

МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПІДГОТОВКИ СПОРТСМЕНІВ

DOI: 10.26693/jmbs03.03.247
УДК 341.735.-613.2:796.615.577

Винничук Ю. Д.

МИНЕРАЛЫ КАК ИММУНОНУТРИЕНТЫ В ПРАКТИКЕ ПОДГОТОВКИ СПОРТСМЕНОВ

Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Киев, Украина

vinnichukju@gmail.com

В обзорной статье рассмотрена возможность профилактики и лечения вторичных иммунодефицитов с помощью препаратов минералов в практике подготовки спортсменов, поскольку иммунодефициты помимо нарушений иммунных параметров характеризуются нехваткой необходимых пищевых пластических веществ, включая минеральные вещества, витамины, микроэлементы. Дана характеристика биологических свойств цинка, железа, магния, селена, йода как важнейших микронутриентов, принимающих участие в реакциях иммунной защиты спортсменов высокой квалификации, а также их роль в сохранении здоровья и спортивной результативности. Освещена симптоматика недостаточности указанных минералов и их необходимые суточные дозы для спортсменов. Показан неоднозначный характер влияния макро- и микроэлементов на иммунный ответ при необоснованном употреблении высоких доз минералов. Представлены препараты отдельных минералов, витаминно-минеральные комплексы, диетические добавки и принципы их использования в условиях интенсивных физических нагрузок, а так диагностированных иммунодефицитных состояниях у спортсменов.

Ключевые слова: спорт высших достижений, вторичный иммунодефицит, минералы, микронутриенты.

Связь с научными работами, программами, планами, темами. Работа выполнена в рамках НИР «Технология стимуляции физической работоспособности и профилактики перенапряжения сердечно-сосудистой системы спортсменов с помощью нетоксичных эргогенных средств», № государственной регистрации 0116U002572.

Введение. Согласно современным представлениям, именно питание определяет продолжительность и качество жизни человека, создает условия для оптимального физического и умственного развития, поддерживает высокую работоспособность, повышает устойчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов. Учебно-тренировочный процесс квалифицированных спортсменов включает длительную высокоинтенсивную физическую нагрузку, которая сопровождается напряженностью обменных процессов, увеличением расходов энергии, витаминов и минералов. Потери биоактивных элементов приводят к нарушению гомеостаза, что в свою очередь лимитирует жизненно важные функции организма спортсмена. Витамины, макро- и микроэлементы, аминокислоты, жирные кислоты занимают первостепенное место в профилактике иммунодефицитов у спортсменов (препараты экстраиммунного типа, метаболической группы) и именуются как «иммунонутриенты» [20, 32, 39].

Известно, что неорганические ионы особенно востребованы иммунной системой, так как большая часть составляющих ее компонентов не может полноценно выполнять свои функции без активной работы ферментативных систем [1]. Большинство микро- и макроэлементов входят в состав биологически активных веществ (ферментов, гормонов, витаминов и др.), участвуют во всех процессах в организме человека в качестве кофакторов или катализаторов ферментов свободно-радикального окисления [12, 21]. Поэтому, достаточный минеральный запас – залог полноценного функционирования иммунной системы. Микроэлементы (селен,

медь, цинк) с антиоксидантным действием противодействуют повреждению клеток и тканей, вызванному реактивными формами кислорода (O[•]) [33], модулируют функции иммунной системы за счет регуляции чувствительных к окислительно-восстановительным процессам факторов транскрипции, влияют на продукцию цитокинов и простагландинов. Адекватное потребление селена, цинка, меди и железа поддерживает Th1-опосредованный иммунный ответ, что снижает риск внеклеточных инфекций. Минералы проявляют защитные свойства, поддерживая барьерные функции кожи, слизистых оболочек, участвуют в реакции клеточного иммунитета и продукции антител. При этом, железо, цинк, медь и селен работают в синергии с витаминами А, В₆, В₁₂, С, D, Е [37].

На сегодняшний день выделяют следующие механизмы действия минералов в отношении иммунной системы [21]:

1. Влияние на специфические рецепторы (железо, цинк, марганец, селен, алюминий, ртуть, хром, никель и др.).

2. Влияние на активность ферментов: а) в составе каталитического центра ферментов (марганец – супероксиддисмутаза иммуноцитов, селен – глутатионпероксидаза, цинк – важная часть белков, регулирующих уровень транскрипции других внутриклеточных белков); б) через участие в конкурентном ингибировании или активации металлоэнзимов (цинк – конкурентный ингибитор кальций-магний зависимой эндонуклеазы, что определило его ведущую роль в иммунной системе как антиапоптотического фактора).

3. Влияние на активность гормонов: а) как составная часть гормонов (цинк – компонент тимозина, реализующего эффекты тимуса на Т-клеточное звено иммунной системы); б) через влияние на депонирование гормонов (цинк, хром участвуют в депонировании и стабилизации молекулы инсулина, оказывающего мультимодулирующее воздействие на все инсулинозависимые клетки организма, в том числе иммуноциты; цинк обеспечивает внутриклеточное депонирование и стабилизацию гормонов нейрогипофиза); в) через участие в синтезе гормонов (железосодержащие системы цитохрома Р-450 – в синтезе стероидных гормонов надпочечников, желтого тела и гонад; железо-, медь-содержащие ферменты – в синтезе тироидных гормонов); г) через участие в деградации и элиминации гормонов (например, ангиотензин-превращающий фермент – цинк-зависимый); д) через участие в механизме действия гормонов (марганец – кофактор ключевого переносчика аденилатциклазы, играющей промежуточную роль в трансдукции гормонального сигнала, цинк –

структурный компонент ядерных рецепторов тироидных гормонов).

4. Влияние на белки-переносчики: а) альбумины; б) металлотионеины, которые синтезируются в моноклеарных клетках ретикуло-эндотелиальной системы организма; в) трансферрин, выполняющий функцию переноса железа во все зависимые клетки, в т.ч. иммуноциты; г) белки теплового шока – универсальные белки, синтезируемые в клетках в ответ на стрессорные воздействия (в т.ч. и на действие тяжелых металлов); д) церулоплазмин (переносчик меди), играющий определенную роль в регуляции клеточного иммунитета.

5. Физико-химическое действие минералов на мембраны иммуноцитов через посредничество ферментативных и неферментативных механизмов системы перекисного окисления липидов – антиоксидантная защита (селен, медь, цинк, марганец, железо).

6. Воздействие на презентацию, внутриклеточный процессинг и деградацию антигенов (через влияние на соответствующие рецепторы).

7. Влияние на формирование иммунологической памяти (цинк, селен и др.).

8. Воздействие на продукцию иммуноглобулинов (цинк, бериллий).

9. Влияние на процессы хемотаксиса, адгезии и фагоцитоза (марганец, ртуть, цинк).

Таким образом, витаминно-минеральная насыщенность организма может служить критерием донозологической диагностики здоровья спортсменов, что в свою очередь определяет их профессиональную надежность [17].

Микро- и макроэлементы имеют исключительно экзогенное происхождение, и единственным их источником является пища, поскольку сам организм не способен к их синтезу. К сожалению, большинство спортсменов и тренеров не всегда принимают во внимание рациональные основы питания, поскольку жизненно важные процессы нарушаются не только при недостатке, но и при избытке или дисбалансе минералов [38].

Основными минералами, влияющими на функционирование иммунной системы, являются: железо, цинк, магний, марганец, медь, молибден, ванадий, никель, бор, фтор, кобальт [1]. Многие из них относят к эссенциальным (незаменимым) элементам, регулярное поступление которых в организм абсолютно необходимо (табл.).

В периоды интенсивных физических нагрузок характерен отрицательный баланс минералов, так как повышенная экскреция через кишечник и почки превышает их поступление на 24-56% [4, 38]. Величина потерь зависит от направленности и интенсивности физических нагрузок, индивидуального

Таблиця – Современная классификация минералов [1]

<i>По жизненной необходимости</i>	
Эссенциальные	Fe, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Se, Mn
Условно-эссенциальные	As, B, Br, F, Li, Ni, V, Si
Токсичные	Al, Cd, Pb, Hg, Be, Ba, Vi, Tl
Потенциально токсичные	Ge, Au, In, Rb, Ag, Tl, U, W, Sn, Zr и др.
<i>По иммуномодулирующему эффекту</i>	
Эссенциальные для иммунной системы	Fe, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Se, Mn, Li
Имунотоксичные	Al, As, B, Ni, Cd, Pb, Hg, Be, Vi, Tl, Ge, Au, Sn и др.

состояния, и главное, от состояния питания спортсмена [41]. Поэтому вопрос о роли микро- и макроэлементов в формировании иммунных реакций имеет чрезвычайную важность с позиций использования их в комплексе иммунопрофилактики и иммунотерапии [10]. Наиболее способствует развитию вторичного иммунодефицита у спортсменов дефицит цинка, железа и магния [31, 36].

Цинк наиболее изученный и один из важнейших микроэлементов для иммунной системы спортсмена, так как незаменим для любого звена иммунитета. Минерал является компонентом гормона тимуса, входит в состав Т-клеточных рецепторов (CD3⁺, CD5⁺), рецепторов иммуноглобулинов, некоторых цитокинов и главного комплекса гистосовместимости I и II классов. Цинк стимулирует внутри тимусное развитие Т-клеток, дифференцировку В-лимфоцитов в иммуноглобулин-секретирующие клетки, созревание CD4⁺ и CD8⁺ клеток в культуре *in vitro*, нормализует соотношение основных субпопуляций Т-хелперов, индуцирует синтез интерферона, защищает клетки от апоптоза, может модулировать активность естественных киллеров и участвовать в кальций-зависимых процессах (клеточной активации) [1, 10, 21], активирует систему комплемента [7]. Продукция защитных антител особенно эффективно осуществляется при сочетании цинка с витамином А, поэтому считается, что это эссенциальная (жизненно необходимая) комбинация для иммунной системы [2].

Характерными признаками дефицита цинка являются атрофия тимуса и потеря предшественников Т- и В-лимфоцитов в костном мозге за счет индукции глюкокортикоид-зависимого апоптоза с последующей лимфопенией и иммунодефицитом. Недостаток цинка приводит к ингибированию Th1-ответа иммунной системы (за счет снижения продукции интерферона-γ (IFNγ), фактора некроза опухоли-α (TNFα), интерлейкина-2 при сохранении напряжения синтеза интерлейкина-4, -6, -10 мононуклеарными клетками), угнетению активности

натуральных (NK) и лимфокин-активированных киллеров (LAK-клеток), а также снижению митоген-зависимой пролиферации лимфоцитов, что способствует развитию аутоиммунной патологии [1, 15]. При дефиците минерала нарушается также активность естественного супрессора аутоиммунных процессов простагландина E и снижается активность молекул главного комплекса гистосовместимости [10].

Дефицит развивается при любых инфекционных и паразитарных заболеваниях, атеросклерозе, артериальной гипертензии, бронхиальной астме и хронических заболеваниях легких, печени, суставов. Этот элемент служит важнейшим промотором противоопухолевого иммунитета, и его недостаток может вызывать развитие болезни Ходжкина, лимфомы и др. [21].

В организме цинк служит составной частью более 80-ти ферментов, необходим для образования эритроцитов и других форменных элементов крови [5]. Катализирует ферменты свободнорадикального окисления лимфоцитов, а также синтез протеазы, участвующей в пролиферации вируса первичного иммунодефицита человека. Входит в состав «zinc-finger protein» (белки, относящиеся к классу факторов транскрипции) и металлотионеина (семейство низкомолекулярных белков с высоким содержанием цистеина, участвуют в защите от интоксикации тяжёлыми металлами, обеспечивают защиту от окислительного стресса) [15]. Оказывает выраженное влияние на гормональный статус организма спортсмена, повышает анаболический потенциал (увеличивает продукцию андрогенов и инсулина). Рецептор глюкокортикоидов является цинксодержащим белком, что способствует улучшению нейроэндокринного взаимодействия [4, 8].

Считается, что цинк имеет функции антиоксиданта и способствует действию других соединений с антиоксидантной активностью [31]. Способен корригировать адаптационные механизмы при гипоксемических состояниях, увеличивая емкостные и транспортные способности гемоглобина по отношению к кислороду [5]. Минерал выступает также как активатор ряда ферментов, входит в состав энзимов первого уровня защиты от перекисного окисления липидов, обладает мембраностабилизирующим действием. Физиологические дозы цинка (7×10⁶ моль) угнетают выделение гистамина из базофилов и тучных клеток, что связано с его стабилизирующим действием на мембраны клеток при различных аллергических реакциях [21]. Кроме того элемент участвует в биосинтезе белка, нуклеиновых кислот [4]. Пролиферативная активность влияния цинка положительно сказывается на заживлении ран, трофических и инфекционных язв [7].

Дефицит цинка у спортсменів знижує фізичну работоспособність (входить в ряд ферментів, що беруть участь в енергетичному метаболізмі), підвищує ризик інфекційних і респіраторних захворювань, алергії, запальних захворювань (знижується активність натуральних киллерів, розвивається Т-клітинний дефіцит) [32]. Недостаток відзначено у осіб з atopічним і гіперкератотичним дерматитом, важко заживаючими ранами. Гіпоцинкоз проявляється також порушенням координації рухів, втратою смакових і об'ємних відчуттів, порушенням сумеречного зору, емоційними порушеннями (раздражливість, депресія), діареєю, истонченням і розслабленням нігтів [4, 8]. Можливо зменшення маси тіла, виснаження, висипання на шкірі. Часто відзначається зниження рівня інсуліну, анемія, прискорене старіння [20].

Крім постійних тренувань, дефіцит цинка може розвиватися при недостатку білка в раціоні, захворюваннях нирок, системних захворюваннях сполучної тканини (склеродермія, червоний вовчак), новоутвореннях, прийомі гормональних контрацептивів, стероїдів, куріння [2, 12]. Рівень цинка можуть знижувати продукти розпаду тканин, що утворюються при стресових ситуаціях, інфекційних захворюваннях, травмах [7].

Суточна доза для дорослого фізично неактивного людини – 15-20 мг [4, 8], за думкою інших авторів, середня суточна імунізаційна доза цинку становить 15-30 мг [2]. У спортсменів потреба в цинку – 30-50 мг на добу [4]. З їжею при повноцінному змішаному харчуванні надходить приблизно 10-15 мг цинку на день, в організмі ж засвоюється близько 20%, решта виводиться через кишечник [4, 5, 12]. Токсичність цинку дуже низька, однак, дози, що перевищують рекомендовану суточну, можуть перешкодити всмоктанню міді і знизити концентрацію HDL-холестеролу [34].

На українському спортивно-фармакологічному ринку препарати, що містять цинк, це Цинкіт – драже по 3 мг і шипучі таблетки по 10 мг, Цинкретал – 28 мг; Селцинк – комбінований препарат, що містить 0,05 мг селену, 8 мг цинку, 7,2 мг бета-каротину, 35 мг вітаміну Е, 180 мг аскорбінової кислоти; а також полівітаміни.

Магній необхідний для запобігання інволюції тимуса; нормального функціонування Т- і В-кліток; здійснення міжклітинних контактів, в тому числі іммунокомпетентних клітин структурними елементами типу колагену. Доведено стимулюючий вплив цього елемента на синтез цитотоксичних антитіл [21, 29, 41], активацію системи комплементу по альтернативному

пути [4, 7]. Дефіцит підвищує чутливість організму до інфекцій, що може бути пов'язано з зменшенням кількості і функціональної активності цитотоксичних CD8⁺ лімфоцитів, а також з угнетенням гуморального відгуку (синтез IgG, IgM, IgA). Крім того, при недостатку цього елемента знижується рівень і фагоцитарна активність нейтрофілів і моноцитів крові [7, 21, 41].

Магній бере участь в багатьох фізіологічних процесах, забезпечуючи нормальну життєдіяльність організму: в синтезі ферментів (субстрат АТФ, АДФ, креатинкінази, гексокінази і др.), прямої активації ферментів, регулюванні функції клітинної мембрани (стабілізація клітинних мембран, клітинна адгезія, трансмембранний потік електролітів), антагонізмі з кальцієм (мишець скорочення/розслаблення, звільнення нейромедіаторів, збудливість провідної системи серця), в пластичних процесах (синтез і катаболізм білка, обмін нуклеїнових кислот і ліпідів) [5, 19, 41], визначаючи нормальну роботу нервової і серцево-судинної систем [20]. Важливі для метаболізму фосфор, натрій, калій, вітамін С, добре взаємодіє з вітаміном А [5].

Спортсмени піддані дефіциту мінералу в зв'язі з посиленими тривалими навантаженнями, супроводжуваними втратою магнію при пошкодженні м'язових волокон, а також значительної втратою з потом [20, 26], особливо при тренуваннях в жару і при вживанні неадекватної кількості калорій [18]. Збільшується потреба в магнії в час відповідальних змагань, при стресових ситуаціях. Втрата організмом магнію в таких ситуаціях адекватна ступеню фізичної або емоційної навантаженню [5]. Недостаток елемента виникає також при різних захворюваннях внутрішніх органів (нирок, кишечника, серця, щитовидної залози, печінки), при тривалому застосуванні великих доз діуретичних препаратів, глюкокортикостероїдів, антибіотиків [5, 19].

Дефіцит супроводжується дестабілізацією клітинних мембран, порушенням клітинної проникності іммуноцитів, зменшенням стійкості до інфекцій, хронічної втоми, погіршенням переносимості фізичних навантажень, зменшенням фізичної работоспособності [5]. Навіть при звичайних навантаженнях (низької і середньої інтенсивності) недостаток магнію супроводжується підвищеною умовною і фізичною втомою. Поскільки магній є антагоністом кальцію, в разі недостатку іонів магнію підвищується концентрація кальцію, а порушення кальцієво-магнієвого балансу в організмі сприяє

кальцифікації судів [19]. Магнієва недостачність обуславлює хаотичне розташування волокон колагена, що є основним морфологічним признаком дисплазії з'єднаної ткани [20]. Симптомами дефіциту також є м'язова слабкість, м'язові спазми і судороги, втрата апетиту, тошнота, блювота, діарея, нервозність, головний біль, ослаблення концентрації уваги, зниження слуху, підвищення артеріального тиску, схильність до утворення тромбів, порушення серцевого ритму, бронхоспазм [5, 7, 8, 19].

Суточна потреба дорослого нетренованого чоловіка – 300-400 мг [5], по даним інших авторів – 270-350 мг [8], спортсменів при інтенсивних тренуваннях – до 550 мг. Інші дослідники вважають, що необхідність в магнії у представників легкої атлетики (біг на середні, довгі і довгодовільні дистанції, спортивна ходьба на 20 і 50 км) становить 400-700 мг в сутки, у велосипедистів (гонки на шосе), лижників (довільні дистанції) – 600-800 мг [9].

Препарати, що використовуються в спортивній медицині: Магне В₆ – таблетки, що містять 48 мг магнії і 5 мг піридоксина гідрохлориду; Магнерот (дієтична добавка) – таблетки по 500 мг (магній оротата дигідрата, що відповідає 32,8 мг магнії). Протипоказанням для прийому є захворювання нирок [4]. Усвоєнню магнії в організмі заважають великі кількості фосфору, кальцію, вітаміну D. Також значно ускладнюється усвоєння макроелемента з продуктів багатих білками або жирами, тому основну роль в забезпеченні магнієм організму грають овочі, зерно, фрукти і сухофрукти [5].

Железо грає важливу роль в функціонуванні неспецифічної захисти, клітинного і місцевого імунітету. Важливість в імунних процесах визначається його роллю в транспорті електронів, кисню, в утворенні активних центрів окислювально-відновлювальних ферментів. Мінерал необхідний для функціонування фагоцитуючих клітин, натуральних киллерів, синтезу лізоциму, інтерферону, антитіл, що підвищує стійкість до бактерій, вірусів, збудників паразитарних захворювань [4, 5, 10]. Іони заліза беруть участь в системі вільнорадикального окислення в лімфоцитах і нейтрофілах, регулюють рівень мієлопероксидази (за рахунок діяльності фермента утворюються галогеносодержачі бактеріцидні метаболіти) і генерацію супероксидного аніона [15]. Так, іони заліза в організмі переносять білки сидерофіліни, до яких відносяться трансферин і лактоферин. Трансферин в невеликих кількостях синтезується

макрофагами і лімфоцитами під впливом інтерлейкінів, а наявність рецептора до трансферину на Т-лімфоцитах асоціюється з активацією проліферативного процесу, по всій ймовірності, за рахунок насичення клітин залізом. Лактоферин є основним білковим компонентом специфічних гранул нейтрофілів [10], який сприяє протіканню гідролітичних процесів і деградації патогена [11].

Біологічна цінність елемента визначається багатогранністю його функцій і незамінністю іншими металами в складних біологічних реакціях. Крім імунної захисти залізо бере участь в процесах проліферації тканин; утворення і видалення вільних радикалів, є каталізатором реакцій окиснення і гідроксилювання; входить в склад гемоглобіну, беручи участь в транспорті кисню, в склад міоглобіну – в перенесенні і забезпеченні киснем резервів в м'язах, в складі цитохромів дихальної ланки – в процесах аеробного утворення енергії во всіх клітинах організму [20].

Залізодефіцитні стани призводять до порушення функцій чотирьох найважливіших систем: кровотворення, нервової, імунної і адаптації [21]. Дефіцит виникає при його активному використанні в ферментативних реакціях, а також при порушенні функціонального стану кісткового мозку [4]. При цьому зменшується концентрація в тканинах макрофагів і гранулоцитів, знижується фагоцитоз, реакція лімфоцитів на стимуляцію антигенами і утворення антитіл, різко падає цитотоксична функція клітин-киллерів, зменшується утворення макрофагами інтерферону, вироблення цитокінів, порушується синтез секреторного компонента імуноглобуліну А в слизових оболонках носоглотки і шлунково-кишкового тракту, порушується бар'єрна функція слизових за рахунок низької активності ферментів, білків і рецепторів, в склад яких входить залізо [1, 10, 21].

Клінічні ознаки дефіциту мінералу: випадіння волос, ламкість нігтів, сухість шкіри, тріщини в кутах рота, блідість шкірних покривів. Недостаток заліза, як і дефіцит цинку, уповільнює психомоторне розвиток [15]. Довготривале протікання залізодефіцитної анемії може стати самостійною причиною розвитку вторинного імунодефіциту, супроводжується частими простудними захворюваннями і гнійничковими ураженнями шкіри [4, 8]. Дослідження останнього часу свідчать про те, що у спортсменів, спеціалізуються в різних видах спорту, що вимагають переважно прояву витривалості з тривалими аеробними і аеробно-анаеробними навантаженнями, виникають порушення

обмена железа, и это диктует необходимость проведения соответствующих обследований и фармакологической коррекции [20].

При снижении железа в сыворотке крови падает работоспособность, снижаются спортивные результаты в связи с падением кислородной емкости крови и развитием гипоксии, снижением транспорта и депонирования кислорода в мышце миоглобином, нарушением транспорта электронов в дыхательной цепи цитохромами и цитохром-оксидазой; изменением активности дегидрогеназы и сукцинат-дегидрогеназы [12, 13]. Отмечена также положительная корреляция содержания железа и витаминов В₁ с уровнем IgG у спортсменов [35].

Суточная потребность в железе у мужчин находится в пределах 8,7-10,0 мг, у женщин – 14,8-18,0 мг [4, 8, 12]. У спортсменов суточная потребность составляет, в основном, 20-35 мг, для некоторых представителей циклических видов спорта: бег на средние и длинные дистанции – 30-45 мг, бег на сверхдлинные дистанции и спортивная ходьба на 20 и 50 км – 35-45 мг; лыжный спорт (длинные дистанции) – 30-45 мг; велоспорт (гонки на шоссе) – 30-40 мг [9]. Спортсменкам необходимо учитывать потери железа за менструальный цикл (16-32 мг) и вовремя восстанавливать потери [4].

Профилактика железодефицитных состояний у спортсменов заключается в полноценном питании с потреблением достаточного количества животных белков. Усвоение железа (препаратов железа) снижается при одновременном употреблении молока, яиц, чая [3, 4, 16].

Дополнительно вводить железо в составе комплексных препаратов требуется в условиях перенапряжения, при вторичных иммунодефицитах, при снижении лабораторных показателей, таких как гемоглобин (поздний признак недостаточности железа, проявляется при третьей стадии анемии), гематокрит, сывороточное железо. Препараты, которые назначаются при недостатке – Актиферрин (34,5 мг железа, D,L-серина 35,6 мг;), Гемоферон (40 мг железа, кислоты фолиевой 0,3 мг, цианокобаламина 0,01 мг), Ферретаб (50 мг железа и 500 мкг фолиевой кислоты) и др. При достижении нормальных значений сывороточного железа прием препаратов должен быть продолжен еще не менее 8-ми недель [4]. Однако, необоснованный прием высоких доз может привести к повышенной активности свободных радикалов, приносящих вред всем клеткам организма, сопровождаться болями в желудке, поносами, запорами. Доза около 100 г опасна летальным исходом [12].

Селен – элемент, выполняющий многие защитные функции в организме, а также стимули-

рующий процессы обмена веществ [20, 23, 25]. Селен стимулирует активность естественных киллеров, повышает продукцию интерлейкина-1 и -2, потенцирует клеточный и гуморальный иммунные ответы, подавляет гиперчувствительность немедленного и замедленного типа, модулирует фагоцитарную функцию полиморфноядерных лейкоцитов, а также обеспечивает антиоксидантную защиту мембран клеток и активность ферментов, которые участвуют в метаболизме ксенобиотиков [21], чем повышает защиту от простудных и инфекционных заболеваний [4, 5], активно участвует в долговременном подавлении аутоиммунных и воспалительных реакций. Считается, что он может стать важной лекарственной добавкой при бронхиальной астме, ревматоидном артрите и др. [2]. Элемент входит в состав ряда гормонов и ферментов и, таким образом связан с деятельностью всех органов, тканей и систем; влияет на обмен железа, йода, меди [5]. Важнейшей биохимической функцией селена является участие в построении и функционировании глутатионпероксидазы, глицинредуктазы и цитохрома С – основных антиоксидантных соединений [12, 20, 23, 30]. Глутатионпероксидазы, тиоредоксинредуктазы, тиреоиддейодиназы, а также селенопротеины Р, W, Т, М, относятся к селензависимым белкам, биохимическая роль которых определяется участием в протекании окислительно-восстановительных реакций [6, 25]. Не менее важная роль селена заключается в антагонизме с тяжелыми металлами. Показано его протективное значение при накоплении в организме кадмия, ртути, ванадия [6].

Селен тесно связан с метаболизмом витамина Е, однако, по сравнению с токоферолом, соединения селена обладают большей противooksидательной активностью и действуют в очень низких концентрациях [5]. В отдельных случаях минерал может выполнять функции витамина Е, повышать выработку эндогенных антиоксидантов белковой и липидной природы; в комбинации с витаминами А и Е в значительной степени защищает организм от радиационного облучения. Селен участвует в поддержании функции щитовидной железы, репродуктивной системы, даже относительно небольшое снижение его содержания может привести к существенному снижению антистрессорной, противовоспалительной, противоопухолевой резистентности [5].

Кроме иммунодефицитов различной природы (рецидивирующие бактериальные и грибковые инфекции, которые сопровождаются нарушением антигензависимой пролиферации лимфоцитов, хемотаксиса нейтрофилов, снижением уровня IgA, IgG, IgM, продукции гормонов тимуса) [6], дефицит

минерала часто наблюдается при курении, некоторых формах ожирения, кардиомиопатиях, муковисцидозе, заболеваниях щитовидной железы, очаговой алопеции, опухолях, аутоиммунных и аллергических заболеваниях [21]. Низкое содержание селена может привести и к активации авирулентных штаммов вирусов Коксаки, инфицирование которыми приводит к развитию миокардита [1].

Недостаток элемента у спортсменов ведет к нарушению целостности клеточных мембран, значительному нарушению активности сгруппированных на них ферментов, нарушению метаболизма аминокислот и кетоновых кислот, снижению энергопродуцирующих процессов [20]. При дефиците отмечено также более тяжелое течение вирусных заболеваний; развитие сердечно-сосудистых, эндокринных, онкологических заболеваний, анемичных состояний у спортсменов; нарушение функции печени и поджелудочной железы; преждевременное старение организма, ограничение спортивного долголетия и даже уменьшения продолжительности жизни [2, 4, 5, 8].

К причинам недостаточности селена в организме помимо стресса и физических нагрузок относятся низкое содержание белков и жиров в рационе, нарушение функции печени, дисбактериоз, курение, воздействие радиации и др. [2].

Суточная потребность в селене для взрослых находится в пределах 50-150 мкг [4], по другим данным составляет 20 мкг [8], у спортсменов – 200 мкг [4]. Всемирная организация здравоохранения рекомендует суточный прием от 50 до 200 мкг [12]. Прием препарата лучше сочетать с витаминами А и Е [4, 5] или С и Е для повышения эффективности его действия [12].

Селен наиболее показан спортсменам с аллергией и очагами хронической инфекции [4]. Средняя суточная иммунопрофилактическая доза селена по международным нормам составляет 100-200 мкг, превышать которую, не рекомендуется [2], так как поступление в больших количествах не безопасно – токсическое действие проявляется в дозах 1000-1200 мкг, что может сопровождаться поражением ногтей, волос, кожи, развитием астеноневротического синдрома (неврастении) [4]. Доза более 2 500 мкг (25 мг) приводит к рвоте, боли в животе, выпадению волос [30]. Селен входит в состав препаратов Неоселен (Биоселен), Три-Ви Плюс, Антиоксидантный комплекс, Селцинк.

Йод играет значительную роль в адаптации организма к нагрузкам и работе иммунной системы [4]. Общеизвестно, что йод выполняет свою биологическую роль в организме как составная часть тиреоидных гормонов, посредством которых осуществляется регуляция всех видов обмена ве-

ществ, психического и физического развития, репродуктивной функции, поддержание иммунитета [24, 42]. Известно также, что иммунная система находится под контролем нейроэндокринной регуляции, среди элементов которой одно из ведущих мест занимают гормоны щитовидной железы. В экспериментах *in vivo* и *in vitro* установлено, что трийодтиронин и тироксин способны изменять реакции как адаптивного, так и врожденного иммунитета. Показано их стимулирующее действие на антителогенез и реакцию гиперчувствительности замедленного типа [22]. До 80% йода концентрируется в щитовидной железе, однако клетки иммунной системы также используют этот элемент. Так, нейтрофилы осуществляют хемотаксис и бактерицидное действие с помощью йодидов и оксидидов (активность внутриклеточной миелопероксидазы). Установлено, что спектр лейкоцитов периферической крови, уровень иммуноглобулинов, С3 и С4 компонентов комплемента, ряд белков острой фазы и их микрогетерогенность (гетерогенный характер углеводных остатков гликопротеинов – большинства белков острой фазы, формирующий в процессе гликозилирования) с высокой достоверностью зависят от йодной обеспеченности организма [14, 42].

Нехватка йода связана с поражением многих органов и систем: иммунной (развитие вторичного иммунодефицита), нервной (раздражительность, подавленное состояние; сонливость), сердечно-сосудистой (прогрессирование атеросклероза, аритмии, повышение артериального давления), кроветворной (снижение уровня гемоглобина), костно-мышечной (слабость, мышечные боли), мочевыделительной (нарушение водно-электролитного обмена), органов дыхания (отечность дыхательных путей, развитие хронического бронхита), репродуктивной (нарушение менструальной функции) [5]. При этом снижаются физическая работоспособность и адаптационные возможности [4].

Суточная норма для взрослого человека составляет 50-100 мкг, при интенсивных занятиях спортом доза возрастает до 200-250 мг [4]. Токсичность йода умеренная, безопасный верхний уровень суточной дозы не должен превышать 17 мкг на килограмм веса человека, т.е. не более 1000 мкг на среднестатистического взрослого. Однако суточные дозы йода должны быть не более 250 мкг, если только за приемом этого препарата не наблюдает специалист [12].

При традиционном питании поступление йода с пищей составляет около 50 мкг в день. Для предупреждения дефицита спортсменам необходимо потреблять: йодированную соль, достаточное количество морепродуктов в рационе питания, БАД

Йод-актив (таблетки, содержащие 50 мкг йода, встроенного в молекулу молочного белка) [4].

Препараты йода назначают при лабораторно доказанном нарушении функции щитовидной железы: снижении концентрации соматотропного гормона (СТГ), трийодтиронина (Т3), тироксина (Т4), росте тиреотропного гормона (ТТГ); при снижении уровня гормонов в период соревнований по сравнению с подготовительным (закономерная адаптационная реакция – повышение гормонов). Для лечения назначаются Йодид-Фармак (100 мкг и 200 мкг йода в таблетках), его аналог Калий-Йодид 100 мкг и 200 мкг; курс приема – 2 месяца. Противопоказаниями являются: гиперфункция щитовидной железы, тахикардия и аритмия невыясненного генеза. С осторожностью такие препараты назначаются при дерматитах [4], так как йод может быть причиной ухудшения протекания болезни [12]. Также важно учитывать, что повышенное поступление йода в организм усиливает антигенные свойства белков и увеличивает вероятность развития аутоиммунных процессов, в частности аутоиммунного тиреоидита [14, 28, 40]. Спиртовые растворы йода непригодны для профилактики йододефицита, их применение внутрь категорически запрещено [5].

Заключение. Таким образом, иммунонутриенты имеют огромное значение в работе как иммунной системы, так и других систем организма спортсмена, что обусловлено их участием во всех физиологических и патологических процессах. Однако следует учитывать, что влияние этих элементов на иммунный ответ носит неоднозначный характер [27, 31, 32]. Избыточное содержание минералов в организме неблагоприятно отражается на состоянии иммунитета, приводя к подавлению многих функций. Так, повышенные концентрации цинка ассоциируются с дефицитом CD16⁺ клеток и снижением концентрации интерлейкина-2 [7]. Избыток

цинка и железа оказывает супрессивное действие на клеточное звено иммунитета и снижает неспецифическую резистентность организма, в частности, генерацию супероксида нейтрофилами; повышает риск развития иммунодефицитного состояния, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний [15]. Чрезмерное количество железа нарушает фагоцитоз, снижает бактерицидную активность крови, повышает риск развития тяжелых инфекций. Поступление с пищей большого количества хорошо растворимых солей железа способствует росту бактерий в кишечнике, которые могут, проникнув в кровотоки, вызвать иммунный ответ и даже способствовать аутоиммунизации [21]. Количество и функциональная активность лимфоцитов при избытке или дефиците микроэлементов определяется напряженностью метаболических путей, фазой клеточного цикла и интенсивностью контактирования бактериальными или вирусными антигенами [15]. Поэтому одним из важнейших принципов профилактики иммунодефицитных состояний является комбинированное применение минеральных и витаминно-минеральных препаратов, что дает возможность одновременного повлиять на несколько различных биологических процессов в организме [12]. Дополнительное назначение одного или нескольких минералов является необходимым при возникновении лабораторно и клинически доказанных нарушений в иммунной системе, состояниях перенапряжения, нарушений того или иного вида обмена или необходимости воздействия на течение анаболических и восстановительных процессов. Выбор препаратов должен быть основан на преимущественном влиянии отдельных элементов на определенное звено обмена веществ, а продолжительность приема и доза находится в прямой зависимости от степени их дефицита и медицинских показаний.

References

1. Abaturov AE. Vitamin D-zavisimaja produkcija antimikrobnih peptidov. Zdorov'e rebenka [Internet], 2012, 1 (36). Available from: <http://www.mif-ua.com/archive/article/26038> [Russian]
2. Bojko N. *Na strazhe zdorov'ja*. M: Rodnaja strana, 2014, 240 s. [Russian]
3. Vdovenko NV, Ivanova AM., Loshkar'ova EO. Praktichni rekomendacii shhodo profilaktiki ta korekcii deficitu zaliza v organizmi sportsmeniv. *Pedagogika, psihologija ta mediko-biologichni problemi fizichnogo vihovannja i sportu*. 2015; 1: 12–6. [Russian]
4. GavriloVA EA. *Stressornyj immunodeficit u sportsmenov*. M: Sovetskij sport, 2009, 192 s. [Russian]
5. Gorbachev VV, Gorbacheva VN. *Vitaminy, mikro- i makrojelementy*. Mn: Knizhnyj dom; Interpresservis, 2002, 544 s. [Russian]
6. Gromova OA, Gogoleva IV. Selen — vpechatljajushhie itogi i perspektivy primenenija. *Medicina neotlozhnyh sostojanij* [Internet]. 2010; 6 (31). Available from: <http://www.mif-ua.com/archive/article/15140>. [Russian]
7. Dobrodeeva LK, Dobrodeev KG. *Immunomoduljatory rastitel'nogo proishozhdenija*. Arhangel'sk: Arhang gos tehn un-t, 2008. 294 s. [Russian]
8. Dokuchaeva GN. *Biologicheski aktivnye dobavki: zdorov'e immunnoj sistemy*. M: JeNAS-Kniga, 2007. 120 s. [Russian]

9. Znachenie vitaminov, mineral'nyh i biologicheski aktivnyh veshhestv v pitanii sportsmenov [Internet]. Available from: <http://eat-info.ru/healthy-nutrition/sport-i-pitanie/9-2-znachenie-vitaminov-mineralnykh-i-biologicheski-aktivnykh-veshchestv-v-pitanii-sportsmenov.php> [Russian]
10. Kudrin AV, Skal'nyj AV, Zhavoronkov AA, i dr. *Immunofarmakologija mikrojelementov*. M: KMK, 2000. 537 s. [Russian]
11. Kazmirchuk VE, Koval'chuk VE. *Klinichna imunologija i alergologija*. Vinnycja: Nova Knyga, 2006. 528 s. [Ukrainian]
12. Kulinenkov DO, Kulinenkov OS. *Spravochnik farmakologii sporta*. M: Sovetskij sport, 2012. 464 s. [Russian]
13. Ljuboshenko T, Ljapin V. *Rol' pishhevyh i biologicheski aktivnyh dobavok v sisteme podgotovki sportsmena*. M: Sib-GUFK, 2011. 107 s. [Russian]
14. Ljalikov SA, Sobeska M, Gavrilik LL. i dr. Jod kak faktor modifitsirujushhij immunitetu. *Immunopatologija, allergologija, infektologija*. 2004; 2: 63–7. [Russian]
15. Martynova EA, Morozov IA. Pitanie i immunitet: rol' pitaniya v podderzhanii funkcional'noj aktivnosti immunnoj sistemy i razvitii polnocennogo immunogo otveta. *Rossijskij zhurnal gastrojenterologii, gepatologii, koloproktologii*, 2001; XI (4): 28–38. [Russian]
16. Nasolodin VV, Voronin SM, Zajceva IP, Gladkih IP. Profilaktika zhelezodeficitnyh sostojanij u sportsmenov vysokoj kvalifikacii. *Gigiena i sanitarija*. 2006; 2: 44–7. [Russian]
17. Rahmanov RS, Kuznecova LV, Blinova TV i dr. Jekologozavisimaja vitaminno-mineral'naja nedostatochnost' organizma sportsmenov. *Gigiena i sanitarija*. 2014; 93 (2): 70–3. [Russian]
18. Rozenbljum KA. *Pitanie sportsmenov: rukovodstvo dlja professional'noj raboty s fizicheski aktivnymi ljud'mi*. K: Olim literatura, 2014. 536 s. [Russian]
19. Trisvetova EL. Magnij v klinicheskoi praktike. *Racional'naja farmakoterapija v kardiologiiu*. 2012; 8 (4): 545–53. [Russian]
20. Troegubova NA, Rylova NV, Samojlov AS. Mikronutrienty v pitanii sportsmenov. *Prakticheskaja medicina*. 2014; 1 (77): 46–9. [Russian]
21. Frolova TV, Ohapkina OV. Rol' disbalansa mikro- i makrojelementov v formirovanii hronicheskoi patologii u detej. *Perinatologija i pediatrija*. 2013; 4 (56): 127–32. [Russian]
22. Chenchak VA. Osobennosti dejstvija tiroksina na immunnuju sistemu. *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik*. 2017; 3: 38–9. [Russian]
23. Baltaci AK, Mogulkoc R, Akil M, Bicer M. Selenium - its metabolism and relation to exercise. *Pakistan journal of pharmaceutical sciences*. 2016; 29 (5): 1719–25.
24. Bilal MY, Dambaeva S, Kwak-Kim J, et al. A role for iodide and thyroglobulin in modulating the function of immune cells. *Frontiers in immunology*. 2017; 15 (8): 1573. DOI: 10.3389/fimmu.2017.01573
25. Brown KM, Arthur JR. Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public Health Nutrition*. 2001; 4 (2B): 593–99.
26. Buyukyazi G, Kutukculer N, Kutlu N, et al. Differences in the cellular and humoral immune system between middle-aged men with different intensity and duration of physically training. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2004; 44 (2): 207–14.
27. Calder P, Kew S. The immune system: a target for functional foods? *The British journal of nutrition*. 2002; 88 Suppl 2: S 165–77.
28. Ehlers M, Thiel A, Papewalis C, et al. Enhanced iodine supplementation alters the immune process in a transgenic mouse model for autoimmune thyroiditis. *Thyroid*. 2014; 23 (5): 888–96. DOI: 10.1089/thy.2013.0495
29. Galland L. Magnesium and immune function: an overview. *Magnesium*. 1988; 7 (5-6): 290–9.
30. Gleeson M, Bishop N. Elite athlete immunology: importance of nutrition. *International journal of sports medicine*. 2000; Suppl 1: S44–50.
31. Gleeson M, Nieman DC, Pedersen BK. Exercise, nutrition and immune function. *Journal of sports sciences*. 2004; 22 (1): 115–25. <https://doi.org/10.1080/0264041031000140590>
32. Gleeson M. Immunological aspects of sport nutrition. *Immunology and cell biology*. 2016; 94 (2): 117–23. DOI: 10.1038/icb.2015.109
33. Gravina L, Ruiz F, Diaz E, et al. Influence of nutrient intake on antioxidant capacity, muscle damage and white blood cell count in female soccer players. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2012; 19 (1): 32. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-32>
34. Haymes EM. Vitamin and mineral supplementation to athletes. *International journal of sport nutrition*. 1991; 1 (2): 146–69. <https://doi.org/10.1123/ijns.1.2.146>
35. Kim SH, Kim HY, Kim WK, Park OJ. Nutritional status, iron-deficiency-related indices, and immunity of female athletes. *Nutrition*. 2002; 18 (1): 86–90. [https://doi.org/10.1016/S0899-9007\(01\)00663-3](https://doi.org/10.1016/S0899-9007(01)00663-3)
36. König D, Weinstock C, Keul J, et al. Zinc, iron, and magnesium status in athletes—influence on the regulation of exercise-induced stress and immune function. *Exercise immunology review*. 1998; 4: 2–21.
37. Maggini S, Wintergerst E, Beveridge S, Horning D. Selected vitamins and trace elements support immune function by strengthening epithelial barriers and cellular and humoral immune responses. *The British journal of nutrition*. 2007; 98 (Suppl 1): S 29–35.

38. Milašius K, Loseva L, Krupskaja T, Anufrik S. Concentration of macro- and microelements in physically active students hair under the influence of multivitamins and minerals intake. *Sporto mokslas (Sport Science)*. 2017; 4 (90): 59–67.
39. Nieman D.C. Immunonutrition support for athletes. *Nutrition review*. 2008; 66, 6: 310–20.
40. Sundick RS. Iodine in autoimmune thyroiditis. *Immunology series*. 1990; 52: 213–28.
41. Tam M, Gómez S, González-Gross M, Marcos A. Possible roles of magnesium on the immune system. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2003; 57: 1193–7. DOI:10.1038/sj.ejcn.1601689
42. Venturi S, Venturi M. Iodine, thymus, and immunity. *Nutrition*. 2009; 25 (9): 977–9. DOI: 10.1016/j.nut.2009.06.002

УДК 341.735.-613.2:796.615.577

МІНЕРАЛИ ЯК ІМУНОНУТРИЄНТИ В ПРАКТИЦІ ПІДГОТОВКИ СПОРТСМЕНІВ

Вінничук Ю. Д.

Резюме. В оглядовій статті розглянута можливість профілактики і лікування вторинних імунодефіцитів за допомогою препаратів мінералів в практиці підготовки спортсменів, оскільки імунодефіцити крім порушень імунних параметрів характеризуються дефіцитом необхідних харчових пластичних речовин, а саме мінеральні речовини, вітаміни, мікроелементи. Надана характеристика біологічних властивостей цинка, заліза, магнія, селена, йода як найважливіших мікронутрієнтів, що приймають участь в реакціях імунного захисту спортсменів високої кваліфікації, а також їх роль у збереженні здоров'я і спортивної результативності. Висвітлена симптоматика недостатності зазначених мінералів та їх необхідні добові дози для спортсменів. Показаний неоднозначний характер впливу макро- і мікроелементів на імунну відповідь при необґрунтованому вживанні високих доз мінералів. Представлені препарати окремих мінералів, вітаміно-мінеральні комплекси, дієтичні добавки та принципи їх використання в умовах інтенсивних фізичних навантажень, а також при діагностованих імунодефіцитних станах у спортсменів.

Ключові слова: спорт вищих досягнень, вторинний імунодефіцит, мінерали, мікронутрієнти.

UDC 341.735.-613.2:796.615.577

Minerals as Immunonutrition in Sport Practice

Vinnichuk Yu. D.

Abstract. In this review represented possibility to prevention secondary immunodeficiency disorders via minerals preparations applied to athletes along sports practice.

The training process of athletes includes high-intensity training loads, which is accompanied by the intensity of metabolic processes, an increase of energy, vitamins and minerals intake. Inorganic ions are particularly in demand by the immune system, as they are part of biologically active substances (enzymes, hormones, vitamins, etc.). All mineral elements are directly or indirectly involved in the processes of regulation of metabolism, they must be received via food or drugs intake.

Immunodeficiencies with exercise-induced immune changes are characterized by food plastic substances deficiencies, including minerals, vitamins, and microelements deficiency. The markers of minerals zinc, iron, magnesium, selenium and iodine as the most important micronutrients participating in the immune defense reactions of high-qualified athletes, and their role in maintaining health and athletic performance are given. However, immune processes are often being disturbed not only by lack of minerals, but by their surplus or misbalance as well. The symptomatology of deficiency of the specified minerals and their necessary daily doses for use was shown. The negative effects of unreasonably high doses of individual minerals on the immune response also was shown. Minerals preparations, vitamin-mineral complexes, dietary supplements and the principles of their use at the intense physical training, and diagnosed immunodeficiency also presented.

Keywords: record-higher sport achievements, secondary immunodeficiency, minerals, micronutrients.

Стаття надійшла 26.02.2018 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування