його роль у метаболізмі спортсменів під час виконання інтенсивних фізичних навантажень (огляд спеціальної літератури)

УДК 796.015.11-055.206

Л. М. Путро, Д. М. Котко, Н. Л. Гончарук

Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

Резюме. У зв'язку з поставленою метою проведено системний аналіз вітчизняної та зарубіжної літератури, яка відображає роль мікроелемента селен у забезпеченні підготовки спортсменів під час виконання інтенсивних фізичних навантажень. *Мета.* Провести системний аналіз спеціальної літератури, яка відображає роль мікроелемента селен у реалізації метаболічних процесів в організмі спортсменів під час виконання інтенсивних фізичних навантажень. *Методи.* Аналіз науково-методичної літератури, клінічних і експериментальних досліджень. *Результати.* Аналіз спеціальної науково-методичної літератури (зарубіжні та вітчизняні джерела) свідчить про високий ризик дисбалансу есенціального мікроелемента селен, що обумовлює необхідність корекції його обміну в організмі спортсмена. Корекція балансу селену в організмі передовсім повинна проводитися безпосередньо під час складання харчових раціонів спортсмена, а вживання селенових препаратів слід проводити на основі відповідного оцінювання забезпеченості організму цим елементом та іншими есенціальними мікроелементами.

Ключові слова: есенціальний, мікроелемент селен, метаболізм, спортсмени.

The essential trace element selenium (Se) and its role in the metabolism of athletes during intensive physical loads (review of special literature)

L. M. Putro, O. I. Tsyganenko, D. M. Kotko, N. L. Honcharuk

National University of Physical Education and Sport of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. A systematic analysis of national and foreign literature, which reflects the role of the trace element selenium in supporting preparation of athletes during intensive physical loads was conducted. *Objective.* Conduct a systematic analysis of special literature that reflects the role of the trace element selenium in the metabolic processes occurring in the body of athletes during intensive physical loads. *Methods.* Analysis of scientific and methodological literature, clinical and experimental studies. *Results.* Analysis of special scientific and methodological literature (foreign and national sources) indicates a high risk of imbalance of the essential trace element selenium, which necessitates the correction of its metabolism in the body of an athlete. Correction of selenium balance in the body should first be carried out directly during the preparation of the athlete's diet, whereas the use of selenium drugs should be carried out on the basis of appropriate assessment of the body's supply of this and other essential trace elements.

Keywords: essential, trace element selenium, metabolism, athletes.

Постановка проблеми. Відомо, що в умовах інтенсивних фізичних навантажень організм спортсмена потребує збільшеного надходження макронутрієнтів з їжею для забезпечення адекватною кількістю енергії, а також пластичних процесів [2, 4]. Особливе значення має вміст у раціоні спортсменів мікронутрієнтів, таких як вітаміни, макро- і мікроелементи. Мікроелементи (залізо, селен, кобальт, цинк, хром) відіграють суттєву роль в реалізації біологічних функцій організму, беручи участь у метаболізмі кістково-м'язової, імунної, нервової, ендокринної та інших систем [3, 7]. У зв'язку з очевидною роллю мікроелементів у підтриманні функціональних резервів організму на фоні інтенсивних фізичних навантажень, дослідження взаємозв'язку між обміном мікроелементів та фізичним навантаженням є актуальним питанням спортивної медицини.

Досягнення високих спортивних результатів неможливе без підтримання здоров'я спортсменів, особливо враховуючи необхідність надмірних фізичних навантажень, що зазвичай є нефізіологічними та негативно впливають на їхнє здоров'я. Безумовно, одним з основних інструментів підтримання здоров'я спортсмена є організація його раціонально сбалансованого харчування [5–7].

У контексті даної роботи ми акцентуємо увагу на значенні мікроелемента селен, який має високий антиоксидантний потенціал у реалізації метаболічних процесів в організмі спортсменів під час виконання інтенсивних фізичних навантажень.

Мета дослідження — провести системний аналіз спеціальної літератури та інших джерел інформації, які відображають роль мікроелемента селен у реалізації метаболічних процесів в організмі спортсменів з інтенсивними фізичними навантаженнями.

Методи дослідження: системний аналіз вітчизняної та зарубіжної літератури, що стосується ролі мікроелемента селен у забезпеченні підготовки спортсменів, які виконують інтенсивні фізичні навантаження.

Результати дослідження та їх обговорення. Селен є есенціальним мікроелементом-металоїдом, відкритим Берцеліусом у 1817 р. [8]. У зв'язку з цим 2017 р. оголошено роком 200-річчя селена в біології та медицині, що ознаменовано найбільшою міжнародною науково-практичною конференцією «Se 2017 — 200 Years of Selenium Research», що відбулася в Стокгольмі (Швеція). Такий великий інтерес до вивчення селену пов'язаний з широким спектром біологічних функцій цього мікроелемента.

ТАБЛИЦЯ 1 – Процентний внесок продуктів харчування в загальний рівень селену в раціоні, а також основні його форми [14]

Продукт	% від Se дієти	Форма	% від Se продукту
Хліб і зернові	26	Селенометіонін Селеноцистеїн Селенат/Селеніт	55–85 4–12 12–19
М'ясні продукти	26	Селенометіонін Селеноцистин	50–60 20–34
Молочні продукти	21	Селеноцистеїн Селеніт	–
Риба	10	Селенометіонін Селенат/Селеніт	29–70 12–45
Фрукти і овочі	7	Незбагачені (часник) Селенометіонін γ-глутаміл-Se-метил-селеноцистеїн Se-метилселеноцистеїн Селенат Збагачені (часник) γ-глутаміл-Se-метил-селеноцистеїн Селенометіонін Se-метилселеноцистеїн Селен	53 31 12 4 73 13 3 2
Яйця	4	Селенометіонін Селеноцистин	~ 50 ~ 50
Інші джерела	6	–	–

Основним джерелом селену є їжа, тоді як роль питної води незначна. Продукти харчування є основним джерелом, яке визначає забезпеченість організму цим мікроелементом [1, 3, 14]. Вміст, структура і форми селену представлені в таблиці 1.

Вживання селену з їжею суттєво варіює залежно від регіону проживання.

Мінімальною добовою дозою селену прийнято вважати мінімальну кількість мікроелемента, що запобігає розвитку клінічного прояву дефіциту селену — хвороби Кешана ($20 \text{ мкг} \cdot \text{доба}^{-1}$). Оцінка рекомендованих добових норм базується на визначенні кількості селену, необхідного для досягнення певних цільових показників, таких як оптимальна активність селенопротеїнів: глутатіонпероксидази (ГПО) і селенопротеїну Р ($45\text{--}50 \text{ мкг} \cdot \text{доба}^{-1}$) і дейодиназ ($30 \text{ мкг} \cdot \text{доба}^{-1}$) [11, 21].

Після надходження в організм сполуки включаються в різні метаболічні процеси і взаємоперетворення. Всмоктування відбувається в основному в нижніх відділах тонкої кишки за допомогою механізмів, характерних для аналогічних сірковмісних сполук. Воно здійснюється парацелюлярним шляхом за допомогою пасивної дифузії [9], тоді як селенометіонін і селеноцистеїн всмоктуються трансцелюлярно, причому

транспортерами служать білки, які здійснюють перенесення метіоніну і цистеїну [12].

Абсорбовані в шлунково-кишковому тракті сполуки селену потрапляють у кровотік і надходять передовсім у печінку, причому механізми транспорту різні. Так, селенометіонін транспортується разом з альбуміном [13], тоді як інші сполуки можуть транспортуватися самостійно. У ряді робіт [15, 20] показано, що саме печінка є основним органом, який регулює обмін селену. Зокрема, саме в гепатоцитах визначаються основні напрями подальшої долі селену в організмі: формування екскретованих метаболітів або ж біосинтез селенопротеїнів та інших біологічно активних сполук селену. В гепатоцитах відбувається синтез селенопротеїну Р (SeIP) з його подальшим виділенням у системний кровотік. Цей білок виконує функцію доставки селену до органів і тканин, де він може бути використаний для синтезу інших компонентів селенопротеїнів [14, 15].

Селен бере участь в ряді метаболічних процесів завдяки структурній ролі в різних селенопротеїнах. Однією з основних функцій селену є підтримання редокс-гомеостазу клітин і організму як безпосередньо за рахунок антиоксидантної активності його сполук, так і опосередковано через антиоксидантні селенопротеїни [6, 17]. Крім опосередкованого антиоксидантного ефекту, було продемонстровано антиоксидантну й антирадикальну активність окремих сполук селену. Найбільш вивченими є такі селенопротеїни: дейодинази і селенопротеїни Р.

Дейодинази. Сімейство селенопротеїнів (Діо 1-3), яке здійснює дейодування тиреоїдних гормонів, таким чином підвищуючи або знижуючи їх метаболічну активність (Т4 і Т3 відповідно) [17], що свідчить про значущість ролі селену у функціонуванні щитоподібної залози. Було продемонстровано асоціацію між порушенням обміну селену і дисфункцією щитоподібної залози. Показано, що застосування оптимальних доз цього мікроелемента підвищує ефективність лікування тиреоїдної патології [12].

Селенопротеїн Р. Є транспортною формою селену в організмі, доставляючи його з печінки до тканин — м'язам, таким чином займаючи ключове місце в регуляції гомеостазу селену в організмі. Крім транспортної функції, селенопротеїн Р має високий антиоксидантний потенціал [10, 11].

У зв'язку з широким спектром біологічної дії селену дефіцит цього мікроелемента був асоційований з онкологічними захворюваннями різної локалізації, серцево-судинними захворюваннями, ендокринною патологією, безпліддям і порушенням імунної системи [15, 16].

Зміна рівня селену у відповідь на фізичне навантаження. У ряді робіт [12, 13] було показано, що під час обстеження чоловіків, які займаються футболом і тренуються з різною інтенсивністю, максимальне фізичне навантаження викликало достовірне 70 % зниження сироваткової концентрації селену порівняно з вихідними показниками ($89,44 \pm 5,52$ vs $83,33 \pm 5,18$ нг · мл⁻¹, $p < 0,05$), тоді як у осіб з середньою і низькою інтенсивністю тренування достовірних відмінностей виявлено не було. Слід також зазначити, що в даній групі чоловіків концентрація селену в сироватці крові негативно корелювала з частотою серцевих скорочень [21]. Показано, що тижневий тренувальний цикл у баскетболістів призводив до достовірного зниження рівня селену в сироватці крові на 16 % порівняно з вихідними значеннями (за тиждень до тренування). Разом з тим відновлення тренувань супроводжувалося деяким збільшенням сироваткової концентрації Se, при цьому практично досягаючи вихідних значень [22].

Проте в ряді робіт не виявлено значних змін селену в сироватці крові на фоні фізичного навантаження. Так, серійне фізичне навантаження не приводило до достовірного збільшення після його завершення. Через 25 і 60 хв після завершення м'язової роботи рівень селену характеризувався достовірним ($p < 0,001$) збільшенням порівняно з вихідним рівнем на 23 і 56 % відповідно [16, 17].

Деякі учені [14, 18] припускають, що зниження рівня селену у відповідь на інтенсивне фізичне навантаження може бути одним із проявів гострофазової реакції. При цьому селен є регулятором NF- κ B, у зв'язку з чим зниження його рівня в ході реакції гострої фази призводить до збільшення продукції С-реактивного білка. Таким чином, дефіцит селену здатний підсилювати прояви запалення в організмі після інтенсивної фізичної роботи, що може істотно обмежувати робоздатність спортсмена.

Проведені експериментальні дослідження показали, що зміна рівня селену під впливом фізичного навантаження варіює залежно від конкретної тканини. Так, у тварин, які піддаються фізичному навантаженню у вигляді бігу на тредмілі, відмічалось достовірне зниження селену в скелетному м'язі (-8 %), міокарді (-29 %), а також у паренхімі нирок (-20 %), тоді як у печінці його рівень лише мав тенденцію до зниження [6, 22]. Одночасно на фоні зниження вмісту мікроелемента у внутрішніх органах було виявлено практично дворазове збільшення його концентрації в сироватці крові і достовірне (13 %)

підвищення в шерсті тварин порівняно з контрольними значеннями [20].

Враховуючи особливу роль селену у функціонуванні антиоксидантної системи організму в експериментальних дослідженнях, проводили вивчення впливу введення цього мікроелемента на вираженість окиснювального стресу й активність антиоксидантних ферментів на тлі фізичного навантаження. Так, виснажливе фізичне навантаження у тварин з дефіцитом селену і вітаміну Е (токоферолу) призводило до достовірного збільшення інтенсивності генерації вільних радикалів у легеневій тканині. У той самий час застосування його і токоферолу запобігало подібному збільшенню [19]. Поряд з цим деякі дослідження не виявили істотного впливу застосування селену на антиоксидантний статус тварин і на інтенсивність перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) на тлі виснажливого фізичного навантаження плаванням, хоча застосування його призводило до підвищення активності глутатіонпероксидази (ГПО) [18].

Враховуючи тісний зв'язок між окиснювальним стресом і запаленням, вивчення впливу введення селену на інтенсивність запальної реакції має особливий інтерес. Було показано, що додаткове введення в раціон 1 мкг дифенілселеніду на фоні фізичного навантаження плаванням ($20 \text{ хв} \cdot \text{доба}^{-1}$) протягом чотирьох тижнів призводило до достовірного підвищення рівня протизапальних цитокінів (ІЛ-1В, ІЛ-6, ФНО γ) як у особин середнього віку (12 міс), так і старих (24 міс) тварин [7].

Результати клінічних досліджень ефектів селену в організмі спортсменів чітко показали вплив прийому даного мікроелемента на інтенсивність окисного стресу й активність антиоксидантних ферментів. Так, застосування біологічно активної добавки, яка містить селен і групу вітамінів А, С, Е, на тлі нормального інтенсивного фізичного навантаження сприяло підвищенню активності сукцинатоксидегідрогенази (СОД), а також глутатіонпероксидази (ГПО) після нормального і надмірного навантаження, поряд зі зниженням активності креатинкінази [19].

В умовах інтенсивних фізичних навантажень істотно підвищується потреба в селені, що пов'язано з необхідністю адаптації до розвитку окиснювального стресу за рахунок синтезу ГПО і, можливо, активації інших механізмів антиоксидантного захисту [9]. Цей процес, який забезпечує протективний ефект селену, представлено на рисунку 1.

Показано, що застосування препарату «Селенактив» на тлі тренувального процесу супроводжувалося більш вираженим збільшенням

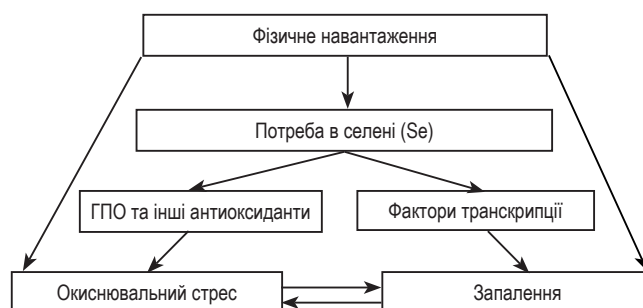


Рисунок 1 – Потенційні механізми, що забезпечують протективний ефект селену при інтенсивному фізичному навантаженні [9]

інтегральних показників, що відображають фізіологічний стан організму, таких як коронарореспіраторний індекс Самко (КРІС), а також станова сила порівняно з відповідними значеннями в осіб, які не отримували селеновмісний препарат на фоні інтенсивного фізичного навантаження [1, 3]. Більше того, вживання селеновмісної добавки студентами, які проживають на селенодефіцитних територіях та мають високий ризик розвитку селенодефіциту, сприяло достовірному збільшенню фізичної працездатності порівняно з контрольними обстежуваними [1, 5].

У зв'язку з очевидною роллю мікронутрієнтів і, зокрема, мікроелемента селен для підтримання функціональних резервів організму спортсмена на тлі інтенсивних фізичних навантажень, дослідження взаємозв'язку між обміном мікроелементів і фізичним навантаженням є предметом численних фундаментальних і прикладних робіт.

Висновки. Узагальнюючи аналіз клінічних та експериментальних досліджень, проведених вітчизняними і зарубіжними фахівцями, можемо констатувати, що спортсмени характеризуються високим ризиком дисбалансу селену, що зумовлює необхідність корекції обміну даного мікроелемента в організмі спортсмена. У зв'язку з цим оптимальна забезпеченість організму спортсменів селеном може підвищити його функціональні резерви шляхом впливу на різні механізми метаболізму. Проте корекція балансу селену в організмі спортсменів повинна проводитися передовсім за допомогою складання адекватних раціонів харчування, а прийом селеновмісних препаратів слід проводити на основі відповідної оцінки забезпеченості організму цим елементом та іншими есенціальними мікроелементами.

Перспективи подальших досліджень передбачають вивчення корекції дисбалансу макро- і мікроелементів у харчових раціонах спортсменів, які виконують інтенсивні фізичні навантаження.

Література

1. Бердников ПП, Дьяченко ЮА. Эколого-физиологические аспекты применения селеновой биодобавки студентами вуза в селенодефицитной провинции [Ecological and physiological aspects of the use of selenium supplements by university students in a selenium-deficient province]. Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012; (8):105-108.
2. Волков НИ, Несен ЭН, Осипенко АА. Биохимия мышечной деятельности [Biochemistry of muscle activity]. Киев: Олимпийская лит. 2001. 502 с.
3. Голубкина НА, Скальный АВ, Соколов Я.А. Селен в медицине и экологии [Selenium in medicine and ecology]. Москва: Издательство КМК. 2012. 134 с.
4. Гонський ЯІ, Максимчук ТП. Біохімія людини [Human biochemistry]. Тернопіль: ТДМУ, 2019. 732 с.
5. Дуденко НВ, Павлоцька ЛФ, Лазарева ТА. Нутріціологія: навч. посібник. [Nutritiology: a textbook]. Харків. 2016. 560 с.
6. Скальный АВ. Физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в спорте [Physiological aspects of the use of macro- and microelements in sports]. ЦПК ГОУ. Оренбург. 2005. 210 с.
7. Скальный АВ, Зайцева ЦП, Тиньков АА. Микроэлементы и спорт [Microelements and sports]. Sport. 2018. 285 с.
8. Arner ES. History of selenium research in Selenium (pp.1-19). Springer New York. 2011.
9. Baltaci AK, Mogulko RJ, Akil M. Selenium: Its metabolism and relation to exercise. Pakistan Journal of pharmaceutical Sciences. 2016. 29(5): 1719-1735.
10. Braun H, Kochler K, Geyer H, Mester J. Dietary supplement use among elite young German athletes. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 2009. 19(1): 97-109.
11. Burk RF, Hille KE. Selenoprotein P: an extracellular protein with unique physical characteristics and a role in selenium homeostasis Annu. Rev. Nutr. 2005; 25: 215-235.
12. Drutel A, Garon P. Selenium and the thyroid gland: more news for clinicians. Clinical endocrinology. 2019; 78(2), 155-164.
13. Emre MH, Diizova H, Sancak B. Serum selenium response to maximal anaerobic exercise among sportsmen trained at various levels. The journal of Trace Elements in Experimental Medicine. 2004; 17(2): 90-100.
14. Fairweather-Tait SJ, Bao Y, Broadley MR, Ford D. Selenium in human health and disease, Antioxidants and redox signaling. 2011; 14(7): 13-1387.
15. Fordyce FM. Selenium deficiency and toxicity in the environment. In Essentials of medical geology. 2013: 375-416.
16. Ghaffari-Niaki A, Taibi M. Serum Selenium Lipoproteins and Testosterone Re Responses. College Students. The International journal of Humanities. 2007; 14(3): 89-98.
17. Köhrle J. Selenium and the thyroid. Current Opinion in Endocrinology, Diabetes and Obesity. 2015. 22(5): 392-401.
18. Lee BC, Gladyshev VN. The biological significance of methionine sulfide stereochemistry. Free Radical Biology and Medicine. 2011; 50(2): 221-227.
19. Palazzetti S, Rousseau AS, Richard MJ. Antioxidant supplementation preserves antioxidant response in physical training and low antioxidant intake. British Journal of nutrition. 91(01): 91-100.
20. Schweizer U, Schomburg L, Köhele J. Selenoprotein P and Selenium Distribution in Mammals. In Selenium. Springer International Publishing. 2016: 261-274.
21. Thomson CD. Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review. European journal of clinical nutrition. 2004. 58(3): 391-402.
22. Wang L, Zhang J, Wang JL. Effects of high intensity training and resumed training on macroelement and microelement of elite Basketball athletes. Biological trace element research. 2012; 149(2): 148-154.

sportmedkafedra@gmail.com
Kotko_dina@ukr.net
ngoncharuk03@gmail.com

Надійшла 12.10.2020