

ЗВЕЗДНЫЕ МИКРОЭЛЕМЕНТЫ



Василий Цыганков,

ведущий научный сотрудник НПЦ гигиены,
кандидат медицинских наук, доцент

Алла Бондарук,

заведующая лабораторией комплексных проблем
гигиены пищевых продуктов НПЦ гигиены,
кандидат медицинских наук

Лидия Журихина,

старший научный сотрудник НПЦ гигиены,
кандидат биологических наук

Почему микроэлементы так интересуют специалистов, работающих в области нутрициологии, молекулярной биологии, генетики? Речь пойдет о тех элементах, которые определяются как биологически значимые (в противоположность биологически инертным) и обеспечивающие жизнедеятельность организма. По содержанию в теле человека и других млекопитающих их делят на макро- (более 0,01%), микро- (от $10^{-6}\%$ до 0,01%) и ультрамикроэлементы (менее $10^{-6}\%$), часто относимые к первой группе.

В западной научной литературе микроэлементы принято называть трэйс-элементами, то есть рассеянными – теми, которые в природе практически не встречаются в виде самостоятельных минералов и концентрированных залежей, а содержатся лишь в качестве примесей. Рассеянные элементы извлекают попутно из руд других металлов или полезных ископаемых (углей, солей, фосфоритов, природных вод и пр.). К ним относятся рубидий, таллий, галлий, индий, скандий, германий и около 60 элемен-

тов с кларками (числа, выражающие среднее содержание химических элементов в земной коре, гидросфере, космических телах, геохимических или космохимических системах и др., по отношению к общей массе этой системы) менее 0,01–0,001%.

Макроэлементами считают кислород, углерод, водород, азот, калий, кальций, магний, натрий, серу, фосфор и хлор. К микроэлементам, необходимым для жизнедеятельности растений, животных и человека, относят более 30, в их числе бром, железо, йод, кобальт, марганец, медь, молибден, селен, фтор, хром, цинк.

Человек – продукт эволюции Вселенной, которая началась с Большого взрыва, что привело к возникновению пространства, вещества, энергии и времени. В течение первых минут существования мироздания закончился первичный нуклеосинтез и к этому моменту 75% массы видимого вещества приходилось на водород и 25% – на гелий, то есть более тяжелых химических элементов еще просто не существовало, в том числе

Аннотация. Кратко представлены данные о возникновении химических элементов в процессе развития Вселенной. Охарактеризованы биологические эффекты ряда основных микроэлементов и нарушения, возникающие при их дисбалансе. Приведены имеющиеся на сегодня результаты об обеспеченности некоторыми микроэлементами населения Республики Беларусь.

Ключевые слова: микроэлементы, биологические эффекты, йод, железо, марганец, медь, селен, рациональное питание.

таких биогенных, как кальций, железо, цинк и др. В этом первичном вселенском бульоне не было материального субстрата для возникновения жизни на основе углерода. В то же время все известные фундаментальные силы или взаимодействия (электромагнитное, сильное, слабое и гравитация) еще не отделились друг от друга и представляли единую силу в этой ранней Вселенной, которая неукротимо расширялась. Температура и давление падали, суперсила разделилась.

Первой отделилась гравитация, ставшая творцом всего, что мы сейчас наблюдаем в видимой Вселенной. Она стягивала огромные облака водорода в сгустки, с ростом массы в них возрастала температура и давление, что в итоге привело к началу термоядерных реакций. Внезапно вся Вселенная озарилась светом бесчисленных звезд первого поколения, которые совсем не были похожи на те, что мы наблюдаем сегодня. Это были голубые сверхгиганты, в тысячи раз больше нашего солнца, с температурой поверхности в сотни миллионов градусов Цельсия и очень коротким временем существования. Свою бурную жизнь они заканчивали в течение сотен тысяч и миллионов лет (что по меркам Вселенной очень быстро) и умирали во вспышках гиперновых звезд. При этом происходил синтез и обогащение пространства более тяжелыми элементами, в том числе биогенными, которые входят в состав наших тел. Поэтому с точки зрения космологии все мы состоим из звездного вещества, химических элементов, родившихся в звездных недрах, и являемся настоящими детьми Вселенной.

Первые зачатки жизни в виде самовоспроизводящихся молекул нуклеиновых кислот и белков, оформленных в первичные клетки, эволюционировали в среде, насыщенной биогенными элементами и, следовательно, их наличие наверняка являлось одним из важнейших и необходимых условий возникновения и дальнейшей эволюции жизни. Осознание данного факта привело к пониманию важности для нашего существования постоянного притока в организмы ряда макро- и микроэлементов. Выяснение их функций и количественных уровней – одна из важнейших задач нутрициологии и смежных с ней фундаментальных дисциплин.

Посмотрим, особое влияние каких микроэлементов на жизнедеятельность организма выявила современная наука.

Йод (I) – важнейший компонент гормонов щитовидной железы: тироксина [3,5,3 × 1-тетрайодтиронин (T₄)] и 3,5,3'-трийодтиронина (T₃). Основная его роль в питании обусловлена функциями щитовидной железы – поддержанием базового уровня метаболизма, участием в процессах роста и созревания организма человека. Влияние дефицита йода на рост и развитие обозначается термином йододефицитных расстройств. Эти эффекты наблюдаются на всех этапах жизнедеятельности организма, а особенно – в периоды быстрого роста. Выживание и развитие плода в крайней степени чувствительно к дефициту данного микроэлемента [1–8].

Употребление менее 50% суточной нормы йода приводит к возникновению заболеваний щитовидной железы, невынашиванию

беременности, повышению перинатальной смертности и риска развития физической и умственной отсталости детей, эндемическому кретинизму. Однако весьма актуально, что йоддефицитные состояния и связанные с ними заболевания поддаются хорошей массовой профилактике, в первую очередь за счет употребления йодированной соли. К сожалению, на данный момент в мире наметилась тенденция к снижению ее употребления, что ухудшило и эффективность профилактики [9, 10].

Проблема дефицита йода остро стоит и в нашей республике, ведь вся территория страны относится к биогеохимической провинции по ряду эссенциальных элементов. Усугубляет состояние то, что в силу отсутствия прямого выхода к морям в рационе населения существует дефицит свежей рыбы. Но принятые в начале 2000-х гг. решения Министерства здравоохранения и органов государственного управления при поддержке ВОЗ вывели Беларусь практически на первое место в мире по производству и потреблению йодированной соли на душу населения, что к нынешнему периоду дало выраженный эффект в снижении заболеваемости зубом. Также улучшилась утилизация йода в организме детей и беременных женщин, что определено по медиане экскреции йода с мочой более 100 мкг/л. Все это позволило отнести республику к странам с адекватной йодной обеспеченностью [11].

Сложно представить себе какой-либо другой так широко участвующий во многих биохимических процессах нашего организма элемент, как цинк (Zn). Он входит в активные центры более 100 ферментов, влияет на рост

клеток, их репродукцию и дифференциацию, участвует в транскрипции и трансляции нуклеиновых кислот, то есть в процессах генетической экспрессии, входя в состав коротких белковых молекул – так называемых цинковых пальцев. Это одна из основных групп ДНК-связывающих белков, которые являются факторами транскрипции [12, 13].

Основные клинические признаки тяжелого дефицита цинка – замедленный рост, задержка полового и скелетного созревания, развитие различных видов дерматита, диарея, алопеция, нарушение аппетита и появление поведенческих изменений [14].

При цинкдефиците повышенная восприимчивость к инфекциям отражает развитие дефектов в иммунной системе [15]. Нехватка данного микроэлемента, как правило, наблюдается и у лиц, злоупотребляющих алкогольными напитками. В состав фермента алкогольдегидрогеназы входит 4 атома Zn. При хроническом алкоголизме в 100% случаев проявляется цинкдефицитное состояние, вследствие чего значительно снижается детоксикационная способность печени из-за дезактивации алкогольдегидрогеназы, что в свою очередь приводит к нарастанию поражений ЦНС, периферической нервной системы, самой печени, мочевыводящей, сердечно-сосудистой и других жизненно важных систем организма [16–18].

Основным транспортным белком плазмы крови, переносящим 2/3 метаболически активного цинка, является альбумин. С его содержанием коррелирует степень всасывания Zn. Клетки печени усваивают его только из сред, содержащих аминокис-

лоты и альбумин. Таким образом, можно говорить о том, что недостаток животного белка в рационе может провоцировать дефицит цинка в организме.

Проведенные в Беларуси исследования (С. В. Петренко, Б. Ю. Леушев, 2019) показали значительное снижение содержания цинка в волосах обследованных детей, которое коррелировало со сниженным на 30–40% содержанием цинка в коровьем молоке, используемом для детского питания. Следовательно, несмотря на небольшое количество исследований, посвященных дефициту цинка в Республике Беларусь, нельзя отрицать его отсутствие, так как подобные исследования в странах европейского региона, близких по территориальным особенностям нашему государству, свидетельствуют о наличии цинкдефицита в популяции, что делает проблему его профилактики актуальной.

Дефицит цинка можно значительно уменьшить с помощью определенных пищевых продуктов. В первую очередь это красное мясо и птица, устрицы. Из растительных продуктов обратите внимание на бобовые, орехи кешью и миндаль.

Железо (Fe) – это минерал, который естественным образом присутствует во многих продуктах, а также доступен в качестве пищевой добавки. Железо выступает важным компонентом гемоглобина, белка эритроцитов, который переносит кислород из легких в ткани. Также Fe является компонентом белка миоглобина, обеспечивающего кислородом и поддерживающего метаболизм мышц и соединительной ткани. Железо необходимо и для физического роста, неврологиче-

ского развития, клеточного функционирования и синтеза ряда гормонов [19–21].

К основным причинам дефицита железа относятся:

- *хроническая кровопотеря: обильные и длительные менструации, патология желудочно-кишечного тракта (язвенная болезнь желудка, двенадцатиперстной кишки, эрозивный гастрит, геморрой, доброкачественные и злокачественные опухоли желудка и кишечника, неспецифический язвенный колит), носовые, десневые, почечные, легочные кровотечения, кровопотеря в замкнутые полости.*
- *постоянные недоедание или голодание, однообразная пища с преимущественным содержанием жиров и сахаров (алиментарный дефицит железа);*
- *повышенная потребность в период роста и развития (ЖДА беременных, кормящих матерей, недоношенных детей, детей первых двух лет жизни, подростков, занимающихся спортом);*
- *снижение зоны всасывания железа при резекции желудка, обширных участках тонкого кишечника, хронических воспалительных заболеваниях желудочно-кишечного тракта (резорбционная недостаточность железа);*
- *нарушение транспорта железа вследствие дефицита трансферрина (наиболее редкий вариант ЖДА) [22].*

Распространенность железодефицитных состояний в Республике Беларусь охватывает, по мнению ряда ученых, от 8 до 20% населения, группами риска в основном являются дети, беременные и кормящие женщины.

Для профилактики необходимо включать в рацион печень, красное мясо. Железо растительной пищи, содержащей злаки, богатые фитиновой кислотой и фосфором, малодоступно для усвоения организмом. Из риса всасывается 1%, из кукурузы, фасоли, фруктов и яиц – 3%, из сои – 7%, из рыбы – 11%, из телятины – 22%.

Выраженные формы анемии можно излечить только под наблюдением врача с применением необходимых лекарственных средств.

Марганец (Mn) – это минеральный элемент, являющийся как питательно необходимым, так и потенциально токсичным [23].

Данный микроэлемент – компонент и активатор множества ферментов, играющий важную роль в ряде физиологических процессов [24].

Наиболее выраженная функция белково-марганцевых комплексов – антиоксидантная. Марганцевая супероксиддисмутаза (MnSOD) является основным антиоксидантным ферментом в митохондриях. Поскольку они потребляют более 90% кислорода, используемого клетками, то особенно уязвимы для окислительного стресса. Супероксидный радикал – одна из активных форм кислорода, образующихся в митохондриях во время синтеза АТФ. MnSOD катализирует превращение супероксидных радикалов в перекись водорода, которые могут быть восстановлены в воде другими антиоксидантными ферментами [25].

Ряд активированных марганцем ферментов играет важную роль в метаболизме углеводов, аминокислот и холестерина [26]. Пируваткарбоксилаза (марганецсодержащий фермент) и фос-



Элеонора Капитонова,
специалист в области
питания и здоровья,
доктор медицинских наук

НАУКА О ПИТАНИИ БАЗИРУЕТСЯ НА ТРЕХ ОБЪЕКТИВНЫХ ЗАКОНАХ

- **Закон количественного соответствия**, который означает, что количество энергии, которую получает организм из поступающей пищи, должен равняться энергетическим тратам человека и зависит от его активности в каждый конкретный день.
- **Закон качественного соответствия**. Его суть в том, что в поступающей пище должны быть все необходимые для жизнедеятельности организма вещества, то есть питание должно быть разнообразным. При этом ежедневно в организм человека обязательно должны поступать 5 нутриентов – белки, жиры, углеводы, витамины, минералы. Отсутствие хотя бы одного из них в течение длительного времени может спровоцировать недомогание, а потом привести и к заболеванию.
- **Закон психо-эмоционального взаимодействия человека с пищей**. Вкусная и полезная еда не только утоляет голод, но и доставляет удовольствие, если, конечно, прием пищи не вызывает болезненных ощущений. Важно соблюдать режим питания, не переедать и не перегружать тем самым пищеварительный тракт, не есть в минуты гнева и не заедать стрессы.

СОБЛЮДАЙТЕ РЕЖИМ

«Лучше есть по часам, чем часами не есть». Старайтесь питаться не реже трех раз в день, а если рабочий график позволяет, то распределите прием пищи на 5–6 раз. Питайтесь чаще, но меньшими порциями. Ужинайте не позднее чем за 3–4 ч до сна.

НЕ ЗАБЫВАЙТЕ ПРО ВОДУ

Вода – естественная среда, в которой в организме протекают все биохимические реакции, в том числе выработка энергии, утилизация жира, выведение токсинов. За сутки здоровый человек теряет около 2 л воды с дыханием и естественными выделениями. Такое же количество необходимо возместить. Возьмите за правило выпивать 0,5–1 стакан чуть теплой воды сразу после пробуждения, она омоет пищеварительный тракт и подаст ему сигнал, что пора включить работу пищеварительных ферментов. Мучить себя жаждой не стоит, но и лишнего пить не нужно. Старайтесь поменьше использовать продукты с большим содержанием соли – твердые сыры,

НЕ ПРОПУСКАЙТЕ ЗАВТРАК

За время сна организм истощает свои ресурсы и нуждается в поступлении новой порции питательных веществ. Завтрак дарит запас бодрости на целый день.

ветчину, копчености, консервированные продукты. Самая полезная по качеству вода – из артезианских источников. Не желательно пить воду после фильтрации, она практически не содержит важных для организма человека микроэлементов, таких как йод, фтор, кальций, кремний, бикарбонаты и др. Пейте, когда в этом есть потребность, даже если заливаете еду, не бойтесь этого делать. Некоторым нравится пить воду через какое-то время после приема пищи – это допустимо. Любителям крепкого чая или кофе нужно помнить о свойстве кофеина выгонять воду из организма. Поэтому после каждой чашки этих напитков через какое-то время стоит выпивать стакан воды. Полезно делать это и за полчаса до еды, тем самым снизив аппетит и подготовив пищеварительный тракт к трапезе.

УПОТРЕБЛЯЙТЕ ДОСТАТОЧНОЕ КОЛИЧЕСТВО БЕЛКА

В процессе пищеварения белок превращается в аминокислоты, которые нужны организму для обновления клеточного состава, то есть для поддержания жизни. Мало белка – мало жизненных сил. Старайтесь, чтобы каждый из трех основных приемов пищи включал 20–30 г белка. Такое количество содержится в 100–150 г мяса, рыбы или творога. В стакане молока, кефира или йогурта – до 10 г белка, столько же содержат 2 яйца или 30 г твердого сыра. Избыток белка превращается в жир, а также в мочевую кислоту, которая в виде кристаллов откладывается в почках и суставах.

БУДЬТЕ ОСТОРОЖНЫ С ЖИРАМИ

В определенном количестве жир для человеческого организма необходим. Здоровому человеку достаточно 1–2 столовых ложек растительного масла в день, а животный жир он получит с молочными продуктами, яйцами, мясом, рыбой. Из растительных масел наилучшими являются конопляное, льняное, подсолнечно-рапсовое, оливковое, кокосовое, из животных – свиное сало и сливочное масло. Очень полезен для организма рыбий жир, содержащийся в жирных сортах рыб холодных вод (лосось, макрель, сельдь, скумбрия), а также в речной рыбе (карп, угорь). Рыбий жир продается в аптеках, расфасованный в виде капсул или во флаконах. Чтобы избежать избытка жира в питании, продукты можно отваривать, тушить, запекать, готовить на пару, на гриле, на решетке, в «рукаве». Лучше всего отдавать предпочтение нежирным сортам мяса и рыбы, молочным продуктам с низкой жирностью; не следует злоупотреблять орехами, семечками и высокожирными сортами сыров.

фоенолпируваткарбоксикиназа (марганец-активированный фермент) имеют решающее значение в глюконеогенезе – производстве глюкозы из неуглеводных предшественников. Аргиназа, другой марганецсодержащий фермент, требуется печени для цикла мочевины, процесса, который детоксифицирует аммиак, образующийся при метаболизме аминокислот [27]. В мозге активированный марганцем фермент глутаминсинтетаза превращает глутамат аминокислоты в глутамин. Глутамат – эксайтотоксический нейротрансмиттер и предшественник ингибирующего нейротрансмиттера γ -аминомасляной кислоты (ГАМК) [28, 29].

Дефицит марганца приводит у некоторых видов животных к усилению толерантности к глюкозе, сходной с сахарным диабетом, но исследования, изучающие статус марганца у людей с диабетом, дали неоднозначные результаты. Тем не менее недавнее исследование выявило более низкие уровни марганца в крови у пациентов с диабетом [30]. Однако пероральное введение марганца не улучшало толерантность к глюкозе у диабетиков при одновременном назначении перорального введения глюкозы [31].

Исходя из данных, полученных специалистами Министерства здравоохранения Республики Беларусь, в 2012 г. на примере г. Минска не выявлено дефицита марганца у детей [32]. Вероятно, в общем для населения республики не характерен дефицит данного микроэлемента.

Медь (Cu) является критически необходимым функциональным компонентом нескольких важных ферментов [33]. Это необходимый микроэлемент для

нормальной жизнедеятельности животных и растений. В организме взрослого человека содержится около 100 мг меди. Она входит в состав медьсодержащих белков и ферментов (около 25), играющих важную роль в кроветворении, ускорении процессов обмена, усилении тканевого дыхания, а также окисления глюкозы и др.

Данный микроэлемент активирует реакцию образования гема крови. Образование этого комплекса снижает энергию активации реакции синтеза гемоглобина. Основные медьсодержащие ферменты – это оксигеназы и гидроксилазы. Четыре из них известны как мультимедные оксидазы (МСО), или феррооксидазы, и обладают способностью окислять двухвалентное железо (Fe^{2+}) в трехвалентное (Fe^{3+}) – форму, которая может быть загружена в белок трансферрин для транспорта в костный мозг, место образования красных кровяных клеток. Семейство МСО включает циркулирующий церулоплазмин, который содержит ~90% плазменной меди, связанный с мембраной (GPI-церулоплазмин), и два белка, называемые гефестином и циклопеном, обнаруженные в кишечнике и плаценте соответственно [34]. Медьзависимый фермент цитохром с-оксидаза играет критическую роль в производстве энергии в клетках. Катализируя восстановление молекулярного кислорода (O_2) до воды (H_2O), она генерирует электрический градиент, используемый митохондриями для создания молекулы АТФ, запасующей жизненно важную энергию [35]. Другой фермент – лизилоксидаза – необходим для поперечной сшивки коллагена и эластина, которые нужны для формирования прочной и гиб-

кой соединительной ткани. Действие лизилоксидазы помогает поддерживать целостность соединительной ткани в сердце и кровеносных сосудах, а также участвует в формировании кости [36].

Клинически значимый дефицит меди может быть вызван следующими причинами:

- *тяжелый белковый дефицит у детей;*
- *постоянная диарея у младенцев, обычно связанная с питанием только молоком;*
- *тяжелая мальабсорбция (как при непереносимости глютена или муковисцидозе);*
- *операции на желудочно-кишечном тракте;*
- *чрезмерное потребление цинка.*

Селен (Se) – микроэлемент, который естественным образом присутствует во многих продуктах питания и доступен в качестве пищевой добавки. Он жизненно важен для человека и является составной частью более двух десятков селенопротеинов, которые играют критическую роль в воспроизводстве, метаболизме гормонов щитовидной железы, синтезе ДНК и защите от окислительного повреждения и инфекций [37].

Научные исследования доказали, что селен имеет широкий спектр биологического действия, включая физиологическую регуляцию ферментативной цепи антиоксидантной защиты, трансдукцию сигнала, транскрипцию, рост клеток и процессы апоптоза, гормонопозеза, сперматогенеза, иммуногенеза и др. Согласно современной классификации микроэлементов, в основе которых лежит их биологическая значимость для организма и влияние на иммунную систему, селен классифицируется как эссенци-

альный микроэлемент, отвечая всем критериям биоценности [38].

Селен, содержащийся в организме в небольших количествах (13–20 мг), выполняет уникальные функции – каталитические, структурные, регулирующие, в процессе которых он активизирует действие многих ферментов, витаминов и гормонов, и тем самым обеспечивает нормальную деятельность различных биологических систем, осуществление многочисленных физиологических и биохимических реакций в живом организме [39–41].

Данный микроэлемент существует в двух формах – неорганической (селенат и селенит) и органической (селенометионин и селеноцистеин) [42]. Обе могут быть хорошими диетическими источниками селена [43].

Биохимические функции селена определяются не самим микроэлементом, а его белками, содержащими остаток селеноцистеина как неотъемлемую часть их активного центра [44]. Выделено и идентифицировано более 30 конкретных селенопротеинов.

Понять, что организм испытывает недостаток микроэлемента, можно по следующим симптомам: слабость, хроническая усталость, ухудшение концентрации внимания, снижение иммунитета, склонность к инфекционным

болезням, медленная регенерация тканей после травм, ослабление остроты зрения, мышечные боли, сбой менструального цикла, ослабление потенции. При длительном недостатке минерала в организме повышается вероятность развития онкологических заболеваний, анемии, лейкемии, бронхиальной астмы, туберкулеза, аутоиммунных патологий, нарушений работы щитовидной железы, сердечной мышцы, кровеносной системы.

Исследования белорусских ученых подтвердили наличие дефицита селена у 60–70% населения. Однако по данным ВОЗ, на планете практически нет мест, в природной среде которых присутствует достаточное количество этого микроэлемента. Поэтому необходимо включать в рационы питания орехи, морепродукты, мясо, печень, креветки, ламинарию и иные съедобные водоросли, хлеб с отрубями, грибы, бобовые культуры, свежие овощи.

Имеющиеся дефициты могут быть компенсированы в первую очередь рациональным питанием. Попытки возместить их с помощью необоснованного приема различных препаратов, как лекарственных, так и в виде БАД, могут принести намного больший вред, чем относительный дефицит того или иного микроэлемента. **ИИ**

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Melse-Boonstra A., Jaiswal N. Iodine deficiency in pregnancy, infancy and childhood and its consequences for brain development // Best. Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab. 2010. N24(1). P. 29–38.
2. Zimmermann M. B. Iodine deficiency in pregnancy and the effects of maternal iodine supplementation on the offspring: a review // Am. J. Clin. Nutr. 2009. N89(2). P. 668S–672S.
3. Institute of Medicine, Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. – Washington, DC, 2001.
4. World Health Organization. United Nations Children's Fund & International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders. Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination. 3rd ed. – Switzerland, 2007.
5. Patrick L. Iodine: deficiency and therapeutic considerations // Altern. Med. Rev. 2008. N13(2). P. 116–127.
6. Zimmermann M. B., Iodine deficiency // Endocr Rev. 2009. N30(4). P. 376–408.
7. Zimmermann M. B., Jooste P. L., Pandav C. S. Iodine-deficiency disorders // Lancet. 2008. N372(9645). P. 1251–1262.

Полный список использованных источников размещен на сайте innosfera.by

 <http://innosfera.by/2019/12/micronutrients>