

# Регуляторная и эргогенная роль контролируемых электролитов при физических нагрузках в спорте высших достижений

Лариса Гунина<sup>1</sup>, Ирина Рыбина<sup>2</sup>, Валентина Войтенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup>Белорусская федерация биатлона, Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Сумский государственный университет, Сумы, Украина

## Regulatory and ergogenic role of controlled electrolytes during physical loads in elite sport

Larisa Gunina, Irina Rybina, Valentina Voytenko

**ABSTRACT.** *Objective* – to form modern ideas about the role of controlled blood serum electrolytes – potassium, sodium, magnesium and calcium – in maintaining general and specific physical performance and health of athletes, based on the analysis and generalization of scientific literature.

*Methods.* Analysis and synthesis of data from scientific and methodological literature and the Internet.

*Results.* Based on the analysis of scientific literature data, modern ideas about the role of potassium, sodium, calcium, most particularly ionized one, and magnesium in maintaining the functional state of the cardiovascular and musculoskeletal systems, water-electrolyte and acid-base balance, as well as the system of maintaining the blood aggregation state, which plays a direct role in the timely delivery to the heart, brain and skeletal muscle of oxygen, plastic and energy substrates have been formed.

*Conclusion.* Evaluation of laboratory parameters of the main controlled electrolyte content should be strictly individualized, complex, adapted to the tasks of the stages of training athletes and constitute a mandatory part of medical and biological control in elite sport.

**Keywords:** elite sport, laboratory diagnostics, basic blood serum electrolytes, physical and functional fitness, health of athletes.

## Регуляторна та ергогенна роль електролітів, що контролюються, при фізичних навантаженнях у спорті вищих досягнень

Лариса Гуніна, Ірина Рибіна, Валентина Войтенко

**АНОТАЦІЯ.** *Мета.* На основі аналізу та узагальнення даних наукової літератури сформувані сучасні уявлення у представників олімпійських видів спорту про роль контрольованих електролітів сироватки крові – калію, натрію, магнію і кальцію – у підтриманні загальної і спеціальної фізичної працездатності і здоров'я спортсменів.

*Методи.* Аналіз і синтез даних науково-методичної літератури та мережі Інтернет.

*Результати.* На основі аналізу даних наукової літератури сформовано сучасні уявлення у представників різних олімпійських видів спорту про роль калію, натрію, кальцію, передовсім іонізованого, і магнію в підтриманні функціонального стану серцево-судинної та скелетно-м'язової систем, водно-електролітного та кислотно-лужного балансу, а також системи підтримання агрегатного стану крові, яка відіграє безпосередню роль у своєчасній доставці до серця, головного мозку і скелетних м'язів кисню, пластичних і енергетичних субстратів.

*Висновок.* Оцінювання лабораторних параметрів вмісту основних контрольованих електролітів має бути строго індивідуалізованим, комплексним, адаптованим до завдань етапів підготовки спортсменів і обов'язковою складовою частиною медико-біологічного контролю в спорті вищих досягнень.

**Ключові слова:** спорт вищих досягнень, лабораторна діагностика, основні електроліти сироватки крові, фізична і функціональна підготовленість, здоров'я спортсменів.

**Постановка проблемы.** В спорте высших достижений обмен минералов (макро- и микроэлементов), входящих вместе с витаминами в состав микронутриентов, является одной из важнейших составляющих гомеостатического равновесия, что в значительной степени определяет функциональное состояние сердечно-сосудистой, дыхательной, центральной нервной, кровяной и костно-мышечной систем. Микронутриенты в отличие от макронутриентов – белков, жиров и углеводов – не имеют питательной ценности, но они необходимы организму как вещества, участвующие в регуляции обмена веществ, поскольку входят в активный центр значительной части ферментов [60, 61] и в состав транспортных белков, например, гемоглобина и миоглобина [35, 62], а также структурных протеинов [32, 34], хотя функции минералов в организме весьма разновекторны.

Контроль содержания различных минералов важен не только с точки зрения оценки физической и функциональной подготовленности спортсменов, но и для решения задач спортивной нутрициологии. Поскольку потребность в микронутриентах у высококвалифицированного спортсмена часто существенно превышает возможность насыщения ими организма лишь с продуктами питания, возникает естественная необходимость применения специализированных средств спортивного питания. В то же время, с точки зрения спортивной нутрициологии, коррекция минерального статуса спортсмена должна иметь индивидуальный характер, основываться на результатах углубленного медицинского обследования современного уровня, оценке нутритивного статуса и «пищевого поведения», стандартных биохимических показателей крови и других параметров, которые следует оценивать при подозрении на недостаточность/дефицит минералов [3, 10].

Известно, что физические нагрузки в профессиональном спорте, как хроническая стрессовая ситуация, оказывают существенное влияние на различные, в том числе биохимические, процессы в организме, что находит свое отражение в изменении таких констант внутренней среды, как содержание электролитов, а также других макро- и микроэлементов, играющих важную роль в процессе формирования сократительной способности скелетной мускулатуры [1]. «Физическая нагрузка, как стрессовая ситуация, оказывает существенное влияние на биохимические процессы, протекающие в организме, что находит свое отражение и в изменении строгих констант внутренней среды – электролитов крови. В организме минеральные вещества содержатся в виде растворенных солей, в нерастворенном виде, часть связана с белками и другими органическими соединениями. Минеральные вещества поддерживают осмотическое давление жидкостей организма, регулируют кислотно-щелочное соотношение, участвуют в распределении воды в организме, являются необходимым структурным компонентом костной и других тканей, определяют работу мышц, свертывание крови, регулируют активность

ферментов и выполняют ряд других важнейших функций» [4]. Вместе с тем, минеральные вещества участвуют в обмене сигналов организма с внешней средой [50]. Весьма существенна также роль минеральных веществ (в особенности карбонатов и фосфатов) в поддержании постоянства концентрации водородных ионов в крови и тканях [27]. Некоторые минералы играют чрезвычайно важную роль в обмене веществ, входя в состав ферментов, витаминов и гормонов, а также принимая участие в активации ферментных систем [4, 6, 11, 12, 27].

В организме человека содержатся почти все элементы, встречающиеся в природе. Одни из них, *макроэлементы*, содержатся в значительных количествах, другие, *микроэлементы*, – в очень небольших. В живом организме на долю кальция приходится 1,5 % (*прим. авт.* – по массе), фосфора 1 %, калия 0,25 %, натрия 0,1 %, хлора 0,1 %. Из микроэлементов обнаружены: магний, содержащийся в количестве 0,04 %, железо – 0,04 %, медь – 0,0005 %, марганец – 0,0002 %, йод – 0,00004 %, следы молибдена, цинка, фтора и некоторых других [4, 6].

Макро- и микроэлементы играют очень важную роль в достижении оптимальных спортивных результатов и поддержании высокого уровня физической и функциональной подготовленности. Например, медь и железо поддерживают интенсивный энергетический метаболизм спортсмена и, прежде всего, участвуют в усвоении и переносе кислорода [31, 47]. Селен в составе глутатионпероксидазы защищает сердечно-сосудистую систему и мышцы от оксидативного стресса, возрастающего при физических нагрузках. Магний и цинк способствуют накоплению мышечной массы и поддержанию кардиореспираторной функции [70].

**Цель исследования.** На основе анализа и обобщения данных научной литературы сформировать современные представления о роли у представителей олимпийских видов контролируемых элетролитов сыворотки крови – калия, натрия, магния и кальция – в поддержании общей и специальной физической работоспособности и здоровья спортсменов.

**Методы исследования:** анализ и синтез результатов по изучаемому вопросу, которые имеются в мировой литературе, а также данных сети Интернет.

**Результаты исследования.** Основные понятия о роли минерального обмена при физических нагрузках. Среднее содержание основных минеральных веществ в сыворотке крови спортсменов, по данным разных авторов [2, 5, 11], незначительно колеблется (табл. 1) в зависимости от использованной диагностической аппаратуры и методологии исследования.

К основным минералам, уровень которых контролируется в сыворотке крови спортсменов и существенные колебания содержания которых в ту или иную сторону у представителей разных полов могут указывать на развитие утомления, относятся калий, натрий, хлор, кальций (общий и ионизированный), магний, фосфор и др. [11, 26, 27].

ТАБЛИЦА 1 – Содержание в сыворотке крови спортсменов основных макро- и микроэлементов (цит. по: [7]; с дополнениями авторов)

Показатель	Содержание
Калий	3,4–5,6 ммоль·л <sup>-1</sup>
Натрий	135–146 ммоль·л <sup>-1</sup>
Кальций: общий ионизированный	2,2–2,8 ммоль·л <sup>-1</sup> 1,1–1,4 ммоль·л <sup>-1</sup>
Железо	9,0–31,3 мкмоль·л <sup>-1</sup>
Хлорид-ион	97,0–115,0 ммоль·л <sup>-1</sup>
Магний	0,8–1,2 ммоль·л <sup>-1</sup>
Фосфор неорганический	0,78–1,42 мкмоль·л <sup>-1</sup>
Медь	11,0–24,4 мкмоль·л <sup>-1</sup>
Цинк	11,5–18,5 мкмоль·л <sup>-1</sup>
Хром	1,0–10,0 нмоль·л <sup>-1</sup>

ТАБЛИЦА 2 – Нормальные величины содержания минералов в крови спортсменов разного пола (цит. по: [6])

Наименование, обозначение	Единицы измерения	Значения	
		мужчины	женщины
Железо (Fe)	мкмоль·л <sup>-1</sup>	11,6–31,3	9,0–30,4
Калий (K)	ммоль·л <sup>-1</sup>	3,8–5,3	3,8–5,3
Кальций общий (Ca)	ммоль·л <sup>-1</sup>	2,02–2,65	2,02–2,65
Магний (Mg)	ммоль·л <sup>-1</sup>	0,65–1,05	0,65–1,05
Натрий (Na)	ммоль·л <sup>-1</sup>	136–152	136–152
Фосфор (P или Ph)	ммоль·л <sup>-1</sup>	0,80–1,61	0,80–1,61
Хлор (Cl)	ммоль·л <sup>-1</sup>	97–115	97–115

Примечание. Данные содержания минералов в крови спортсменов приведены авторами таблицы при определении показателей на аппарате «Сонелаб» (Финляндия)

В организме в микроколичествах содержатся также йод (15 мг), кобальт, необходимый для регуляции физиологической функции витамина B<sub>12</sub> (1,5 мг), марганец, являющийся кофактором и активатором многих ферментов (пируваткиназа, декарбоксилаза, супероксиддисмутаза) и принимающий участие в синтезе гликопротеинов и протеогликанов (15 мг), кофактор и активатор оксидаз (ксантинооксидаза, серинооксидаза) молибден (15 мг), один из мощнейших антиоксидантов селен, входящий в состав селенопротеинов и глутатионпероксидазы (15 мг), относящейся к ферментативным антиоксидантам и имеющей выраженный потенциал биологического действия [10, 27].

Нужно отметить, что, по данным ряда авторов, гендерная разница в содержании минералов относится только к железу и фосфору; для остальных показателей межгрупповой разницы не обнаружено (табл. 2). Следует подчеркнуть, что расхождения в количественных значениях содержания различных минералов, приведенные в таблицах 1 и 2, обусловлены, как уже говорилось, различным использованным оборудованием и диагностическими протоколами. Из этого следует, что начиная работу с высококвалифицированными спортсменами,

врач-исследователь должен создавать собственную базу референтных значений для проведения дальнейшего динамического контроля функционального состояния атлетов.

Сверхинтенсивные физические нагрузки вызывают разнонаправленные изменения содержания макро- и микроэлементов в сыворотке крови. Предельная физическая нагрузка, как стрессорная ситуация, оказывает существенное влияние на уровень минералов в сыворотке крови [13]. Изучение состояния минерального обмена, например, у велосипедистов в процессе работы околопороговой мощности показало, что наиболее значимо изменилось содержание в сыворотке крови неорганического фосфора и железа (повышение), а также калия (понижение) [12].

В целом же, минералы оказывают огромное влияние на организм, несмотря на незначительное (в целом) содержание в процентах от общей клеточной массы, что суммировано нами в таблице 3.

Известно, что низкий уровень поступления микронутриентов, к которым принадлежат все минералы, у спортсменов может приводить к недостаточности/дефициту отдельных веществ и нарушениям обмена веществ, что негативно скажется на общем состоянии здоровья, физической и функциональной подготовленности.

К сожалению, на сегодняшний день, несмотря на огромный массив имеющихся данных, сводной информации по изучаемому вопросу в аспекте не только биологической роли, но и эргогенной составляющей влияния минерального обмена явно недостаточно. Далее мы рассмотрим основные минералы, необходимые для поддержания в динамике тренировочного процесса электролитного состава сыворотки крови (контролируемые электролиты) и функционального состояния организма спортсменов в целом.

**Характеристика и биологическая роль отдельных минералов в организме спортсмена.** К контролируемым электролитам традиционно относят калий, натрий, кальций (ионизированный) и магний. Это значит, что на показатели содержания именно этих минералов прежде всего обращается внимание спортивного врача и лабораторного диагноста при оценке текущего функционального состояния спортсмена [1, 2, 6], а также при дальнейшем построении программы нутритивно-метаболической поддержки процесса его подготовки [3, 10].

**Калий** – важнейший внутриклеточный катион (K<sup>+</sup>) и активатор функций ряда ферментов, особенно необходим для питания клеток, деятельности мышц, в том числе миокарда, поддержания водно-солевого баланса в организме, работы эндокринной системы. Пределы колебаний уровня калия в сыворотке крови в норме в состоянии мышечного покоя составляют 3,4–5,6 ммоль·л<sup>-1</sup>; большая часть этого макроэлемента сосредоточена в мышечных клетках. Основная физиологическая роль калия заключается в том, что он принимает участие в работе сердечной мышцы, регулирует осмотическое

ТАБЛИЦА 3 – Содержание в клетках и биологическая роль минералов в организме

Минерал	Содержание, %	Биологическая роль
Бор	0,000028	Участвует в минеральном и энергетическом обмене веществ; его роль важна в формировании костной и мышечной ткани. Принимает активное участие в развитии опорно-двигательного аппарата у юных спортсменов в препубертатном и пубертатном периоде. Отвечает за нормальное функционирование суставного аппарата спортсменов. Достаточное его содержание снижает риск возникновения остеопении и остеопороза, свойственного представителям ряда видов спорта с ограничением рационов по калорийности. Принимает участие в регуляции правильного соотношения кальция и фосфора в костной ткани, влияет на состояние опорно-двигательного аппарата через витамин D <sub>3</sub> , способствуя переходу провитамина в активную форму. Микроэлемент также важен для нормального функционирования эндокринной системы организма. Участвуя в энергетическом обмене, способствует сжиганию жиров. Входит в состав ферментов, принимает участие в синтезе нуклеиновых кислот, белков, т.е. обладает анаболическим эффектом.
Железо	0,01–0,015	Является незаменимым биометаллом, играющим важную роль в функционировании клеток многих систем организма. Принимает участие в процессах кроветворения (эритропоэза) и роста тканей; в процессах окисления и восстановления (входит в состав антиоксидантных ферментов – каталазы и пероксидазы), тканевом дыхании. Играет важнейшую роль в процессах переноса кислорода и углекислого газа, входя в состав гема в кислородтранспортных белках. Поддерживает функционирование щитовидной железы и центральной нервной системы.
Йод	0,0001	Входит в состав гормона щитовидной железы – тироксина, принимает участие в обмене белков, углеводов, липидов, в энергетическом обмене, а также в регуляции водно-солевого обмена. Участвует в терморегуляции. Играет важную роль в процессах роста и развития организма, включая нервно-психическое развитие.
Калий	0,15–0,4	В организме содержится примерно в 25 раз больше в эритроцитах, чем в плазме. Принимает участие в процессах, происходящих в мышечной и нервной тканях; основным депо калия являются мышцы. Принимает участие в передаче нервного возбуждения, деятельности сердца, сокращении мускулатуры, в выделительной функции почек и других видах обмена; активирует ферменты белкового синтеза.
Кальций	0,04–2,00	В организме находится в трех формах: связанный с белком (главным образом с альбумином); входит в комплекс с бикарбонатом, лактатом, фосфатом и цитратом; 50 % кальция в крови находится в ионизированном (физиологически активном) виде. Основным депо является костная ткань.
Магний	0,02–0,03	Внутриклеточный катион, входит в состав многих ферментов. Депонируется главным образом в коже и мышцах. Участвует во многих ферментативных реакциях, связанных с выделением энергии за счет фосфатных групп АТФ. Ионы магния ускоряют реакцию расщепления креатинфосфата.
Медь	0,0002	Участвует в процессах кроветворения, катализирует внутриклеточные окислительно-восстановительные процессы.
Натрий	0,02–0,03	Находится в организме преимущественно в виде ионизированных солей угольной, соляной и фосфорной кислот. Обеспечивает проведение нервных импульсов, поддерживает осмотическое давление в клетке, стимулирует синтез гормонов.
Сера	0,15–0,2	Входит в состав серосодержащих аминокислот – цистеина, цистина, незаменимой аминокислоты метионина, биологически активных веществ (гистамина, биотина, липоевой кислоты и др.); опосредованно принимает участие в окислительно-восстановительных и детоксикационных реакциях в организме. В активные центры молекул ряда ферментов входят SH-группы, участвующие во многих ферментативных реакциях, в том числе в создании и стабилизации нативной трехмерной структуры белков, а в некоторых случаях – непосредственно как каталитические центры ферментов. Обеспечивает в клетке такой тонкий и сложный процесс, как передача энергии: переносит электроны, принимая на свободную орбиталь один из неспаренных электронов кислорода; участвует в фиксации и транспорте метильных групп. Является также частью различных коэнзимов, включая коэнзим А.
Фосфор	0,2–1,0	Содержится в организме в форме различных неорганических соединений фосфорнокислых солей, а также является источником нуклеопротеидов, нуклеотидов, фосфопротеидов, фосфорных эфиров углеводов. Входит в состав нуклеиновых кислот, макроэргов – АТФ и креатинфосфата, ферментов, костной ткани и эмали зубов.
Фтор	0,0001	Принимает участие в процессе кроветворения, синтезе кератина; укрепляет иммунитет, оказывает позитивное действие на прочность костной ткани, ускоряет всасывание железа; способствует выведению из организма радионуклидов и солей тяжелых металлов.
Хлор	0,05–0,10	Основной анион, компенсирующий влияние катионов, в первую очередь натрия. Содержится преимущественно в межклеточной жидкости. В физиологических условиях изменения концентрации хлора вторичны к изменениям других электролитов и направлены прежде всего на создание электронейтральности среды.
Цинк	0,0003	Играет важную роль в нуклеиновом обмене, процессах транскрипции, стабилизации нуклеиновых кислот, белков и особенно компонентов биологических мембран, а также в обмене витамина А; стимулирует образование полисом, тормозит катализируемое железом свободнорадикальное окисление. Принимает участие в сперматогенезе и образовании тестостерона. Кофактор ферментов (ЛДГ, карбоангидраза, РНК и ДНК-полимеразы).

давление и участвует в передаче нервных импульсов (необходим для поддержания возбудимости нервных и мышечных волокон вследствие изменения мембранного потенциала клеток). Калий играет большую роль в активации функций некоторых ферментов, в поддержании сократительной способности скелетных мышц, водно-солевого баланса, работы эндокринной системы и др. [3, 57, 58]. Синтез гликогена в мышцах из глюкозы связан с потреблением клетками значительного количества калия; напротив, выход калия из клеток в межтканевую жидкость отмечается при распаде гликогена [6].

Содержание калия в крови регулируется нервной и эндокринной системами. Возбуждение блуждающего нерва сопровождается повышением уровня калия в сыворотке. Уровень калия в клетке зависит также от активности метаболических процессов и кислотно-основного состояния (КОС). Часто сопутствующий алкалоз усугубляет гипокалиемию, а ацидоз – уменьшает. Гипокалиемия вызывает тяжелые нарушения в работе сердца и может быть диагностирована по изменениям электрокардиограммы. Мышцы в период деятельности задерживают калий. В эритроцитах калий в виде калиевой соли гемоглобина увеличивает буферную ёмкость. При снижении pH крови («закислении среды») наблюдается выход калия во внеклеточное пространство, при увеличении pH – поступление этого минерала внутрь клетки [9]. Необходимо учитывать также, что любой стресс с избыточной выработкой адренокортикотропного гормона ведет к увеличению потери калия с мочой, причем способность организма к удержанию калия, выявляемая весной, резко снижается в летнее время [6].

Основным условием, в связи с высокими постоянными тратами, «депо» калия являются скелетные мышцы, задерживающие его в период деятельности и отдающие в кровь в состоянии покоя. Выделяется калий главным образом с мочой; некоторая часть выводится также с калом и потом, где концентрация его выше, чем в крови.

Регуляция калиевого баланса обеспечивается почками (около 90 %) и кишечником (10 %) и в значительной степени связана с метаболизмом магния. Снижение содержания магния приводит к опосредованному усилению потери калия путем повышения дистальной секреции. Для калия характерно отсутствие истинного депо в организме, поэтому важно адекватное регулярное его поступление в организм спортсмена.

Концентрация ионов калия в плазме/сыворотке крови зависит от равновесия следующих процессов: поступления извне, распределения в организме и выведения (почками, потовыми железами, через кишечник). Поскольку депо калия в организме не существует, то даже при небольших изменениях концентрации этого макроэлемента внутри клеток одновременно значительно изменяется его концентрация в плазме. Захват калия клетками стимулируется инсулином, а также усиливается под действием катехоламинов, альдостерона. Изменения pH крови приводят к изменению содержания ионов калия в

клетках: при ацидозе он выходит из клеток во внеклеточную жидкость, при алкалозе – поступает внутрь клеток. Внутриклеточный калий находится в постоянном равновесии с небольшим количеством внеклеточного калия. Это соотношение обеспечивает прохождение электрических нервных импульсов, контролирует процессы мышечного сокращения, обеспечивает поддержание стабильного артериального давления, способствует улучшению снабжения мозга кислородом [9, 10].

При дефиците калия клетка не успевает восстановить свой потенциал покоя, в результате чего утрачивается возможность восприятия нейроном новых сигналов и ухудшается нейромышечная проводимость. Важная физиологическая роль калия заключается в поддержании нормального функционирования мембран клеток, а также в участии в обеспечении физиологических функций магния [11].

Дефицит калия (*гипокалиемия*) может быть спровоцирован эмоциональным и/или физическим стрессом. Калий и натрий «теряются» также с потом, в связи с чем у спортсменов может возникать потребность в восполнении содержания этих элементов с помощью специальных напитков и фармакологических/нутрициологических (пищевых добавок) средств [66]. У спортсменов причинами дефицита калия являются прежде всего обильное потоотделение при отсутствии адекватной коррекции водно-солевого баланса, гипотермия (что особо важно для представителей зимних видов спорта) и гипертермия (развивающаяся во время тренировок и соревнований в условиях жаркого климата), а также несанкционированный и бесконтрольный прием кортикостероидов, диуретиков (кроме калийсберегающих),  $\beta$ -адреноблокаторов (относятся к запрещенным в спорте субстанциям), антибиотиков. При гипокалиемии развиваются мышечная слабость, снижение рефлексов, гипотония, нарушения в проводящей системе сердца, непроходимость кишечника, полиурия. У спортсменов даже при незначительной гипокалиемии возникают быстрая утомляемость и переутомление. При существенном переизбытке калия (гиперкалиемия) отмечаются желудочковая тахикардия, фибрилляция желудочков и даже асистолия (остановка сердца) [11]. Таким образом, для развития переутомления одинаково существенны как избыток, так и недостаток калия, поэтому его концентрация – один из важнейших лабораторных маркеров чрезмерности физической нагрузки или неадекватности воздействия внутренировочных факторов стимуляции работоспособности [10, 26].

*Референтные границы* содержания калия в сыворотке/плазме крови здоровых лиц составляют  $3,5-5,5 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$  (оптимальным является содержание  $4,5 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ ). Поддержание оптимального содержания калия чрезвычайно важно, поскольку как гипокалиемия, так и гиперкалиемия характеризуются комплексом изменений в функционировании мышечной, сердечно-сосудистой, центральной нервной систем. Умеренное

снижение содержания калия не всегда приводит к формированию выраженных клинических симптомов, но может характеризоваться мышечной слабостью, судорогами, депрессией, полиурией, ухудшением перистальтики кишечника; возрастает риск возникновения аритмий, отмечаются кардионейропатия с нарушениями сердечного ритма и др. Для гиперкалиемии характерны изменения на ЭКГ, имеются жалобы на мышечную слабость, отмечаются аритмии и признаки гипервентиляции.

Факторами, влияющими на уровень калия в сыворотке крови спортсменов, являются:

1. *Функциональное состояние почек и желудочно-кишечного тракта (ЖКТ)*. При наличии расстройств в работе ЖКТ (например, при диарее или рвоте) может развиваться дефицит калия в организме вследствие его повышенной потери. При патологии почек могут наблюдаться снижение экскреции калия и нарушение гломерулярной фильтрации, что является одной из причин гиперкалиемии.

2. *Особенности рациона*. Снижение содержания калия возможно при его недостаточном поступлении с пищей, повышенном употреблении соли (натрия хлорида), при снижении содержания магния в пище, повышенном потреблении кофе, сахара, алкоголя.

3. *Вид, интенсивность и продолжительность тренировочных нагрузок*. Снижение содержания калия может быть следствием как физического, так и эмоционального стресса. При активных физических нагрузках, сопровождающихся повышенным потоотделением, отмечается усиленная потеря калия и существует необходимость коррекции водно-солевого баланса и восполнения калия с помощью питания, специальных напитков и, при необходимости, фармакологических препаратов. Для спортсменов и лиц, активно занимающихся спортом, важно контролировать содержание калия, так как он является информативным маркером адаптации к нагрузкам; к снижению физической работоспособности может приводить как недостаток, так и избыток этого элемента.

4. *Прием фармакологических препаратов*. Завышает содержание калия в сыворотке крови применение амилорида, аминокaproновой кислоты, ингибиторов ангиотензин-конвертирующего фермента, L-аргинина, цефалоридина, циклоспорина, дигоксина, гепарина, гистамина, изониазида; адреналина и маннитола (субстанции, входящие в Запрещенный список WADA); антибиотиков метициллина, пенициллина, тетрациклина; нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП), сукцинилхолина, триамтерена, трометамина. Занижает содержание калия применение бета-адренергических агонистов (сальбутамол, албутерол и др.), аминогликозидов, амфотерицина, азлоциллина, бисакодила, капреомицина, карбенициллина, карбенексолона, холестирамина, цисплатина, клопамида, глюкокортикостероидов (относятся к субстанциям, входящим в Запрещенный список WADA), кортикотропина, цианкобаламина, анги-

дрида декстрозы, диклофеамида, мочегонных (диуретических) препаратов, входящих в Запрещенный список WADA, этилендиаминтетрацетата (ЭДТА), применяемого для предотвращения свертывания крови, в частности *in vitro*, эноксолона, флюконазола, гормонов глюкагона и инсулина (субстанции, входящие в Запрещенный список WADA), ифосфамида, леводопа, лакрицы, мезлоциллина, нафциллина, салицилатов, натрия бикарбоната, натрия хлорида, тикарциллина, теофиллина.

При снижении содержания калия необходимо увеличить его поступление с продуктами, входящими в рацион (курага, изюм, картофель с кожурой, бананы, фасоль, авокадо, тыква, шпинат и др.), а также использовать специальные напитки для коррекции водно-солевого баланса или фармакологические препараты после консультации с врачом и проведения клинико-лабораторного исследования. При выявлении признаков как гипо-, так и гиперкалиемии, необходимо проконсультироваться со спортивным врачом и врачом-кардиологом и провести комплекс исследований функционального состояния основных лимитирующих работоспособность систем организма, прежде всего сердечно-сосудистой системы. Особенно важно контролировать содержание калия у спортсменов с повышенным потоотделением и при проведении тренировочных занятий и соревнований в условиях жаркой погоды. У представителей зимних видов спорта гипотермия также является дополнительным фактором риска возникновения дефицита калия [10].

**Натрий** – второй важнейший, после калия, внеклеточный катион ( $\text{Na}^+$ ), необходимый для поддержания электролитного баланса. Пределы колебаний уровня натрия в норме в состоянии мышечного покоя составляют 135–146 ммоль·л<sup>-1</sup>. Натрий является важнейшим осмотическим активным компонентом внеклеточного пространства, с которым связана регуляция объема внеклеточной жидкости. Из общего количества натрия в организме 96 % его относится к экстрацеллюлярному. Он участвует в проведении возбуждения в нервных и мышечных клетках, в формировании щелочного резерва крови и транспорте ионов водорода. Концентрация натрия в плазме (сыворотке) крови зависит от равновесия следующих процессов: поступления натрия, распределения его в организме и выведения почками, потовыми железами [74]. Основными регуляторами обмена натрия в организме являются ренин-ангиотензин-альдостероновая система, антидиуретический гормон (вазопрессин), предсердный натрийуретический гормон. Изменения в содержании натрия приводят к снижению объема внеклеточной жидкости, влияя на кровообращение, функцию почек и нервной системы [14].

*Гипонатриемия*, связанная с интенсивной физической нагрузкой (ЕАН, от англ. *exercise-associated hyponatremia*), впервые была описана в 1981 г. Выраженная и потенциально жизнеугрожающая ЕАН может возникать при значительной физической нагрузке

вследствие потери жидкости [38], например, у бегунов при прохождении марафонской дистанции (42,2 км) и сверхдлинных дистанций (100 км), во время соревнований по триатлону [59]. Гипонатриемия, обусловленная интенсивной мышечной работой, может возникнуть, когда количество потребляемой жидкости, особенно без содержания электролитов, превышает интенсивность потоотделения. Она стала одним из самых частых медицинских осложнений при соревнованиях по бегу и ходьбе на длинные дистанции и одной из причин летальности среди спортсменов [39]. Согласно данным Американской академии педиатрии, гипонатриемия у молодых спортсменов, которые тренируются менее четырех часов в день, встречается редко, а при увеличении длительности и/или кратности тренировочных занятий риск снижения содержания натрия возрастает [10, 27].

В большинстве случаев гипонатриемия является первичным нарушением водного баланса – следствием относительного избытка воды по отношению к запасам натрия в организме. Чаще всего причиной является нарушенное выделение свободной воды почками вследствие неадекватно увеличенной секреции вазопрессина под воздействием неосмотических стимулов [14]. Дефицит натрия нередко приводит к нарушению работы сердечно-сосудистой системы, снижению эндокринной функции коры надпочечников и заболеваниям почек [44]. Клинические проявления ЕАН колеблются от минимальных симптомов до значительно выраженных клинически – энцефалопатия, судорожные припадки, респираторный дистресс, асистолия. Большинство бегунов с ЕАН имеют легкие клинические проявления недостаточности натрия – слабость, головокружение, головная боль, тошнота, рвота, или же это состояние вообще бессимптомно (обычно уровень натрия при этом не ниже 134–128 ммоль·л<sup>-1</sup>). У спортсменов с уровнем натрия в сыворотке крови ниже 126 ммоль·л<sup>-1</sup> часто развиваются отек мозга, нарушение сознания, судорожные припадки, отек легких, кома и смерть. Содержание натрия ниже порога 120 ммоль·л<sup>-1</sup> уже является жизнеугрожающим состоянием [16]. Следует отметить, что проявления ЕАН имеют очень индивидуализированный характер, выраженность симптомов не всегда имеет четкую корреляцию с уровнем гипонатриемии, что требует глубокого понимания спортивным врачом патофизиологии обмена микроэлементов.

*Гипернатриемия* характеризуется повышением концентрации натрия в плазме более 145 ммоль·л<sup>-1</sup>, вызванным дефицитом воды по отношению к растворенному веществу. Основным симптомом является жажда, другие клинические проявления – в основном неврологического характера (вследствие осмотического перехода воды из клеток во внеклеточную жидкость): нарушение сознания, чрезмерная нервно-мышечная возбудимость, судороги и кома [55]. Коррекция гипернатриемии обычно заключается в контролируемом возмещении воды. Ее из-за гипертонической дегидратации у спортсменов

может спровоцировать длительная гипервентиляция (потеря жидкости через легкие при продолжительной одышке), недостаточное поступление воды в организм при повышенном потоотделении [45]. Несанкционированный и бесконтрольный прием таких препаратов, как адренокортикотропный гормон, анаболические стероиды, андрогены, кортикостероиды (все в Запрещенном списке WADA), эстрогены, метилдопа, оральные контрацептивы, натрия бикарбонат, также приводит к повышению содержания натрия в сыворотке/плазме крови.

*Референтные границы* содержания натрия в сыворотке/плазме крови здоровых лиц составляют 135–146 ммоль·л<sup>-1</sup>, а у спортсменов уровень натрия не должен опускаться ниже 138 ммоль·л<sup>-1</sup>. Баланс натрия в организме зависит главным образом от функции почек, секреции альдостерона корой надпочечников, функционирования желудочно-кишечного тракта. Основные проявления гипернатриемии обусловлены вовлечением в процесс центральной нервной системы [14].

*Завышает содержание натрия* в сыворотке крови спортсменов применение АКГТ, анаболических стероидов и андрогенов, кортикостероидов, включая оксифенбутазон и фенилбутазон (все названные выше субстанции относятся к Запрещенному списку WADA); карбенициллина, карбенексалона, клонидина, диазоксидина, эноксолон, эстрогенов и пероральных контрацептивов, аналогов гуанетидина, лактулозы, микорайса, метоксифлюрана, метилдопа, резерпина, натрия бикарбоната. При определении повышенного содержания натрия у спортсменов следует провести дифференцировку с наличием утраты жидкости без соответствующей регидратации, длительным гиперпноэ, рвотой и диарей, наличием несахарного диабета и возникшим диабетическим ацидозом, гиперальдостеронизмом, синдромом Иценко–Кушинга, избытком потребления поваренной соли.

*Занижает содержание натрия* в сыворотке крови спортсменов прием аминокислот, аминокислотидов, аммония хлорида, амфотерицина В, ингибиторов ангиотензинконвертирующего фермента (каптоприла, лозапа и др.), цитостатиков винбластин, винкристин, карбамазепина, циклофосфамида, цисплатина, карбоплатина и хлорпропамида, холестирамина, клофибрата, десмопрессина, диуретиков (относятся к Запрещенному списку WADA), флуоксетина, гипертонического раствора глюкозы, галоперидола, гепарина, индометацина, противогрибковых средств кетоконазола и миконазола, лития, лоркаанида, нестероидных противовоспалительных препаратов, окситоцина, фенотиазинов, тизаниловой кислоты, трициклических антидепрессантов, вазопрессина. При определении сниженного содержания натрия у спортсменов следует провести дифференциальную диагностику с применением бессолевой диеты, избыточной потерей жидкости с потом при адекватном водном и неадекватном солевом замещении, злоупотреблением диуретиками (несанкционированно и при наличии те-

рапевтического разрешения), наличием поликистоза и кисты мозгового вещества почек, хроническим пиелонефритом, почечным канальцевым ацидозом, осмотическим диурезом, метаболическим ацидозом, вторичной надпочечниковой недостаточностью и др. патологиями инфекциями легких, ложной гипонатриемией при крайне значительной гипертриглицеридемии или гиперпротеинемии; гипергликемией.

В целом, учитывая известную и возможную роль калия и натрия в функционировании основных лимитирующих физическую работоспособность систем организма, можно считать, что существенные и разнонаправленные колебания содержания этих макроэлементов (контролируемых электролитов) у спортсменов сказываются на адаптационных возможностях и, в частности, на реакциях сердечно-сосудистой системы, которая не только обеспечивает трофику скелетной мускулатуры, в том числе и минеральными компонентами, но и сама нуждается в соответствующем метаболическом обеспечении, без которого процессы утомления развиваются намного быстрее.

**Магний** – четвертый по количественному содержанию в организме человека ион ( $Mg^{2+}$ ), который наряду с кальцием, натрием и калием количественно входит в первую когорту минералов в организме, является третьим по важности после калия и кальция, ионизированного контролируемым электролитом у спортсменов, а по содержанию внутри клетки занимает второе место после калия. Особенно активно магний участвует в процессах, которые связаны с утилизацией энергии, в частности с расщеплением глюкозы и удалением из организма отработанных шлаков и токсинов.

Магний необходим для деятельности более 700 белков протеома человека. При физической нагрузке калий, натрий, кальций и магний обеспечивают циклы сокращения–расслабления сердца и мышц, осуществление окислительного фосфорилирования в ходе биосинтеза АТФ [64]. Он играет важную роль в поддержании и сохранении здоровья, а также для достижения высокого уровня физической работоспособности. Физиологическая роль магния обусловлена тем, что он принимает участие в значительном количестве ферментативных реакций и практически во всех основных метаболических процессах в клетке, регулирует состояние кардиомиоцитов, участвует в функционировании мышечных волокон и др. [2]. Магний у спортсменов регулирует стабильность клеточных мембран, функцию сердечно-сосудистой, нервно-мышечной, иммунной и эндокринной систем, способствует усвоению кальция [71].

Магний является кофактором многих ферментов, в том числе кокарбоксылазы и коэнзима А, играет значительную роль при передаче нервных импульсов и необходим для ритмичной работы сердца, активно участвует в обмене белка и нуклеиновых кислот, регулирует митохондриальную выработку и перенос энергии, передачу сигнала в нервной и мышечной ткани, способствует

расслаблению гладкомышечных волокон, снижает артериальное давление, угнетает агрегацию тромбоцитов, ускоряет пассаж содержимого кишечника [21]. Суточная потребность организма в магнии составляет 0,05 % массы тела, что в среднем приблизительно 400 мг [78]. Он необходим для регулирования нервно-мышечной проводимости, ритма сердца, тонуса сосудов, иммунитета, уровня глюкозы в крови, баланса распада–реконструкции соединительной ткани (связки, хрящи, кости) [71]. Исследования, проведенные в разных странах, показали широкую распространенность дефицита магния в популяционных выборках спортсменов [69]. Важна динамика уровней магния в биосубстратах в ходе интенсивных физических нагрузок; кроме того, установлено существование взаимосвязи между содержанием магния и максимальной аэробной мощностью, показателями гормонального баланса и функционального состояния сердечно-сосудистой системы [2].

Магний, содержащийся в тканях, представлен в основном внутриклеточным минералом. Метаболизм его тесно связан с метаболизмом кальция [22]. Около 2–3 % магния находится в свободном (несвязанном) состоянии и является особенно важным для регуляции функционирования клеток. При снижении содержания в плазме крови он пополняется из костного пространства. При увеличении содержания плазменного содержания магния происходит его депонирование в костях. Баланс содержания магния в организме обеспечивается путем реабсорбции в почечных канальцах. Выделение у спортсменов магния с мочой усиливается при гиперкальциемии и увеличении объема внеклеточной жидкости [51].

Концентрация магния в плазме крови и эритроцитах в ходе интенсивных физических нагрузок поддерживается в определенных интервалах значений за счет регуляции адсорбции его в тонком кишечнике и реабсорбции в почках [48]. Данные многочисленных исследований свидетельствуют, что снижение содержания магния в плазме/сыворотке крови является типичным результатом интенсивной физической нагрузки; в некоторых исследованиях отмечено снижение уровней магния и в плазме, и в эритроцитах [2]. Вероятно, такая ситуация является универсальным патофизиологическим ответом организма [20].

Никем не опровергнутые результаты достаточно давнего исследования содержания магния в сыворотке крови, проведенные у квалифицированных бегунов на длинные дистанции ( $n = 18$ ) до и после стандартного марафонского забега, в течение которого они не употребляли никаких электролитных растворов, показали, что наблюдается значительное снижение концентрации магния на фоне увеличения содержания калия и натрия [29]. Позднее было установлено, что у марафонцев ( $n = 24$ ) к концу забега отмечается достоверное снижение уровней магния в крови и в моче, составляя от  $0,83 \pm 0,07$  до  $0,69 \pm 0,06$  ммоль·л<sup>-1</sup> в сыворотке крови и от  $1,41 \pm 0,35$  до  $0,91 \pm 0,51$  ммоль·л<sup>-1</sup> – в моче [24]. Од-



нако если марафонцы изначально имели оптимальный уровень магния в крови, то, как показали результаты двойного слепого плацебо-контролируемого исследования, дополнительное его введение не увеличивало ни мышечную, ни сывороточную концентрацию и не оказывало заметного влияния на результаты марафонского бега. Дополнительный прием магния также не влиял на степень повреждения мышц или скорость восстановления мышечной функции. Последний был значительно снижен сразу после марафона, но нормализовался в течение одной недели [67].

Результаты современного исследования, выполненного в дизайне двойного слепого плацебо-контролируемого перекрестного (уровень доказательности «А», зарегистрировано на сайте ClinicalTrial.gov) с оценкой содержания большого спектра биохимических параметров показали, что использование добавки магния снизило реакцию тканей на провоспалительный интерлейкин-6 (IL-6), способствовало скорейшему восстановлению уровня глюкозы в крови и предупреждению болезненности мышц (синдром отсроченной мышечной болезненности – DOMS) после физических нагрузок. Однако повышения показателей работоспособности или функциональных параметров восстановления при этом установлено не было [65]. Таким образом, можно считать что, во-первых, дополнительное введение добавок магния в организм должно проводиться строго индивидуализированно с учетом данных лабораторного контроля, а во-вторых, нужно понимать, что такие технологии практически всегда улучшают функциональные показатели, но не всегда прямые параметры физической работоспособности атлетов, и что повышение уровня магния, по сути, не является прямой эргогенной характеристикой, но имеет актуальный на сегодня здоровьесберегающий вектор. Такой вывод относится к спортсменам, изначально имеющим нормальное содержание магния в сыворотке крови.

Подобная динамика концентрации магния свойственна представителям и других, кроме названных, соревновательных дисциплин и видов спорта. Было показано, что при длительном плавании на открытой воде уровень магния в плазме крови снижается даже у хорошо подготовленных спортсменов ( $n = 8$ ): на 12 % после 2 мин упражнений и на 21 % – после 30 мин; при этом содержание магния в эритроцитах и моче достоверно не изменяется [48]. Эти данные подтверждены [56] и в настоящее время в обзорной аналитической статье [76]. При этом установлено, что степень снижения уровня магния зависит от интенсивности физической нагрузки [2, 69]. Результаты наших исследований показывают, что в состоянии покоя через 24 ч. после предшествующей тренировочной нагрузки концентрация магния в сыворотке крови возвращается к исходному уровню у бегунов на средние дистанции (800 и 1500 м), пловцов-спринтеров, тяжелоатлетов и единоборцев (борьба греко-римская и дзюдо) и соответствует референтному

диапазону  $0,75–1,00$  ммоль·л<sup>-1</sup> (данные получены при использовании автоматического биохимического анализатора «Vitalab Selectra XL» (Нидерланды) и аутентичных тест-систем) [10].

*Референтные границы* содержания магния в сыворотке/плазме крови спортсменов составляют  $0,66–1,07$  ммоль·л<sup>-1</sup>. Содержание в сыворотке крови колеблется в незначительных пределах и составляет в среднем  $0,64–1,11$  ммоль·л<sup>-1</sup>. Это совпадает с данными точной методологии с использованием атомной адсорбционной спектрофотометрии [15, 46].

Факторами, влияющими на уровень магния в сыворотке крови спортсменов, являются:

1. *Состояние ЖКТ.* Уменьшение количества магния может наблюдаться при снижении его всасывания в ЖКТ, продолжительной диарее, синдроме нарушенного всасывания, воспалительных заболеваниях кишечника, рвоте.

2. *Функциональное состояние почек.* Нарушение функции почек может быть причиной недостатка магния из-за снижения почечной реабсорбции, например при почечном ацидозе [53] и др.

3. *Особенности рациона.* Снижение магния наблюдается при его недостатке в пище при диетах, употреблении большого количества нездоровой индустриально обработанной еды, злоупотреблении алкоголем, чрезмерном употреблении белков и жиров в пище, высоком потреблении кальция.

4. *Вид, интенсивность и продолжительность тренировочных нагрузок.*

5. *Прием фармакологических препаратов.* Завышает содержание магния в сыворотке крови спортсменов применение аспирина, лития, производных магния, витаминера и медроксипрогестерона, триамтерона, витамина D<sub>3</sub>. Снижает уровень магния в сыворотке крови спортсменов применение некоторых бета-адренергических агонистов (например, сальбутамола, албутерола; находятся в Запрещенном списке WADA), аминокликозидов, амфотерицина В, аммония хлорида, солей кальция и цитратов, цитостатиков цисплатина и циклоспорина; дигоксина, мочегонных препаратов (субстанции относятся к Запрещенному списку WADA), этанола (запрещен в ряде видов спорта в соревновательный период), запрещенных гормонов поджелудочной железы – глюкагона и инсулина; слабительных препаратов, оральных контрацептивов, пентамидина, фенитоина.

Нужно отметить, что общий дефицит магния в организме может развиваться и при нормальной его концентрации в плазме, что играет существенную роль в патогенезе многих сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе при развитии перенапряжения сердца, и мышечной патологии (синдромы микроповреждения мышц EIMD и DOMS не являются исключением). Снижение содержания магния может сопровождаться судорогами, мышечными подергиваниями, нейромышечной сверхвозбудимостью и др. Часто дефицит магния и калия

взаимосвязаны: хроническую гипомагниемии выявляют у 42 % спортсменов с гипокалиемией [26]. Компенсировать дефицит магния у спортсменов рекомендуется с помощью комбинированных препаратов – магне В<sub>6</sub> и др., желательно содержащих калий (панангин seu аспаркам – калия-магния аспарагинат) под строгим клинико-лабораторным контролем.

Тщательно контролировать содержание магния необходимо всем лицам, профессионально занимающимся спортом, ведущим активный здоровый образ жизни (фитнес, аэробика, оздоровительный бег и др.), часто посещающим сауны и бани, а также при использовании рационов для снижения массы тела. Необходимо адекватное поступление в организм продуктов, богатых магнием (гречневая и овсяная крупа, темный (горький) шоколад, орехи (кунжут, кешью, кедровый и грецкий, пекан, арахис, фисташки и др.), какао-бобы, хлеб, крупы, необработанные злаки, зелень, шпинат, соя, горох, пшеничная мука, арбуз). У спортсменов с повышенным потоотделением и при тренировочном и соревновательном процессе в условиях жаркого климата необходимо регулярно контролировать содержание магния и проводить профилактическую коррекцию его содержания [10].

**Кальций** является одним из основных макроэлементов в организме и важнейшим, наряду с калием и магнием, контролируемым электролитом ( $\text{Ca}^{+2}$ ) сыворотки крови. Он играет важную роль в координации проницаемости клеточных мембран, внутриклеточных процессов, нервной проводимости, процессах мышечного сокращения, поддержания работы сердечно-сосудистой системы, формирования костей и минерализации зубов, участвует в важнейшем этапе работы системы гемостаза – свертывании крови. Общее содержание кальция в сыворотке/плазме крови в условиях мышечного покоя составляет 2,0–2,8 ммоль·л<sup>-1</sup>, содержание ионизированного кальция колеблется в пределах 0,99–1,15 ммоль·л<sup>-1</sup>.

Биологическая роль кальция разнообразна и заключается в его влиянии на проницаемость биологических мембран, нервно-мышечную проводимость, участия в сокращении скелетной мускулатуры, поддержании работы сердечно-сосудистой системы и др. Кальций входит в состав костной ткани, зубов и хрящей, воздействует на обмен веществ. Ионы кальция ( $\text{Ca}^{+2}$ ) участвуют также в процессах свертывания крови как «фактор IV» [77], в регуляции секреторной деятельности желудка, оказывают противовоспалительное и десенсибилизирующее действие и находятся в биологическом антагонизме с ионами натрия и калия. Основными кальций-регулирующими факторами в организме являются паратгормон, кальцитонин и витамин D<sub>3</sub>, однако и другие биологически активные вещества, такие как эстрогены и андрогены, также влияют на метаболизм кальция [33, 42]. Количество белков в крови тоже влияет на уровень кальция, поскольку 45 % сывороточного кальция связывается с альбумином.

Среди элементов, которые входят в состав тела человека, кальций (по массовой части) занимает пятое место

после четырех главных элементов – углерода, кислорода, водорода и азота; относится к таким же важным для организма человека макроэлементам, как калий, натрий, железо. Кальций, с одной стороны, выполняет важную пластическую функцию, образуя прочные соединения с белками, фосфолипидами и органическими кислотами, а с другой – влияет на протекающие в организме физиологические и биохимические процессы. Он принимает участие в регуляции проницаемости клеточных мембран, механизме мышечного сокращения, секреции и действии гормонов, контролирует ряд ферментных процессов [22, 23, 28, 37, 63, 72, 73, 76]. Недавно было показано, что кальций является одной из важнейших сигнальных молекул в организме, в частности, при регуляции метаболизма глюкозы и инсулина [43].

Важна роль кальция и как нейротрансмиттера: даже кратковременное повышение его концентрации происходит в астроцитах и высвобождает «глиотрансмиттеры», которые действуют на нейроны и гладкую мускулатуру сосудов [19]. При этом астроциты ( $\text{Ca}^{2+}$ ) являются мощными регуляторами нейронного пика, синаптической пластичности и мозгового кровотока, что очень важно для поддержания не только функционального состояния центральной нервной системы у спортсменов, но и играет определенную роль в формировании их психофизиологических характеристик.

Весь кальций в организме человека представлен в виде трех основных форм:

- 1) ионизированный кальций (около 55 %);
- 2) кальций, связанный с белками, в основном с альбумином (около 35 %);
- 3) кальций в комплексе с низкомолекулярными веществами – лактатом, фосфатом, бикарбонатами, цитратом и др. (около 10 %).

Связанный кальций является физиологически инертным, но представляет собой депо кальция и осуществляет функцию регулирования его содержания в организме [72].

В плазме кальций представлен двумя фракциями: диффундирующей (комплексы кальция с белками – примерно 1/3 общего количества) и недиффундирующей (ионизированный кальций и комплексы его с кислотами; приблизительно 2/3 общего содержания).

Комплексы кальция с белками служат своего рода депо этого минерала [68]. Резкое изменение концентрации ионизированного кальция имеет весьма тяжелые последствия: нарушение минерализации костной ткани, развитие рахита (в детском и подростковом возрасте) и остеомалации, снижение и утрата мышечного тонуса, повышенная возбудимость двигательных нейронов.

Комплекс ионизированного кальция с белком оказывает влияние не только на активность большого числа ферментов и транспорт ионов, но и на функционирование многих структурных элементов в клетке. Прежде всего, это актин-миозиновый комплекс гладких мышц, а в других клетках – микрофиламенты, которые влияют на

подвижность, изменение формы клеток, высвобождение секреторных гранул, процесс эндоцитоза. Не менее значима роль ионизированного кальция как медиатора действия гормонов – вазопрессина, адренокортикотропного гормона, ангиотензина II, серотонина, гонадолиберина, лютеинизирующего гормона. Таким образом, ионизированный кальций в организме спортсмена играет важнейшую роль в процессах мышечного сокращения и поддержания водно-электролитного баланса [10], т.е. гомеостатических факторов, чрезвычайно необходимых для достижения высокого уровня физической и функциональной подготовленности.

В последнее время показано, что путем снижения энергетического бремени кальциевого стресса в митохондриях можно стабилизировать митохондриальные мембраны через модуляцию белка SS-31, который изменяет распределение двухвалентных катионов кальция в межфазной области [54]. Таким образом, не только недостаток, но и избыток кальция в организме может оказаться вредным для его функционирования.

Физиология обмена кальция такова, что максимальное выведение происходит в ночное время. В клетках концентрация  $Ca^{2+}$  незначительна; в основном эта форма связана с белками и фосфолипидами клеточных мембран и мембран органелл. Во внеклеточной жидкости концентрация кальция выше, а градиент концентрации ионов кальция по разные стороны мембраны поддерживается с помощью кальциевого насоса. В костях кальций представлен фосфатами, карбонатами, солями органических кислот. Минеральные компоненты костной ткани находятся в состоянии химического равновесия с ионами кальция и фосфата сыворотки крови. При недостаточном поступлении кальция в период роста организм не способен достичь генетически запрограммированной пиковой массы. У взрослого человека за одни сутки из костной ткани выводится до 700 мг кальция и столько же откладывается вновь. Следовательно, костная ткань, помимо опорной функции, играет роль депо кальция и фосфора, откуда организм извлекает их при недостатке [8, 63].

Постоянно происходящие процессы резорбции и образования новой костной ткани регулируются разными факторами. К ним относят кальций-регулирующие гормоны: паратгормон, кальцитонин, а также активный метаболит витамина  $D_3$  – кальцитриол (рис. 1).

Регуляция образования кальцитриола осуществляется преимущественно на уровне фермента  $1\alpha$ -гидроксилазы проксимальных почечных канальцев; биосинтез этого фермента стимулируется паратгормоном и/или сниженным содержанием фосфата крови. Активный гормон не только ингибирует свою продукцию по механизму отрицательной обратной связи (подавляя продукцию паратиреоидного гормона и экспрессию  $1\alpha$ -гидроксилазы), но и усиливает собственную деградацию, стимулируя транскрипцию 24-гидроксилазы.

Витамин  $D_3$  и его гидроксилированные метаболиты, включая кальцитриол, транспортируются в комплексе с

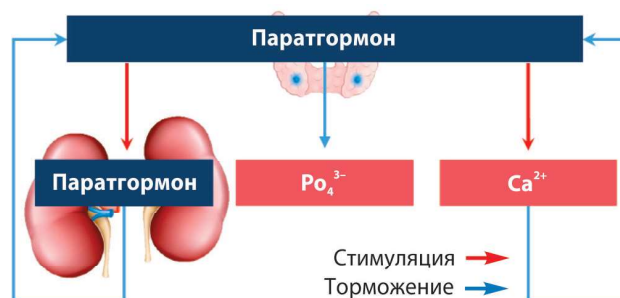


РИСУНОК 1 – Регуляторные факторы, влияющие на концентрацию  $Ca^{2+}$  в сыворотке крови, и связи между ними (цит. по: [78])

транспортным белком крови, связывающим витамин D (транскальциферин). Причем образовавшийся в печени 25-гидроксивитамин D (25D(OH)) обладает наивысшим сродством к этому белку. В отличие от большинства гормонсвязывающих белков, витамин D-связывающий белок не регулирует биодоступность, а направленно транспортирует 25-гидрокси-витамин D из первичной мочи в проксимальные трубочки для  $1\alpha$ -гидроксилирования и активации. Рецептор кальцитриола относится к надсемейству ядерных рецепторов и экспрессируется в классических органах-мишенях кальцитриола (кишечник, кости, почки, паращитовидные железы) и многих других. Кальцитриол владеет множеством важных для минерального обмена функций, причем в различных тканях и органах. Он способствует поддержанию постоянной концентрации внеклеточного  $Ca^{2+}$ , действуя на кишечник, кости, почки и паращитовидные железы. Это основной стимулятор всасывания  $Ca^{2+}$  и фосфатов в тонком кишечнике. Регуляция всасывания под действием кальцитриола может затрагивать различные механизмы (облегчённую диффузию, везикулярный транспорт) в зависимости от отдела кишечника.

Кальцитриол стимулирует накопление  $Ca^{2+}$  в остеоцитах и остеобластах, участвует в развитии и минерализации костной ткани, ремоделировании костей (совместно с паратгормоном, потенцируя действие последнего), стимулирует реабсорбцию  $Ca^{2+}$  в дистальных почечных канальцах, снижая его экскрецию с мочой. Это происходит за счет увеличения экспрессии генов системы трансцеллюлярного транспорта  $Ca^{2+}$ . Снижение выведения ионов  $Ca^{2+}$  почками приводит к повышению их концентрации в крови. В паращитовидной железе кальцитриол подавляет транскрипцию гена паратгормона. Действуя на другие ткани, он стимулирует секрецию кальцитонина С-клетками щитовидной железы и адреналина мозговым слоем надпочечников [25]. Из описанного следует, что, изучая содержание кальция у спортсменов как динамический фактор оценки функционального состояния, нельзя оставлять без внимания колебания уровня кальцитриола. Этот фактор должен быть отнесен к числу обязательных критериев лабораторного контроля состояния спортсмена в динамике тренировочного процесса.

Другим важным фактором обмена кальция является кальцитонин. Это гипокальциемический и гипофосфатемический гормон, синтезируемый С-клетками щитовидной железы. Продукцию кальцитонина стимулируют гастрин,  $\text{Ca}^{2+}$ , глюкагон и глюкагоноподобный пептид 1 (GLP 1), эндогенная секреция которых растет в ответ на прием пищи [52]; наибольшим эффектом в этом процессе обладает гастрин. Предполагают, что увеличение секреции кальцитонина в ответ на эти гормоны является защитой от пищевой гиперкальциемии. В этом проявляется его основная функция, поскольку удаление щитовидных желез практически не меняет содержание  $\text{Ca}^{2+}$  и фосфата в крови. Повышение концентраций  $\text{Ca}^{2+}$  и кальцитриола в крови также стимулирует секрецию кальцитонина.

Рецепторами кальцитонина являются белки надсемейства рецепторов, сопряженных с Gs-белками, а сигнал передается по аденилатциклазному пути за счет увеличения продукции цАМФ. В норме вклад кальцитонина в регуляцию уровня  $\text{Ca}^{2+}$  в крови относительно невелик и заключается в защите от пищевой гиперкальциемии, однако при аномалиях работы паращитовидной железы эффекты кальцитонина отчетливо видны. В костной ткани он тормозит дифференцировку предшественников-остеокластов, ослабляет резорбцию костей и высвобождение из них  $\text{Ca}^{2+}$  и фосфатов. Это позволяет считать кальцитонин антагонистом паратиреоидного гормона, или паратгормона. В кишечнике кальцитонин снижает трансцеллюлярный транспорт  $\text{Ca}^{2+}$ , в почках подавляет реабсорбцию  $\text{Ca}^{2+}$  и фосфата. Однако этот эффект выражен только при физиологических концентрациях гормона. Как и паратгормон, в почках усиливает экспрессию  $1\alpha$ -гидроксилазы – ключевого фермента синтеза кальцитриола. Кроме описанных гормонов, в регуляции гомеостаза  $\text{Ca}^{2+}$  участвуют глюкокортикоиды, тормозящие ремоделинг костей (подавляют дифференцировку остеобластов, всасывание  $\text{Ca}^{2+}$  кишечником и его реабсорбцию почками), эстрогены, увеличивающие прочность костей (стимулируют продукцию кальцитонина, работу остеобластов) и некоторые другие [75]. Взаимосвязи гормонов, регулирующих обмен кальция, представлены на рисунке 1.

На метаболизм кальция в организме большое влияние оказывают пищевые продукты. Так, богатым источником кальция являются молоко, молочные и кисломолочные продукты, поэтому они должны содержаться в рационе спортсменов в достаточном количестве. Биодоступность кальция зависит от его соотношения с ингредиентами пищи, в основном с жирами, магнием и фосфором. Большое значение для динамики концентрации кальция имеет секреция кортизола. Так, у спортсменов с высоким содержанием кортизола в крови часто отмечается потеря кальция.

Повышенное потребление кальция отмечается при усиленном формировании костной ткани у подростков и спортсменов при высоких физических нагрузках. При

интенсивном росте организма дефицит кальция проявляется мышечными болями и судорогами [8], что имеет эрголитическое влияние. Характер изменений кальция в крови отражает функциональное состояние организма спортсменов, поэтому эти данные можно использовать как дополнительные диагностические критерии, позволяющие судить об интенсивности минерального и энергетического обмена, а также о возможности своевременного выявления предпатологических состояний. Появление мышечных судорог после тренировочных занятий и соревнований требует дополнительного приема микроэлементов, содержащих кальций и витамин D [30]. Нормальная и стабильная концентрация кальция – не только обязательное условие нормальной жизнедеятельности организма, но также своевременная коррекция минерального состава и микроэлементов, является важнейшим средством профилактики травматизма и нарушений в работе сердца у спортсменов в условиях использования напряженных тренировочных и соревновательных нагрузок [36].

Общее содержание кальция в организме мужчины составляет приблизительно 1,5 кг, женщины – около 1,0 кг, из которых 99 % – в костях скелета; при этом содержание свободного, т.е. ионизированного, кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) составляет от 43 до 50 % уровня общего кальция. Из этого количества 1 % кальция в ионизированной форме циркулирует в крови и межклеточной жидкости, участвуя в регуляции нервно-мышечной проводимости, сосудистого тонуса, продукции гормонов, проницаемости капилляров, обеспечении репродуктивной функции, свертываемости крови, а также препятствуя депонированию в организме токсинов, тяжелых металлов и радиоактивных элементов [10].

*Гипокальциемия* характерна для усиленного расходования кальция при интенсивных длительных физических и психоэмоциональных нагрузках, стрессовых ситуациях, несбалансированном рационе, а также при потере этого макроэлемента вследствие несанкционированного и неконтролируемого приема диуретиков и чрезмерного употребления продуктов, содержащих кофеин. Наличие хронического панкреатита, особенно в стадии обострения, весьма частого у спортсменов и являющегося одним из критериев переутомления и перетренированности, также провоцирует гипокальциемию [10]. Синдромами, сопутствующими гипокальциемии у спортсменов, являются слабость и утомляемость, болевые ощущения, спазмы в мышцах, боли в костях, нарушения осанки и походки, повышение кровоточивости, что дает основания расценивать недостаток этого макроэлемента как один из признаков развития утомления [10].

*Гиперкальциемия* (повышение содержания кальция) в сыворотке/плазме крови спортсменов наблюдается при повышенном потоотделении и несвоевременном восполнении водно-электролитного баланса, что приводит к развитию переутомления. При гиперкальциемии,

сопутствующей чрезмерному длительному поступлению кальция с продуктами питания (при избыточном потреблении творога, твердого сыра и др.), нерегламентированному использованию медикаментозных средств (препаратов и пищевых добавок), содержащих кальций и/или витамин D, возникают нарушения кальциевого обмена, включая связанные с дисфункцией центральной нервной системы, щитовидной и околощитовидных желез. При этом у спортсменов наблюдаются угнетение возбудимости нервных волокон и ослабление сократительной способности скелетной и гладкой мускулатуры [10].

Оценка выраженности гипо- и гиперкальциемии как факторов утомления должна сочетаться у спортсменов с анализом соответствующей клинической симптоматики, сбором данных анамнеза, а также получением сведений об интенсивности и длительности физических нагрузок и перечне принимаемых спортсменом фармакологических эргогенных средств. Для диагностики утомления могут использоваться также значения колебаний содержания других важных минералов – магния, цинка, хрома, меди, но это имеет меньшее диагностическое значение.

Наибольшее физиологическое значение имеет ионизированный кальций. Для адекватного суждения о состоянии кальциевого обмена целесообразно определять общий кальций и его ионизированную фракцию.

Референтные значения содержания общего кальция в плазме крови здоровых людей составляют 2,0–2,6 ммоль·л<sup>-1</sup>, содержание ионизированного кальция – 1,10–1,40 ммоль·л<sup>-1</sup>. Наиболее точно методологически концентрацию Ca<sup>2+</sup>, как показано в работах [7, 60], можно определить при анализе показателей кислотно-основного состояния.

На концентрацию кальция в крови влияют многие факторы – белки, магний (необходимо обязательно исследовать концентрацию магния, если обнаруживается гипокальциемия). Очень важным является то обстоятельство, что алкалоз увеличивает связывание и снижает концентрацию, а ацидоз, напротив, снижает связывание и увеличивает концентрацию ионизированного кальция в крови. Определение свободного кальция позволяет более точно оценить состояние кальциевого обмена, особенно у спортсменов после травм, тех, кто получает гепарин, бикарбонаты, препараты кальция и магния. Определение ионизированного кальция более информативно, по сравнению с исследованием общего кальция, для диагностики гиперкальциемических состояний, в частности при первичном гиперпаратиреозе, для которого характерно повышение в крови концентрации свободного кальция и неизменный уровень общего кальция.

Факторами, влияющими на содержание кальция в сыворотке крови спортсменов, являются следующие:

1. *Избыточное потоотделение.* При неадекватной регидратации спортсмена в динамике тренировочных занятий содержание кальция в сыворотке крови увеличивается.

2. *Пол и возраст.* Группой риска дефицита кальция являются женщины, дети и подростки, поэтому для них особенно актуально адекватное поступление кальция.

3. *Эндокринные нарушения.* При нарушении функции паращитовидных желез и гиперпаратиреозе наблюдается гиперкальциемия.

4. *Уровень витамина D<sub>3</sub>.* Повышенное поступление в организм извне этого витамина (в виде холекальциферола) может быть причиной гиперкальциемии. Поэтому у спортсменов рациональным является одновременный контроль содержания кальция и витамина D<sub>3</sub>.

5. *Питьевой режим.* Избыточная дегидратация и неадекватная регидратация могут приводить к увеличению содержания кальция в крови; гипергидратация, напротив, сопровождается снижением содержания кальция.

6. *Вид, интенсивность и продолжительность тренировочных нагрузок.* Кальций имеет большое значение для поддержания здоровья и работоспособности спортсменов, поскольку принимает участие в регуляции нервно-мышечной проводимости, поддержании тонуса сосудов, продукции гормонов и др. При повышенном потоотделении и несвоевременной коррекции водно-электролитного баланса наблюдается гиперкальциемия, что может приводить к развитию утомления.

7. *Применение фармакологических препаратов,* содержащих кальций и магний, а также белковых растворов, бикарбонатов извращает истинные показатели содержания кальция в сыворотке крови. Повышает содержание кальция применение тамоксифена (у женщин; относится к Запрещенному списку WADA), антагонистов андрогенов (относятся к Запрещенному списку WADA), соли кальция, прогестерона, витаминов D<sub>3</sub> и A, а также длительный прием диуретиков (относятся к Запрещенному списку WADA). Снижением содержания кальция в сыворотке крови спортсменов сопровождается прием аминокликозидов, барбитуратов, кальцитонина, карбамазепина; стероидов и диуретиков (и те, и другие относятся к Запрещенному списку WADA); эстрогенов (в постменопаузе), гормонов поджелудочной железы глюкагона и инсулина (относятся к Запрещенному списку WADA), глюкозы, магниевых солей, метициллина, солевых растворов (эффект наблюдается в случае гиперкальциемии).

При подозрении на дефицит кальция необходимо проводить исследование содержания не только общего кальция, но и ионизированного. Для обеспечения необходимого содержания кальция в организме обязательным является адекватное поступление продуктов, богатых кальцием. Лучший источник кальция – молочные продукты. Согласно рекомендациям МОК по потреблению кальция, спортсмены должны включать как минимум три раза в день порцию молочных продуктов (например, 200 мл нежирного молока, 30 г сыра или 200 мл йогурта) [27]. Кроме того, кальций содержится в кунжуте, миндале, консервированной рыбе вместе с костями (например, сардины в масле и др.), кешью, кедровых

орехах, зеленых листовых овощах (брокколи, петрушке, шпинате и др.), соевых продуктах [10].

Следует помнить, что содержание ионизированного кальция, при котором возможно возникновение тетании<sup>1</sup> и судорог, составляет < 0,8 ммоль·л<sup>-1</sup>; критический уровень кальция, угрожающий жизни, равен ≤ 0,7–0,5 ммоль·л<sup>-1</sup>. В связи со сказанным, постоянный мониторинг содержания кальция, представляющий собой несложную диагностическую процедуру, должен проводиться в спорте высших достижений регулярно, а в ситуациях, связанных с длительной аэробной работой, приобретает чрезвычайную важность.

**Заключение.** Традиционно многие биомаркеры, а контролируемые электролиты сыворотки крови относятся к первой линейке таких факторов, представляют интерес для спорта с целью оценки физической и функциональной подготовленности атлетов и выявления перетренированности [17]. В последние годы возрастает интерес к биомаркерам, оценка содержания которых в организме направлена на аспекты, связанные не только с физической работоспособностью и профессиональной успешностью спортсменов, но и с поддержанием

системообразующих параметров гомеостатического равновесия как с фактором поддержания здоровья и спортивного долголетия [49].

К числу таких показателей относятся контролируемые электролиты сыворотки крови – калий, натрий, кальций, магний [18], содержание которых должно обязательно мониториться в спортивной лабораторной диагностике в связи с многогранным влиянием этих показателей на функциональное состояние организма спортсмена [27, 70]. Важно отметить, что указанные минералы не всегда имеют прямое отношение к поддержанию и стимуляции физической работоспособности [20], однако их многогранная регуляторная роль в организме, с учетом гендерной разницы, делает регулярный биохимический мониторинг уровня этих биомаркеров крайне важным не только для достижения высокого спортивного результата, но и профилактики формирования различных патофизиологических состояний в организме [40, 41]. Такой подход, конкретизированный для каждого отдельного высококвалифицированного спортсмена, позволяет своевременно профилактировать развитие переутомления и перетренированности у спортсменов и, таким образом, обеспечить опосредованное улучшение эффективности соревновательной деятельности [10].

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

<sup>1</sup> **Тетания** (древнегреч. τέτανος – натяжение, напряжение, судорога) – медицинский термин, обозначающий непроизвольные болезненные сокращения мышц, которые могут быть вызваны гомеостатическими нарушениями и патологическими состояниями, увеличивающими потенциал действия частоты мышечных клеток или нервов, иннервирующих их (прим. авт.).

## Література

- Винничук ЮД, Гунина ЛМ. Диагностика нарушений обмена железа и эритроцитарных характеристик у спортсменок при физических нагрузках [Diagnosis of impaired iron metabolism and red blood cell characteristics in female athletes under physical exertion]. *Лабораторна діагностика*. 2016;(4): 17–22.
- Громова ОА, Егорова ЕЮ, Торшин ИЮ, Громов АН, Гоголева ИВ. О роли магния в спортивной медицине [On the role of magnesium in sports medicine]. *Российский медицинский журнал*. 2016;(9): 560–571.
- Дмитриев АВ, Гунина ЛМ. Спортивная нутрициология [Sports nutritionology]. Москва: Спорт, 2020. 639 с.
- Иорданская ФА, Абрамова ТВ. Современные подходы к организации научно-методического обеспечения подготовки спортсменов в классическом и пляжном волейболе [Modern approaches to the organization of scientific and methodological support of athletes' training in classical and beach volleyball]. В кн. «Тренируйся как чемпион. Классический и пляжный волейбол», авт. коллект. Алекно В, Иорданская Ф, Колец Д, Абрамова Т, Саммелвуо Т и соавт. Тверь: ИПК «Парето-Принт». 2020. 206–288.
- Иорданская ФА, Цепкова НК. Фосфор крови: диагностическое и прогностическое значение в мониторинге функционального состояния высококвалифицированных спортсменов [Blood phosphorus: diagnostic and prognostic role in monitoring the functional status of highly skilled athletes]. *Вестник спортивной науки*. 2011;(4): 30–33.
- Иорданская ФА, Цепкова НК, Кряжева СВ. Диагностическое и прогностическое значение микроэлементов крови в мониторинге функциональной подготовленности высококвалифицированных спортсменов [Diagnostic and prognostic value of blood trace elements in the monitoring of functional fitness of highly qualified athletes]. Научно-методическое пособие. Москва, ООО «Скайпринт». 2013. 112 с.
- Макарова ГА, Холявко ЮА. Лабораторные показатели в практике спортивного врача: Справочное руководство [Laboratory indicators in the practice of a sports physician]. Москва: Советский спорт. 2006. 199 с.
- Мойса СС, Ноздрачев АД. Особенности регуляции обмена кальция в разные периоды роста и развития [Peculiarities of calcium metabolism regulation in different periods of growth and development]. *Успехи геронтологии*. 2014;27(1): 62–71.
- Решетняк ОА, Евстафьева ИА, Евстафьева ЕВ, Решетняк АВ. Особенности адаптации сердечно-сосудистой системы спортсменов к физической нагрузке в зависимости от уровня содержания кадмия, калия и кальция в организме. *Вестник Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия. «Биология, химия»*. 2011;24(63, Вып. 4): 211–217.
- Рыбина ИЛ, Гунина ЛМ. Лабораторные маркеры контроля и управления тренировочным процессом спортсменов: наука и практика [Laboratory markers of control and management of athletes' training process: science and practice]. Москва: Спорт. 2021. 372 с.
- Скальный АВ, Орджоникидзе ЗГ, Громова ОА. Макро- и микроэлементы в физической культуре и спорте [Macro- and micronutrients in physical education and sport.]. Москва: МНПЦСМ. 2000. 71 с.
- Цепкова НК. Показатели электролитов крови у велосипедистов [Blood electrolyte indices in cyclists]. *Вестник спортивной науки*. 2004;1(3): 30–35.
- Цыганенко АЯ, Жуков ВИ, Мясоедов ВВ, Завгородний НВ. Клиническая биохимия [Clinical biochemistry]. Москва: Триада-Х. 2002. 496 с.
- Adrogué HJ, Madias NE. Sodium and potassium in the pathogenesis of hypertension. Sodium and potassium in the pathogenesis of hypertension: focus on the brain. *Curr Opin Nephrol Hypertens*. 2017;26(2):106–113. doi: 10.1097/MNH.0000000000000301.
- Ari E, Kaya Y, Demir H, Ascioglu E, Keskin S. The correlation of serum trace elements and heavy metals with carotid artery atherosclerosis in maintenance hemodialysis patients. *Biol Trace Elem Res*. 2011;144(1-3): 351–319. doi: 10.1007/s12011-011-9103-0.
- Arnaoutis G, Anastasiou CA, Suh H, Maraki M, Tsekouras Y, et al. Exercise-Associated Hyponatremia during the Olympus Marathon Ultra-Endurance Trail Run. *Nutrients*. 2020;12(4). pii: E997. doi: 10.3390/nu12040997.

17. Baker LB, Wolfe AS. Physiological mechanisms determining eccrine sweat composition. *Eur J Appl Physiol*. 2020 Apr;120(4):719–752. doi: 10.1007/s00421-020-04323-7.
18. Banks RE, Domínguez DC. Sports-Related Concussion: Neurometabolic Aspects. *Semin Speech Lang*. 2019;40(5): 333–343. doi: 10.1055/s-0039-1679887.
19. Bazargani N, Attwell D. Astrocyte calcium signaling: the third wave. *Nat Neurosci*. 2016;19(2): 182–189. doi: 10.1038/nn.4201.
20. Bednarek A, Pasternak K, Karska M. Evaluation of blood serum, erythrocyte and urine magnesium concentrations in babies with pneumonia or bronchial obstructive bronchitis. *Magnes Res*. 2003;16(4): 271–280.
21. Bielinski RW. [Magnesium and exercise]. *Rev Med Suisse*. 2006;2(74): 1783–1786. (Article in French).
22. Blaine J, Chonchol M, Levi M. Renal control of calcium, phosphate, and magnesium homeostasis. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2015;10(7): 1257–1272. doi: 10.2215/CJN.09750913.
23. Bronner F. Extracellular and intracellular regulation of calcium homeostasis. *Scientific World Journal*. 2001;1: 919–925. doi: 10.1100/tsw.2001.489.
24. Buchman AL, Keen C, Comisso J, Killip D, Ou CN et al. The effect of a marathon run on plasma and urine mineral and metal concentrations. *J Am Coll Nutr*. 1998;17(2): 124–127. doi: 10.1080/07315724.1998.10718737.
25. Carrillo-López N, Fernández-Martin JL, Cannata-Andía JB. The role of calcium, calcitriol and their receptors in parathyroid regulation. *Nefrología*. 2009;29(2):103–8. doi: 10.3265/Nefrología.2009.29.2.5154.en.full.
26. Chycki J, Golas A, Halz M, Maszczyk A, Toborek M, Zajac A. Chronic Ingestion of Sodium and Potassium Bicarbonate, with Potassium, Magnesium and Calcium Citrate Improves Anaerobic Performance in Elite Soccer Players. *Nutrients*. 2018;10(11). pii: E1610. doi: 10.3390/nu10111610.
27. Clarkson PM, Haymes EM. Exercise and mineral status of athletes: calcium, magnesium, phosphorus, and iron. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27(6): 831–843.
28. Clifford T, Allerton DM, Brown MA, Harper L, Horsburgh S, Keane KM, Stevenson EJ, Howatson G. Minimal muscle damage after a marathon and no influence of beetroot juice on inflammation and recovery. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2017;42(3): 263–270. doi: 10.1139/apnm-2016-0525.
29. Cohen I, Zimmerman AL. Changes in serum electrolyte levels during marathon running. *S Afr Med J*. 1978;53(12): 449–453.
30. Craighead DH, Shank SW, Gottschall JS, Passe DH, Murray B, et al. Ingestion of transient receptor potential channel agonists attenuates exercise-induced muscle cramps. *Muscle Nerve*. 2017;56(3): 379–385. doi: 10.1002/mus.25611.
31. Cvetkovic A, Menon AL, Thorgersen MP, Scott JW, Poole FL et al. Microbial metalloproteomes are largely uncharacterized. *Nature*. 2010;466(7307): 779–782. doi: 10.1038/nature09265.
32. Danalache M, Kliesch SM, Munz M, Naros A, Reinert S, Alexander D. Quality Analysis of Minerals Formed by Jaw Periosteal Cells under Different Culture Conditions. *Int J Mol Sci*. 2019;20(17): 4193. doi: 10.3390/ijms20174193.
33. Dick IM, Devine A, Beilby J, Prince RL. Effects of endogenous estrogen on renal calcium and phosphate handling in elderly women. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2005;288(2): E430–435. doi: 10.1152/ajpendo.00140.2004.
34. Eder M, Amini S, Fratzl P. Biological composites-complex structures for functional diversity. *Science*. 2018;362(6414): 543–547. doi: 10.1126/science.aat8297.
35. Gell DA. Structure and function of haemoglobins. *Blood Cells Mol Dis*. 2018;70: 13–42. doi: 10.1016/j.bcmd.2017.10.006.
36. Goyal A, Singh S. Hypocalcemia. 2020 Jun 22. In: *StatPearls* [Internet resource]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 Jan.
37. He GF, Yang LL, Luo SM, Ma JY, Ge ZJ, Shen W, Yin S, Sun QY. The role of L-type calcium channels in mouse oocyte maturation, activation and early embryonic development. *Theriogenology*. 2017;102: 67–74. doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.07.012.
38. Hew-Butler T. Exercise-Associated Hyponatremia. *Front Horm Res*. 2019;52: 178–189. doi: 10.1159/000493247.
39. Hew-Butler T, Loi V, Pani A, Rosner MH. Exercise-Associated Hyponatremia: 2017 Update. *Front Med (Lausanne)*. 2017;4:1–21. doi: 10.3389/fmed.2017.00021.eCollection2017.
40. Hoppel F, Calabria E, Pesta D, Kantner-Rumplmair W, Gnaiger E, Burtscher M. Physiological and Pathophysiological Responses to Ultramarathon Running in Non-elite Runners. *Front Physiol*. 2019;10: 1300. doi: 10.3389/fphys.2019.01300.
41. Hoppel F, Calabria E, Pesta DH, Kantner-Rumplmair W, Gnaiger E, Burtscher M. Effects of Ultramarathon Running on Mitochondrial Function of Platelets and Oxidative Stress Parameters: A Pilot Study. *Front Physiol*. 2021;12:632664. doi: 10.3389/fphys.2021.632664.
42. Khalil R, Kim NR, Jardi F, Vanderschueren D, Claessens F, Decallonne B. Sex steroids and the kidney: role in renal calcium and phosphate handling. *Mol Cell Endocrinol*. 2018;465: 61–72. doi: 10.1016/j.mce.2017.11.011.
43. Klec C, Ziomek G, Pichler M, Malli R, Graier WF. Calcium Signaling in  $\beta$ -cell Physiology and Pathology: A Revisit. *Int J Mol Sci*. 2014;20(24). pii: E6110. doi: 10.3390/ijms20246110.
44. Knechtle B, Chlíbková D, Nikolaidis PT. [Exercise-Associated Hyponatremia in Endurance Performance]. *Praxis (Bern 1994)*. 2019;108(9): 615–632. (Article in German; Abstract available in German from the publisher). doi: 10.1024/1661-8157/a003261.
45. Krabak BJ, Lipman GS, Waite BL, Rundell SD. Exercise-Associated Hyponatremia, Hypermagnesemia, and Hydration Status in Multistage Ultramarathons. *Wilderness Environ Med*. 2017;28(4): 291–298. doi: 10.1016/j.wem.2017.05.008.
46. Krzewicki J. [Magnesium levels in the serum and erythrocytes measured by atomic absorption spectrophotometry]. *Pol Tyg Lek*. 1986;41(8): 251–253. (Article in Polish).
47. Kurth C, Kage H, Nett M. Siderophores as molecular tools in medical and environmental applications. *Org Biomol Chem*. 2016;14(35): 8212–8227. doi: 10.1039/c6ob01400c.
48. Laires MJ, Monteiro CP, Bicho M. Role of cellular magnesium in health and human disease. *Front Biosci*. 2004;9: 262–276.
49. Lee EC, Fragala MS, Kavouras SA, Queen RM, Pryor JL, Casa DJ. Biomarkers in Sports and Exercise: Tracking Health, Performance, and Recovery in Athletes. *J Strength Cond Res*. 2017;31(1): 2920–2937. doi: 10.1519/JSC.0000000000002122.
50. Li G, Xie F, Zhang J, Wang J, Yang Y, Sun R. Occurrence of phosphorus, iron, aluminum, silica, and calcium in a eutrophic lake during algae bloom sedimentation. *Water Sci Technol*. 2016;74(6): 1266–1273. doi: 10.2166/wst.2016.277.
51. Lukaski HC. Vitamin and mineral status: effects on physical performance. *Nutrition*. 2004;20(7–8): 632–644. doi: 10.1016/j.nut.2004.04.001.
52. Martinez TF, Vaughan J, Saghatelian A. Insights into GLP-1 Receptor Activation with a Nonpeptide Agonist. *Biochemistry*. 2020; 59(16):1549–1550. doi: 10.1021/acs.biochem.0c00180.
53. Menegussi J, Tatagiba LS, Vianna JGP, Seguro AC, Luchi WM. A physiology-based approach to a patient with hyperkalemic renal tubular acidosis. *J Bras Nefrol*. 2018;40(4): 410–417. doi: 10.1590/2175-8239-JBN-3821.
54. Mitchell W, Ng EA, Tamucci JD, Boyd KJ, Sathappa M, et al. The mitochondria-targeted peptide SS-31 binds lipid bilayers and modulates surface electrostatics as a key component of its mechanism of action. *J Biol Chem*. 2020;Apr 9: pii: jbc.RA119.012094. doi: 10.1074/jbc.RA119.012094.
55. Muhsin SA, Mount DB. Diagnosis and treatment of hypernatremia. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 2016;30(2): 189–203. doi: 10.1016/j.beem.2016.02.014.
56. Navas FJ, Martin JF, Cordova A. Compartmental shifts of calcium and magnesium as a result of swimming and swimming training in rats. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29(7): 882–891. doi: 10.1097/00005768-199707000-00007.
57. Palmer BF, Clegg DJ. Physiology and pathophysiology of potassium homeostasis. *Adv Physiol Educ*. 2016;40(4): 480–490. doi: 10.1152/advan.00121.2016.
58. Ridoutt BG, Baird D, Hendrie GA. The role of dairy foods in lower greenhouse gas emission and higher diet quality dietary patterns. *Eur J Nutr*. 2020; 10. doi: 10.1007/s00394-020-02245-w.
59. Rosner MH. Exercise-associated hyponatremia. *Trans Am Clin Climatol Assoc*. 2019;130: 76–87.
60. Shen P, Walker GD, Yuan Y, Reynolds C, Stanton DP, et al. Importance of bioavailable calcium in fluoride dentifrices for enamel remineralization. *J Dent*. 2018;78: 59–64. doi: 10.1016/j.jdent.2018.08.005.
61. Shen X, Nguyen TT, Koh MJ, Xu D, Speed AW, et al. Kinetically E-selective macrocyclic ring-closing metathesis. *Nature*. 2017;541(7637): 380–385. doi: 10.1038/nature20800.
62. Shimizu T, Lengalova A, Martínek V, Martinková M. Heme: emergent roles of heme in signal transduction, functional regulation and as catalytic centres. *Chem Soc Rev*. 2019;48(24): 5624–5657. doi: 10.1039/c9cs00268e.

63. Song L. Calcium and Bone Metabolism Indices. *Adv Clin Chem.* 2017;82: 1–46. doi: 10.1016/bs.acc.2017.06.005.
64. Speich M, Pineau A, Ballereau F. Minerals, trace elements and related biological variables in athletes and during physical activity. *Clin Chim Acta.* 2001;312(1-2): 1–11. doi: 10.1016/s0009-8981(01)00598-8.
65. Steward CJ, Zhou Y, Keane G, Cook MD, Liu Y, Cullen T. One week of magnesium supplementation lowers IL-6, muscle soreness and increases post-exercise blood glucose in response to downhill running. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119(11-12): 2617–2627. doi: 10.1007/s00421-019-04238-y.
66. Stone MS, Martyn L, Weaver CM. Potassium Intake, Bioavailability, Hypertension, and Glucose Control. *Nutrients.* 2016;8(7): 444. doi: 10.3390/nu8070444.
67. Terblanche S, Noakes TD, Dennis SC, Marais D, Eckert M. Failure of magnesium supplementation to influence marathon running performance or recovery in magnesium-replete subjects. *Int J Sport Nutr.* 1992;2(2): 154–164. doi: 10.1123/ijsn.2.2.154.
68. Thompson J. Vitamins, minerals and supplements. 6: minerals (1). *Community Pract.* 2007;80(2): 34–35.
69. Torshin I, Gromova O. Magnesium: fundamental studies and clinica practice. Nova Biomedical Publishers. NY, 2011. 210 p.
70. van Dronkelaar C, van Velzen A, Abdelrazek M, van der Steen A, Weijs PJM, Tieland M. Minerals and Sarcopenia; The Role of Calcium, Iron, Magnesium, Phosphorus, Potassium, Selenium, Sodium, and Zinc on Muscle Mass, Muscle Strength, and Physical Performance in Older Adults: A Systematic Review. *J Am Med Dir Assoc.* 2018;19(1): 6–11.e3. doi: 10.1016/j.jamda.2017.05.026.
71. Volpe SL. Magnesium and the Athlete. *Curr Sports Med Rep.* 2015;14(4):279-83. doi: 10.1249/JSR.0000000000000178.
72. Wilczek H. [The importance of calcium ions in the body]. *Cas Lek Cesk.* 1997;136(15): 479–481. (Article in Czech).
73. Wypych D, Pomorski P. Calcium Signaling in Glioma Cells: The Role of Nucleotide Receptors. *Adv Exp Med Biol.* 2020;1202: 67–86. doi: 10.1007/978-3-030-30651-9\_4.
74. Yasutake K, Nagafuchi M, Izu R, Kajiyama T, Imai K, et al. Sodium and potassium urinary excretion levels of preschool children: Individual, daily, and seasonal differences. *J Clin Hypertens (Greenwich).* 2017;19(6): 577–583. doi: 10.1111/jch.12966.
75. Yasutomo Y, Nagata N. Parathyroid hormone and calcitonin. *Nihon Rinsho.* 1992;50(12): 2925–2930.
76. Zhang Y, Xun P, Wang R, Mao L, He K. Can Magnesium Enhance Exercise Performance? *Nutrients.* 2017;9(9): 946. doi: 10.3390/nu9090946.
77. Zheng J, Zeng X, Wang S. Calcium ion as cellular messenger. *Sci China Life Sci.* 2015;58(1): 1–5. doi: 10.1007/s11427-014-4795-y.
78. <https://www.protera.by/promo/water/magniy-zdorovoe-serdtse-i-khoroshee-nastroenie/>

**Автор для кореспонденції:**

Гунина Лариса Михайлівна – д-р біол. наук, ст. наук. співроб., Навчально-науковий олімпійський інститут Національного університету фізичного виховання і спорту України  
ORCID: 0000-0002-6207-1117  
gunina.sport@gmail.com

**Corresponding author:**

Gunina Larysa – Dr. of Biology, senior research scientist, Academic and Research Olympic Institute, National University of Ukraine on Physical Education and Sport  
ORCID: 0000-0002-6207-1117  
gunina.sport@gmail.com

Надійшла 15.04.2021