

Оценка минерального статуса у юных спортсменов

Н.В. Рылова¹, Н.А. Троегубова¹, А.В. Жолинский², А.П. Середина², М.Г. Оганнисян²¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, Казань;²Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации ФМБА России, Москва, Россия

Assessment of mineral status in young athletes

N.V. Rylova¹, N.A. Troegubova¹, A.V. Zholinsky², A.P. Sereda², M.G. Hovhannisyan²¹Kazan State Medical University at the Ministry of Health of the Russian Federation;²Federal Research and Clinical Center of Sports Medicine and Rehabilitation of Federal Medical-Biological Agency of Russia», Moscow.

Статья посвящена изучению обмена наиболее важных биоэлементов для восстановления физической работоспособности юных атлетов — это кальций, магний, калий, железо, хром, цинк. Представлены современные отечественные и зарубежные исследования по вопросам диагностики и коррекции дисэлементозов у детей и подростков, занимающихся спортом. Обсуждаются особенности метаболизма организма ребенка, испытывающего предельные физические и психоэмоциональные нагрузки. Представлены данные о том, как реализуется взаимодействие макро- и микроэлементов между собой и как это взаимодействие отражается на тренировочной и соревновательной деятельности. Нарушение обмена минералов является одним из факторов, способных привести к широкому спектру расстройств в состоянии юных спортсменов.

Ключевые слова: дети, юные спортсмены, минералы, биоэлементы.

Для цитирования: Рылова Н.В., Троегубова Н.А., Жолинский А.В., Середина А.П., Оганнисян М.Г. Оценка минерального статуса у юных спортсменов. Рос вестн перинатол и педиатр 2017; 62(5): 175–183. DOI: 10.21508/1027-4065-2017-62-5-175-183

The article is devoted to the study of the exchange of the most important bioelements for the restoration of the physical working capacity of young athletes — calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), iron (Fe), chromium (Cr), zinc (Zn). Native and foreign studies on the diagnosis and correction of diselementosis in children and adolescents involved in sports are presented. The peculiarities of the metabolism of an organism of a child experiencing extreme physical and psychoemotional loads are discussed. And also data on how the interaction of macro — and microelements is realized among themselves, and how this interaction is reflected in training and competitive activities. The violation of the exchange of minerals is one of the factors that can lead to a wide range of disorders in the condition of young athletes.

Keywords: children, young athletes, minerals, bioelements.

For citation: Rylova N.V., Troegubova N.A., Zholinsky A.V., Sereda A.P., Hovhannisyan M.G. Assessment of mineral status in young athletes. Ros Vestn Perinatol i Peditr 2017; 62(5): 175–183 (in Russ). DOI: 10.21508/1027-4065-2017-62-5-175-183

По данным отечественных ученых, дисмакро- и микроэлементозы встречаются у подавляющего большинства населения различных регионов России. Но, несмотря на наличие широкомасштабных исследований дисбаланса минералов, проблема их высокой распространенности остается актуальной и до настоящего времени недостаточно изученной [1–4]. Имеется ограниченное количество сведений о взаимосвязях содержания минералов и показателей

деятельности спортсменов. В частности, нет полного представления о том, как реализуется в организме взаимодействие макро- и микроэлементов между собой и как это взаимодействие отражается на тренировочной и соревновательной деятельности.

Большинство исследований, в которых обсуждалась роль минералов при высокоинтенсивных занятиях спортом, касалось взрослых атлетов. В то же время дисэлементозы у юных спортсменов остаются наименее изученными, хотя и чрезвычайно распространенными состояниями. Известно, что организм атлета, испытывающий предельные физические и психоэмоциональные нагрузки, высокочувствителен к дефициту макро- и микроэлементов. Нарушение обмена минералов является одним из факторов, способных привести к широкому спектру расстройств в состоянии здоровья спортсмена.

Одной из главных задач при исследовании взаимосвязи между содержанием макро- и микроэлементов и состоянием здоровья является выбор чувствительных методов анализа и информативных биосубстратов. В настоящее время с целью получения высокоточного результата используются многоэлементные методы

© Коллектив авторов, 2017

Адрес для корреспонденции: Рылова Наталья Викторовна — д.м.н., проф. кафедры госпитальной педиатрии Казанского государственного медицинского университета

Троегубова Наталья Александровна — аспирант кафедры госпитальной педиатрии Казанского государственного медицинского университета 420012 Казань, ул. Бутлерова, д. 49

Жолинский Андрей Владимирович — к.м.н., директор Федерального научно-клинического центра спортивной медицины и реабилитации ФМБА России

Середина Андрей Петрович — д.м.н., вед. научн. сотр. Федерального научно-клинического центра спортивной медицины и реабилитации ФМБА Оганнисян Мкртыч Гагикович — к.б.н., начальник организационно-исследовательского отдела Федерального научно-клинического центра спортивной медицины и реабилитации ФМБА России

121059 Москва, ул. Б. Дорогомиловская, д. 5

атомно-эмиссионной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой. В связи с развитием профилактического направления в медицине все больший интерес привлекают исследования таких биологических субстратов, как волосы и слюна, так как неинвазивность, информативность, доступность забора материала представляют хорошие перспективы для осуществления массового контроля за состоянием здоровья атлетов.

Представления о макро- и микроэлементах

Учение о микроэлементах и микроэлементах заложено в 20-е годы XX столетия выдающимся русским ученым-биохимиком В.И. Вернадским. С 1920 по 1932 г. он опубликовал работы, показавшие связь между химическим составом живых организмов и химией земной коры. В дальнейшем вопрос был углубленно разработан А.П. Виноградовым (сформулировал понятие о биогеохимических провинциях), В.В. Ковальским, Г.А. Бабенко, А.П. Авцыным, А.А. Жаворонковым (создали учение о микроэлементах), В.Л. Сусликовым и др. [3–7]. С начала 1980-х годов интерес к проблеме микроэлементозов в России стал ослабевать, а за рубежом именно в это время начинается новый расцвет микроэлементологии.

Несмотря на длительную историю изучения химических элементов, на современном этапе остается немало вопросов. Так, до сих пор нет единой и совершенной классификации биоэлементов. Традиционно все минеральные вещества делят на три группы по содержанию их в организме человека: макроэлементы, концентрация которых в организме превышает 0,01%, микроэлементы — концентрация от 0,00001 до 0,01% и ультрамикроэлементы — концентрация ниже 0,000001%. В основе другой классификации лежат представления о физиологической роли химических элементов в организме. Согласно ей, химические элементы делятся на «эссенциальные» (жизненно необходимые), «условно-эссенциальные» и токсичные. В основе следующей классификации лежит «тропность» элементов к определенным органам и тканям. Согласно данной схеме, элементы предложено делить на три группы: локализующиеся в костной ткани, локализующиеся в ретикулоэндотелиальной системе и элементы, не обладающие тканевой специфичностью.

В последнее время обращают на себя внимание новые классификации биоэлементов. Так, И.С. Полянская (2014) предлагает перейти на единую международную классификацию биоэлементов с учетом действительного значения латинских приставок (макро-, милли-, микро-, наноэлементы) по среднему содержанию в крови или в женском молоке (содержание элементов в этой биологической среде в разных районах мира различается мало, в силу гомеостатических механизмов) [8].

Актуальной остается задача достоверной оценки минерального дисбаланса у человека (при многих болезнях и в условиях физиологической нормы). Трудности в решении этой проблемы связаны с отсутствием достоверных и обоснованных критериев элементного дисбаланса, особенно на его латентной (доклинической) стадии. Широко используемая в настоящее время количественная оценка минерального состава биосубстратов проявляет себя как валидный показатель нарушенного элементного гомеостаза лишь при крайних формах гипо- и гиперэлементозов, клиническая диагностика которых вполне доступна. Распознавание латентных форм элементозов (абсолютное большинство всех нарушений элементного гомеостаза) с помощью прямого измерения уровня минералов в биосубстратах является затруднительным [9].

Главной задачей при исследовании взаимосвязи содержания макро- и микроэлементов и состояния здоровья человека является выбор чувствительных методов анализа и информативных биосубстратов. С этой целью исследователями используются самые разнообразные инструментальные методы, в том числе молекулярно-абсорбционный, спектральный, электрохимический, хроматографический, радиохимический, атомно-абсорбционный. В последние годы все большее распространение получают многоэлементные методы: рентгенофлуоресцентный и нейтронно-активационный, а также методы атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Наиболее информативными маркерами воздействия химических элементов на ранней стадии клинической диагностики микроэлементозов принято считать те ткани и органы, которые депонируют и накапливают элементы. Так, цельная кровь, сыворотка крови, слюна, моча, ликвор, спинномозговая жидкость и др. являются информативными биосредами для диагностики состояния здоровья человека. Твердые ткани (волосы, ногти, зубы) представляют элементный статус, сформировавшийся на протяжении длительного времени, и также пригодны для исследований на больших группах населения. На современном этапе анализ элементов в отдельно взятой биологической среде организма представляется односторонним и необъективным, перспективными являются исследования, показывающие взаимоотношения между содержанием биоэлементов в различных субстратах [10]. Одни методы, например, определение элементов в крови и моче, уже давно используются специалистами различных медико-биологических направлений, другие, такие как определение микроэлементов в волосах, костной ткани, только сейчас входят во врачебную практику [10, 11].

Волосы являются отличным материалом для исследования макро- и микроэлементов. Концентрация химических элементов в волосах наиболее полно

отражает их тканевое содержание и хорошо коррелирует с элементным профилем внутренней среды организма, не зависит от суточной ритмики физиологических процессов и временных особенностей рациона. В исследованиях отечественных ученых показано, что химический состав волос — интегральный показатель, который подвержен более выраженным изменениям, чем цельная кровь, что определяет ценность данного биосубстрата, в том числе и на стадии донозологической диагностики [11].

Состав слюны, в отличие от сыворотки крови, стал предметом изучения только в последние десятилетия. Смешанная слюна — это биологическая жидкость, в состав которой входят белки, ферменты, гормоны, липиды, углеводы и минеральные компоненты из слюнных желез, сыворотки крови и тканей полости рта. Слюнные железы тонко реагируют на любые изменения в состоянии внутренних органов и систем организма, будь это патологический процесс или физиологическое состояние. Сбор и анализ слюны — один из новых и нетравматичных методов исследования в медицине, имеет хорошие перспективы для осуществления неинвазивных способов контроля за состоянием здоровья населения [12]. Доступность протоков и особенности регуляции слюноотделения создают удобства для исследования секрета желез в диагностических целях и не требуют специальных условий для сбора материала, что удобно при массовых обследованиях.

В настоящее время не вызывает сомнений значительная роль макро- и микроэлементов в многообразных функциях организма в целом и каждой клетки в отдельности. Микронутриенты проявляют убиквитарные функции, т.е. участвуют во всех биохимических процессах и оказывают влияние на нормальное функционирование всего организма. Причины дефицита микронутриентов многочисленны: недостаточное поступление в связи с низким содержанием элементов в продуктах питания, нарушение усвоения, увеличение потребности и др.

Нерациональное питание — наиболее распространенная причина недостатка минеральных веществ. В рационах детей и подростков снижено количество таких продуктов, как мясо, молоко, рыба, яйца, растительное масло, фрукты и овощи, а употребление рафинированных продуктов и продуктов низкого качества, содержащих большое количество углеводов (хлебобулочная продукция, картофель, сладости), постоянно увеличивается. Все это создает дефицит эссенциальных алиментарных факторов, снижает защитные силы организма, приводит к ухудшению показателей здоровья и антропометрических характеристик у детей, препятствует усвоению необходимых макро- и микроэлементов.

Широко распространенной формой недостаточности микроэлементов является субнормальная обеспеченность микронутриентами, которая встречается

у практически здоровых детей разного возраста. Основные ее причины — нарушения в питании беременных и кормящих матерей, нерациональное вскармливание детей первого года жизни, широкое использование в питании рафинированных продуктов, потеря микронутриентов при длительном хранении и кулинарной обработке. Субнормальная обеспеченность микронутриентами длительно протекает латентно и не сопровождается выраженными симптомами, но значительно снижает устойчивость детей к действию различных инфекций, их физическую и умственную работоспособность, замедляет сроки выздоровления больных [13–15].

Химический состав биологических объектов зависит и от биогеохимических особенностей региона. Известно, что на поверхности Земли обнаруживаются области с повышенным или пониженным содержанием определенных химических элементов. Так как совершенно нерастворимых в воде веществ нет, теоретически каждый химический элемент, содержащийся в земной коре, должен находиться в тех или иных количествах в природных водах. Качество природных вод служит важным фактором здоровья населения. Химический состав воды является уникальным для конкретной местности, а микроэлементный статус человека зависит от содержания минералов в питьевой воде. Неблагоприятный состав питьевой воды — один из ведущих факторов возникновения заболеваний у взрослых и детей. Длительное употребление питьевой воды некачественного микроэлементного состава также негативно отражается на минеральном статусе человека.

В настоящее время большое значение приобретают техногенные дисэлементозы. Антропогенное загрязнение окружающей среды связано с микроэлементами из группы тяжелых металлов и радиоактивными изотопами. Производственная деятельность способствует появлению в окружающей среде отдельных районов с аномальным содержанием химических элементов. Формируются техногенные геохимические ландшафты, а при накоплении радиоактивных элементов — радиогеохимические провинции. Исследования, проведенные рядом авторов, позволили во многом связать состояние здоровья населения с состоянием окружающей среды данной местности [16, 17]. Изменение микроэлементного состава тканей человека соответствует элементному составу техногенных геохимических аномалий в местах проживания.

Заболевания внутренних органов могут значительно нарушить обмен минеральных веществ в организме. Хронические гастриты, гастродуодениты, энтериты, патология билиарного тракта способны приводить к дисбалансу железа, меди, цинка, селена и других минералов. При хронических заболеваниях почек (хронический пиелонефрит, хронический гломерулонефрит) увеличивается потеря минеральных веществ с мочой. Элементный дисбаланс у детей

с дисметаболической нефропатией характеризуется изменениями концентраций бора, магния, селена, натрия. Анализ данных литературы свидетельствует о наличии различных изменений содержания химических элементов и у больных с заболеваниями сердечно-сосудистой системы.

Отклонения в содержании химических элементов в организме человека могут быть вызваны различными факторами: внешними (экология, профессия, питание) или внутренними (заболевания, генетические особенности и др.). Нарушение обмена макро- и микроэлементов является одним из факторов, способных привести к широкому спектру расстройств в состоянии здоровья детей и подростков.

На сегодняшний день имеется ограниченное количество работ о взаимосвязях содержания минералов и показателей деятельности юных спортсменов. В частности, нет полного представления о том, как реализуется в организме взаимодействие макро- и микроэлементов между собой и как это взаимодействие отражается на тренировочной и соревновательной деятельности.

Значение макро- и микроэлементов в метаболизме юных спортсменов

Современное развитие спорта высших достижений целиком и полностью опирается на детско-юношеский спорт. К занятиям физической культурой привлечено более 3 млн детей, подростков, юношей и девушек, из них 63,3 тыс. — высококвалифицированные спортсмены. С каждым десятилетием большой спорт молодеет. Главная задача медицинского наблюдения за юными спортсменами заключается в комплексном подходе, направленном на изучение адаптации организма к физическим нагрузкам.

Учебно-тренировочные занятия юных спортсменов требуют напряженности обменных процессов, увеличения расходов и потребности в энергии, витаминах и минералах. Дефицит биоактивных элементов приводит к нарушению гомеостаза, что лимитирует жизненно важные функции организма. Основой этих нарушений является потеря эссенциальных и накопление токсичных минералов. Организм молодого атлета, испытывающий предельные нагрузки, высокочувствителен к дефициту макро- и микроэлементов.

Дисэлементозы у юных спортсменов — наименее изученные, хотя и чрезвычайно распространенные состояния. Они интенсивно изучаются на протяжении нескольких лет специалистами различных направлений в России [18] и за рубежом, но интерес к данной проблеме не ослабевает. Среди элементов, которые входят в состав человеческого тела, кальций занимает пятое место после четырех главных элементов — углерода, кислорода, водорода и азота. Это один из важнейших для организма макроэлементов. 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, участвует в свертывании крови.

Большую роль кальций играет в построении костной ткани. Он поступает в организм с продуктами питания и питьевой водой, но попадающие с пищей соединения практически нерастворимы в воде, поэтому кальций относится к трудноусвояемым элементам. В плазме кальций представлен двумя фракциями: диффундирующей (комплексы кальция с белками — примерно 1/3 общего количества) и недиффундирующей (ионизированный кальций и его комплексы с кислотами). Комплексы кальция с белками служат своего рода депо.

Изменение концентрации ионизированного кальция имеет весьма тяжелые последствия. Ее снижение приводит к нарушению минерализации костной ткани, рахиту и остеомалации, снижению и утрате мышечного тонуса, повышенной возбудимости двигательных нейронов и тетаническим судорогам. Комплекс ионизированного кальция с белком кальмодулином оказывает влияние не только на активность большого числа ферментов и транспорт ионов, но и на функционирование многих структурных элементов в клетке. В первую очередь это актин-миозин-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.

В клетках концентрация кальция незначительна. В основном этот кальций связан с белками и фосфолипидами клеточных мембран и мембран органелл. Во внеклеточной жидкости концентрация кальция выше. Градиент концентрации ионов кальция по разные стороны от 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 макроэлемента в период роста организм не способен достичь генетически запрограммированной пиковой костной массы. У взрослого человека за 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

поступления с пищей. Постоянно происходящие процессы резорбции и образования новой костной ткани регулируются разными факторами. К ним в первую очередь относят кальцийрегулирующие гормоны: паратгормон, кальцитонин, активный метаболит витамина D₃-кальцитриол.

На метаболизм кальция в организме большое влияние оказывают пищевые продукты. Так, богатым источником элемента являются молоко и молочные продукты, поэтому они должны содержаться в рационе юных спортсменов в достаточном количестве. Усвояемость кальция зависит от его соотношения с ингредиентами пищи, в основном с жирами, магнием и фосфором. На всасывание макроэлемента отрицательно влияет избыток магния и калия в пище, которые конкурируют с ним за желчные кислоты.

Большое значение для динамики концентрации кальция имеет секреция кортизола. Так, у спортсменов с высоким содержанием кортизола в крови часто отмечается потеря кальция. Повышенное его потребление наблюдается при росте костной ткани у подростков и у спортсменов при значительных физических нагрузках. В юношеском возрасте при усиленном росте организма дефицит кальция проявляется мышечными болями и судорогами, особенно после интенсивных физических нагрузок. Все это ограничивает занятия спортом. Характер изменений в содержании кальция отражает функциональное состояние организма спортсменов, и поэтому эти данные можно использовать как дополнительные диагностические критерии, позволяющие судить об интенсивности минерального обмена, а также о возможности своевременного выявления предпатологических состояний.

Магний является важнейшим внутриклеточным компонентом. В организме взрослого человека содержится 140 г магния, причем 2/3 от этого количества приходится на костную ткань. До 80–90% внутриклеточного магния находится в митохондриях. В крови человека около 50% магния находится в связанном состоянии, а остальная часть — в ионизированном. Главное депо магния — в костях и мышцах. Магний участвует в обменных процессах, тесно взаимодействуя с калием, натрием, кальцием, служит активатором для множества ферментативных реакций. Нормальный уровень магния в организме необходим для обеспечения «энергетики» жизненно важных процессов, регуляции нервно-мышечной проводимости, тонуса гладкой мускулатуры, стимуляции образования белков. Магний участвует в регуляции состояния клеточной мембраны и трансмембранном переносе ионов кальция и натрия, самостоятельно участвует во многих метаболических реакциях по образованию, накоплению, переносу и утилизации энергии, свободных радикалов и продуктов их окисления. Поэтому микроэлемент в первую очередь определяет нормальную работу

нервной системы, функцией которой является управление деятельностью организма, координирование протекающих в нем процессов, установление взаимосвязей организма с внешней средой, формирование адекватных приспособительных реакций и стрессоустойчивости.

Дефицит макроэлемента проявляется разнообразными клиническими симптомами и синдромами, которые можно сгруппировать по нарушениям основных функций магния. Первая группа заболеваний связана с нарушением электрической возбудимости клетки. При дефиците ионов Mg²⁺ нарушается их обмен на мембране клеток, электрическая возбудимость клеток повышается и клетка становится перевозбудимой: сверхвозбудимость нервных клеток проявляется тем, что человек становится эмоциональным, плаксивым, раздражительным, тревожным, подавленным, плохо спит. Повышение возбудимости кардиомиоцитов может привести к тахикардии и эктопическим аритмиям. При повышении возбудимости клеток скелетной мускулатуры у больного появляются судороги, мышечные подергивания, тики, дрожь, боли в икроножных и шейных мышцах. Гипервозбудимость клеток гладкой мускулатуры сосудов сопровождается повышенным артериальным давлением и головной болью.

Вторая группа заболеваний обусловлена участием магния в функционировании ферментов по обслуживанию энергетических реакций. Поэтому недостаток элемента сопровождается повышенной утомляемостью (умственной и физической) при обычных нагрузках, неадекватным теплообменом (быстрая истощаемость энергоресурсов, зябкость).

Третья группа нарушений функций магния связана с его структурообразующей ролью в медиаторном обмене. Во-первых, магний образует участки в структуре ряда рецепторов к ацетилхолину, норадреналину и дофамину. Во-вторых, магний необходим для нормального обмена нейромедиаторов (тирозина, дофамина, норадреналина, серотонина, гамма-аминомасляной кислоты). В связи с этим дефицит магния вызывает депрессию, нарушение координации движений, внимания, памяти, настроения.

Ионы магния входят в состав основного вещества соединительной ткани, участвуют в активации синтеза коллагена фибробластами и укладке коллагеновых волокон в четвертичную структуру. Магниева недостаточность обуславливает хаотичное расположение волокон коллагена, что является основным морфологическим признаком дисплазии соединительной ткани.

Спортсмены довольно часто подвержены дефициту магния, что связано с усиленными продолжительными нагрузками, сопровождающимися потерей магния мышечными клетками в результате повреждений мышечных волокон, стрессами, значительным выведением магния с потом [19, 20].

Диагностировать дефицит магния непросто как по клиническим признакам, что связано с полисимптомностью проявлений, обусловленной участием микроэлемента в регуляции многих физиологических процессов организма человека, так и по анализу крови, который дает неполную информацию о содержании макроэлемента. При дефиците он может высвободиться из депо костей, что предотвращает первоначальное снижение концентрации магния в сыворотке крови и, следовательно, нормомагниемия не исключает возможного дефицита. При обнаружении гипомagneзиемии диагноз «дефицита магния» неоспорим. Однако в этом случае, как правило, уже исчерпаны возможности компенсации и недостаточность микроэлемента более выражена. У людей, чья жизнь и работа связаны с физическими или эмоциональными стрессами (например, спортсмены), может отмечаться скрытый дефицит магния, который связан с недостаточным восполнением магниевых потерь, нерациональным питанием, повышенной потребностью в этом элементе из-за интенсивной и продолжительной физической нагрузки, стрессов и значительных потерь магния с потом.

Калий и магний — два элемента, необходимые для нормальной жизнедеятельности всех клеток организма человека. Процессы обмена калия и магния в организме настолько связаны, что при снижении уровня магния в крови усиливается выведение из организма калия и на фоне дефицита магния восстановить нормальный уровень калия в крови оказывается весьма сложно. Калий является основным внутриклеточным катионом. Его концентрация в клетках на порядок выше, чем вне клеток. Главная функция калия — формирование трансмембранного потенциала и распространение изменения потенциала по клеточной мембране путем обмена с ионами натрия по градиенту концентраций. Вместе с натрием и хлором калий является постоянным составным элементом всех клеток и тканей. В организме эти элементы содержатся в определенном соотношении и обеспечивают постоянство внутренней среды. В виде катиона калий участвует в поддержании гомеостаза (ионное равновесие, осмотическое давление в жидкостях организма). Калий вызывает расширение сосудов внутренних органов и сужение периферических сосудов, замедляет ритм сердечных сокращений и, действуя аналогично блуждающему нерву, участвует в регулировании деятельности сердца. Рацион современного человека богат натрием, входящим в состав поваренной соли, что способствует перегрузке организма натрием и дефициту калия. Этот электролитный дисбаланс является важным звеном в процессе развития сердечно-сосудистых заболеваний.

Стойкая гипокалиемия ассоциирована со значительным ухудшением сердечно-сосудистого прогноза, обусловленным появлением эктопических очагов

в желудочках сердца и удлинением интервала $Q-T$, считающимися факторами риска внезапной смерти. Обмен калия обусловлен его поступлением извне и выведением почками с мочой. Скорость и объем выделения калия определяются рядом факторов и механизмов и зависят как от уровня самого калия в крови, так и от влияния внутренних регуляторных молекул, например гормонов альдостерона и вазопрессина. Высокое внутриклеточное содержание калия обеспечивается работой так называемого натрий-калиевого насоса — особой белковой структуры, расположенной в клеточной мембране, для функционирования которой требуется энергия молекул АТФ и присутствие ионов магния. Натрий-калиевый насос начинает усиленно работать при повышении уровня калия в крови, под действием альдостерона, «гормонов стресса» катехоламинов (адреналина и норадреналина) и инсулина.

Причины гипокалиемии разнообразны; одна из них — перемещение калия из плазмы крови и внеклеточного пространства внутрь клеток. Клинически гипокалиемия проявляется миопатическим синдромом — мышечными болями, слабостью. При выраженном снижении сывороточного уровня калия возможен рабдомиолиз, иногда фатальный. Характерны снижение интенсивности перистальтики кишечника, запоры. Возможно развитие периферической полинейропатии, признаком которой служат парестезии. Снижаются адаптационные возможности организма, нарушается клеточный метаболизм, что приводит к аритмии, снижению работоспособности, мышечной слабости.

Увеличение концентрации данного катиона, выявленное в экспериментах, связано с разрушением мышечных клеток при тяжелой физической нагрузке. Это ведет к накоплению калия в плазме крови (феномен трансминерализации). Своевременное и полноценное восстановление уровня калия и магния в крови, а также надлежащий отдых позволят уменьшить негативное влияние последствий стресса и подготовить организм спортсмена к новым нагрузкам.

Важная роль железа для человека установлена еще в XVIII веке. Биологическая ценность данного элемента для нормального функционирования организма спортсмена определяется многогранностью его функций и незаменимостью другими металлами в сложных биохимических процессах: дыхании, кроветворении, иммунобиологических и окислительно-восстановительных реакциях. Железо является незаменимой составной частью гемоглобина и миогемоглобина и входит в состав более 100 ферментов, контролирующих обмен холестерина, синтез ДНК, качество иммунного ответа на вирусную или бактериальную инфекцию, энергетический обмен клеток, реакции образования свободных радикалов в тканях. Как правило, поступающей пищи достаточно, чтобы перекрывать потребность организма в железе,

но в некоторых случаях необходимо дополнительное поступление этого элемента.

В организме железо содержится в нескольких формах. Клеточное железо составляет значительную часть от общего количества, участвует во внутреннем обмене и входит в состав гемсодержащих соединений (гемоглобина, миоглобина, ферментов, например, цитохромов, каталаз, пероксидазы), негемовых ферментов, металлопротеидов. К внеклеточному железу относят свободное железо плазмы и железосвязывающие сывороточные белки (трансферрин, лактоферрин), участвующие в транспорте железа. Железо запасов находится в организме в виде двух белковых соединений — ферритина и гемосидерина — с преимущественным отложением в печени, селезенке и мышцах и включается в обмен при недостаточности клеточного железа.

Источником железа в организме являются пищевое железо, всосавшееся в желудочно-кишечном тракте, и железо из разрушаемых в процессе обновления клеток эритроцитов. Различают гемовое (содержащее протопорфирин) и негемовое железо. Обе формы усваиваются на уровне эпителиоцитов двенадцатиперстной кишки и проксимального отдела тощей. В желудке возможна абсорбция только негемового железа, на долю которого приходится не более 20%. В эпителиоцитах гемовое железо распадается на ионизированное железо, окись углерода и билирубин, причем усвоение его не связано с кислотно-пептической активностью желудочного сока. Негемовое железо, получаемое из пищи, первоначально образует легкорастворимые соединения с компонентами пищи и желудочного сока, что благоприятствует его усвоению. Ускоренное усвоение железа происходит под влиянием янтарной, аскорбиновой, пировиноградной, лимонной кислот, а также фруктозы, сорбита, метионина и цистеина. Напротив, фосфаты, а также сок поджелудочной железы, содержащий ингибиторы всасывания железа, ухудшают его абсорбцию. Транспорт железа осуществляется белком трансферрином, который переносит железо в костный мозг, в места клеточных запасов железа (паренхиматозные органы, мышцы) и во все клетки организма для синтеза ферментов.

Цинк можно обнаружить во всех органах и тканях, он является кофактором большой группы ферментов, участвующих в белковом и других видах обмена, поэтому он необходим для нормального протекания многих биохимических процессов. Этот элемент требуется для синтеза белков, в том числе коллагена, и формирования костей. Цинк принимает участие в процессах деления и дифференцировки клеток, формировании Т-клеточного иммунитета, функционировании десятков ферментов (в том числе супероксиддисмутазы), полового гормона дигидрокортикостерона. Цинк играет важнейшую роль в процессах регенерации

кожи, роста волос и ногтей, секретиции сальных желез, способствует всасыванию витамина Е и поддержанию нормальной концентрации этого витамина в крови. Цинк входит в состав инсулина, участвует в кроветворении, укрепляет иммунную систему организма и обладает детоксицирующим свойством — способствует удалению из организма двуокиси углерода.

Основные проявления дефицита цинка — раздражительность, утомляемость, снижение памяти. Происходит ухудшение остроты зрения, потеря вкусовых ощущений. Возможно уменьшение массы тела, исхудание, чешуйчатые высыпания на коже, угри. Часто отмечается снижение уровня инсулина, снижение Т-клеточного иммунитета и сопротивляемости инфекциям, анемия, ускоренное старение.

Получены данные, свидетельствующие о том, что у профессиональных спортсменов за соревновательный период происходит существенное снижение содержания цинка [21]. Цинк является эссенциальным элементом, и наибольший интерес представляет его участие в регуляции биосинтеза белка. Интенсивность белкового обмена в организме профессиональных спортсменов активируется постоянными большими физическими нагрузками, которые стимулируют как процессы гипертрофии мышечной ткани, так и скорость ресинтеза функциональных белков. В связи с этим понятен исходно низкий уровень цинка в крови и моче профессиональных спортсменов, а также еще большее снижение его содержания в течение соревновательного периода.

Хром является постоянной составной частью клеток всех органов и тканей. Этот элемент участвует в регуляции синтеза жиров и обмена углеводов, способствует превращению избыточного количества углеводов в жиры [22]. Входит в состав низкомолекулярного органического комплекса — фактора толерантности к глюкозе, обеспечивающего поддержание нормального уровня глюкозы в крови. Вместе с инсулином хром действует как регулятор уровня сахара в крови, обеспечивает нормальную активность инсулина. Способствует структурной целостности молекул нуклеиновых кислот, выведению из организма токсинов, солей тяжелых металлов, радионуклидов, участвует в регуляции работы сердечной мышцы и функционировании кровеносных сосудов. Пониженное содержание хрома обычно наблюдается при стрессовых воздействиях и интенсивных физических нагрузках.

В природе он встречается в виде двух основных соединений. Трехвалентный — биологически активный, содержится в пищевых продуктах, необходим для нормальной жизнедеятельности организма. Шестивалентный хром является продуктом промышленных отходов и обладает канцерогенным и токсическими свойствами. Для спортсменов важно то, что хром необходим при длительных аэробных на-

грузках, когда роль углеводов и жиров в энергообеспечении организма существенно возрастает. Различные виды стресса, белковое голодание, инфекции, физическая нагрузка приводят к снижению концентрации этого элемента в крови и его интенсивному выделению. Несбалансированная диета может привести к снижению спортивной работоспособности, повышению травматизма и другим неблагоприятным последствиям.

Важнейшей особенностью функционирования химических элементов в организме является их взаимодействие друг с другом. Часто это проявляется в виде синергических или антагонистических эффектов. Эти взаимодействия определяют сложный характер клинических проявлений, возникающих вследствие нарушений химических элементов. Фе-

номен антагонизма во многом играет защитную роль. Он проявляется в смягчении ионами эссенциальных химических элементов токсического действия тяжелых металлов.

В настоящее время в практической медицине главной задачей при исследовании взаимосвязи между содержанием макро- и микроэлементов и состоянием здоровья является выбор чувствительных методов анализа и информативных биосубстратов [23]. В связи с развитием профилактического направления в медицине все больший интерес привлекают исследования элементов в волосах и слюне, так как неинвазивность, информативность, доступность забора материала представляют хорошие перспективы для осуществления массового контроля за состоянием здоровья юных спортсменов.

ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

- Демидов В.А., Детков В.Ю., Сальникова Е.В. Обоснование необходимости учета региональных биогеохимических особенностей при проведении мероприятий по восстановлению здоровья населения. Вестник восстановительной медицины 2011; 5: 2–5. [Demidov V.A., Detkov V.Yu., Salnikova E.V. The substantiation of the necessity to take into account regional biogeochemical features in carrying out measures to restore public health. Vestnik vosstanovitel'noj meditsiny 2011; 5: 2–5. (in Russ)]
- Ситдииков Ф.Г., Святова Н.В., Егерева Е.С. Показатели микроэлементного статуса детей, проживающих в сельской местности. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины 2011; 7: 15–17. [Sitdikov F.G., Svyatova N.V., Egereva E.S. Indicators of the microelement status of children living in rural. Byulleten' ehksperimental'noj biologii i meditsiny 2011; 7: 15–17. (in Russ)]
- Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М: ОНИКС 21 век, 2004; 272. [Skal'nyj A.V., Rudakov I.A. Bioelements in medicine. Moscow: ONIKS 21 vek, 2004; 272. (in Russ)]
- Скальный А.В. Питание в спорте: макро- и микроэлементы. М.: Городец, 2005; 144. [Skal'nyj A.V. Nutrition in sports: macro and microelements. Moscow: Gorodets, 2005; 144. (in Russ)]
- Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. Микроэлементозы человека. М: Медицина 1991; 496. [Avcyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A. Microelementoses of man. Moscow: Meditsina 1991; 496. (in Russ)]
- Носкова Г.Н., Чернов В.И., Мерзжа А.Н. Основные этапы учения о микроэлементах и микроэлементозах в России. Экологические системы и приборы 2010; 1: 2–8. [Noskova G.N., Chernov V.I., Merzha A.N. The main stages of the doctrine of trace elements and trace elements in Russia. Ekologicheskie sistemy i pribory 2010; 1: 2–8. (in Russ)]
- Омарова З.М., Э.А. Юр'ева, Новикова Н.Н. Микроэлементозы у детей с заболеваниями желудочно-кишечного тракта. Рос вестн перинатологии и педиатрии 2012; 57 (1): 39–44. [Omarova Z.M., Yur'eva E.A., Novikova N.N. Microelementosis in children with diseases of the gastrointestinal tract. Rossijskij vestnik perinatologii i pediatrii 2012; 57 (1): 39–44. (in Russ)]
- Полянская И.С. Новая классификация биоэлементов в биоэлементологии. Молочнохозяйственный вестник 2014; 1: 34–42. [Polyanskaya I.S. A new classification of bioelements in bioelementology. Molochnohozyajstvennyj vestnik 2014; 1: 34–42. (in Russ)]
- Рылова Н.В., Середина А.П., Самойлов А.С. Изучение взаимосвязи показателей макро- и микроэлементного состава слюны у детей и подростков, занимающихся спортом. Современные проблемы науки и образования 2016; 4: <http://www.science-education.ru/article/view?id=24994>. [Rylova N.V., Sereda A.P., Samojlov A.S. The study of the relationship between macro and micronutrient salivary parameters in children and adolescents involved in sports. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya 2016; 4: <http://www.science-education.ru/article/view?id=24994>. (in Russ)]
- Радыш И.И., Дулепова И.И. Особенности элементного состава волос у борцов греко-римского стиля. Вестник РУДН. Серия «Медицина» 2006; 1: 28–33. [Radysheva I.I., Dulepova I.I. Features of the elemental composition of hair in wrestlers of the Greco-Roman style. Vestnik RUDN. Seriya «Meditsina» 2006; 1: 28–33. (in Russ)]
- Mikulewicz M., Chojnacka K., Gedrange T., Górecki H. Reference values of elements in human hair: a systematic review. Environ Toxicol Pharmacol 2013; 36 (3): 1077–1086. DOI: 10.1016/j.etap.2013.09.012
- Комарова Л.Г., Алексеева О.П. Саливалогеия. Нижний Новгород, 2006; 180. [Komarova L. G., Alekseeva O.P. Salivation. Nizhny Novgorod, 2006; 180. (in Russ)]
- Okreglicka K. Health effects of changes in the structure of dietary macronutrients intake in western societies. Rocz Panstw Zakl Hig 2015; 66 (2): 97–105.
- De Piero A., Bassett N., Rossi A. Trends in food consumption of university students. Nutr Hosp 2015; 31 (4): 1824–1831. DOI: 10.3305/nh.2015.31.4.8361
- Косенко И.М. Витаминно-минеральная коррекция у детей: доводы «за» и «против». Вопросы современной педиатрии 2010; 9 (4): 132–137. [Kosenko I.M. Vitamin-mineral correction in children: pros and cons. Voprosy sovremennoj pediatrii 2010; 9 (4): 132–137. (in Russ)]
- Varrica D., Tamburo E., Milia N. Metals and metalloids in hair samples of children living near the abandoned mine sites of Sulcis-Iglesiente (Sardinia, Italy). Environ Res 2014; 134: 366–374. DOI: 10.1016/j.envres.2014.08.013
- Tulpar S., Gunduz Z., Sahin U. Trace elements in children suffering from idiopathic nephrotic syndrome. Eurasian J Med 2014; 46 (3): 187–191. DOI: 10.5152/eajm.2014.36
- Nabatov A.A., Troegubova N.A., Rylova N.V. Sport- and sample-specific features of trace elements in adolescent female field hockey players and fencers. J Trace Elem Med Biol 2017; 43: 33–37. DOI: 10.1016/j.jtemb.2016.11.002

19. Santos D.A., Matias C.N., Monteiro C.P. Magnesium intake is associated with strength performance in elite basketball, handball and volleyball players. *Magnes Res* 2011; 24 (4): 215–219. DOI: 10.1684/mrh.2011.0290
20. Громова О.А. Магний и оротовая кислота в профилактике и лечении мышечных судорог. *Врач* 2010; 8: 31–33. [Gromova O.A. Magnesium and orotic acid in the prevention and treatment of muscle cramps. *Vrach* 2010; 8: 31–33. (in Russ)]
21. Kara E., Ozal M., Gunay M., Kilic M., Baltaci A.K., Moggulkoc R. Effects of exercise and zinc supplementation on cytokine release in young wrestlers. *Biol Trace Elem Res* 2011; 143 (3): 1435–1440. DOI: 10.1007/s12011-011-9005-1
22. Lewicki S., Zdanowski R., Krzyżowska M., Lewicka A., Dębski B., Niemcewicz M., Goniewicz M. The role of Chromium III in the organism and its possible use in diabetes and obesity treatment. *Ann Agric Environ Med* 2014; 21 (2): 331–335. DOI: 10.5604/1232-1966.1108599
23. Троегубова Н.А., Рылова Н.В., Гильмутдинов Р.Р. Особенности содержания биоэлементов в слюне и волосах юных спортсменов. *Рос вестн перинатол и педиатр* 2016; 61 (2): 84–88. DOI: 10.21508/1027-4065-2016-61-2-84-88 [Troegubova N.A., Rylova N.V., Gil'mutdinov R.R. Features of the content of bioelements in the saliva and hair of young athletes. *Rossiiskij vestnik perinatologii i pediatrii* 2016; 61 (2): 84–88. (in Russ)] DOI: 10.21508/1027-4065-2016-61-2-84-88

Поступила 15.08.17

Received on 2017.08.15

Конфликт интересов:

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, финансовой или какой-либо иной поддержки, о которых необходимо сообщить.

Conflict of interest:

The authors of this article confirmed the absence conflict of interests, financial or any other support which should be reported.