

ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

УСЛОВНО ЭССЕНЦИАЛЬНЫЕ МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПИТАНИИ ВЕГЕТАРИАНЦЕВ И ВЕГАНОВ: ФТОР, КРЕМНИЙ, БРОМ, БОР

А.В. Гальченко^{1,2*}, А.А. Шерстнева³, М.М. Левина³

¹ Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

³ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

РЕЗЮМЕ. Представлен краткий обзор физиологии условно эссенциальных микроэлементов, и обеспеченности ими вегетарианцев и веганов. Условно эссенциальные микроэлементы выполняют ряд важных функций в организме человека, и развитие их дефицита чревато весьма неприятными последствиями. Фтор играет важную роль в фосфорно-кальциевом обмене и развитии костной ткани, он необходим для поддержания нормальной флоры полости рта. При дефиците фтора повышается риск развития остеопороза, а также снижается резистентность эмали зубов к бактериальному поражению. Несмотря на имеющиеся свидетельства того, что вегетарианцы более склонны к развитию кариеса, чем люди на смешанном питании, делать вывод об их худшей обеспеченности фтором преждевременно, прежде всего, потому, что основным источником фтора является питьевая вода. Наиболее изученной функцией кремния является его участие в синтезе коллагена. При дефиците кремния нарушается формирование соединительной ткани, в том числе органического остова костей. Несмотря на то, что кремний содержится преимущественно в растительной пище, веганам следует внимательно относиться к статусу этого элемента, так как эта группа населения имеет повышенный риск развития остеопении и остеопороза. Данные о физиологическом значении брома ограничены. Предположительно, он участвует в активации некоторых пищеварительных ферментов, тормозных процессах в нервной системе. Несмотря на то, что вегетарианцы и веганы, по-видимому, потребляют меньше брома, чем люди на смешанном питании, риск интоксикации этим элементом у них, вероятно, выше. Это связано с тем, что бром активно используется в сельском хозяйстве в составе пестицидов, которые могут накапливаться в растениях, а вегетарианцы и веганы потребляют больше растительной пищи. Усугубляет ситуацию то, что бром аккумулируется более активно на фоне дефицита йода, который часто наблюдается у этих групп населения. Бор играет роль в обмене глюкозы, липидов, а также витамина D, кальция и фосфатов, таким образом участвуя в формировании неорганического матрикса костей. Маловероятно, что вегетарианцы и веганы имеют повышенный риск развития алиментарного дефицита бора в сравнении с людьми на смешанном питании. Однако, принимая во внимание данные о более высоком риске дефицита витамина D и кальция, а также остеопороза, мониторинг и коррекция статуса бора среди веганов может в определенной степени повлиять на распространенность нарушений обменных процессов в костной ткани в этой группе населения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вегетарианство, веганство, условно эссенциальные элементы, микроэлементы, фтор, кремний, бром, бор.

ВВЕДЕНИЕ

Условно эссенциальные элементы выполняют различные функции в организме. На сегодняшний день, однако, не было получено достаточных данных о фатальных последствиях их дефицита для человека, в отличие от макроэле-

ментов (Гальченко и Назарова, 2019а) и эссенциальных микро- и ультрамикроэлементов (Гальченко и Назарова, 2019б; 2020). С одной стороны, состав этой группы элементов непостоянен, новые открытия способны перенести один из них в группу эссенциальных. С другой стороны, спи-

* Адрес для переписки:

Гальченко Алексей Владимирович

E-mail: gav.jina@gmail.com

сок условно эссенциальных элементов может пополнить кто-то из перечня эссенциальных. Например, сегодня ведется активная дискуссия об «эссенциальности» хрома (Yoshida, 2012). Условно эссенциальные микроэлементы содержатся в организме в довольно больших количествах, до 0,01% от массы тела (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Несмотря на это, на сегодняшний день доступно не так много информации об их роли в организме, тем более об обеспеченности ими различных групп населения.

Ц е л ь р а б о т ы – краткий обзор физиологии условно эссенциальных микроэлементов (фтор, кремний, бром, бор) и обеспеченности ими вегетарианцев и веганов.

ФТОР

Фтор был впервые выделен французским ученым А. Муасаном в 1886 г. Название в переводе с латинского языка означает «течь» (fluere) (Скальный, Рудаков, 2004).

Фтор широко используется в промышленности и медицине (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлиси др., 2008), в зубных пастах (ATSDR, 2003). В сутки в организм человека с пищей поступает около 0,5–1,5 мг фтора (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008), по некоторым данным верхний уровень потребление доходит до 6,0 мг/сут (Нормы физиологических потребностей..., 2009). Фтор хорошо всасывается в ЖКТ, до 7% может абсорбироваться уже в ротовой полости. Фтор может всасываться и в легких при поступлении с вдыхаемым воздухом. Его нерастворимые соли могут накапливаться в легких, со временем абсорбируясь в кровь (Agalakova, Gusev, 2011). На степень всасывания фтора влияет растворимость его солей, а также статус кальция (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008) и витамина С (Морозова и др., 2001). Есть данные, что магний снижает усвоение фтора организмом. Выведение осуществляется преимущественно через почки (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

В среднем, в организме человека содержится приблизительно 2,6 г фтора. Это количество представлено в виде труднорастворимых солей с кальцием, магнием, железом. Соединения этого элемента обнаруживаются во всех тканях и органах. Депо фтора – кости и зубная эмаль (99% всего фтора в организме) (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; ATSDR, 2003). Концентрация фтора в крови составляет 0,5 мг/л; в

костях и мышцах – 0,2–1,2% и 0,05·10⁻⁴% от костной и мышечной массы соответственно (Морозова и др., 2001).

Фтор играет важную роль в росте и развитии человека. Он принимает участие во многих ключевых биохимических процессах: регулирует сигнальные пути, активируя аденилатциклазу; ингибирует некоторые ферменты, например липазы, эстеразы, лактатдегидрогеназы (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008), нормализует фосфорно-кальциевый обмен (Морозова и др., 2001). Фтор угнетает синтез сахаридов, необходимых для жизнедеятельности бактерий, тем самым предупреждая развитие кариеса (Морозова и др., 2001). Некоторые соединения фтора считаются высокотоксичными (например, HF, NaF). Летальная доза последнего не превышает 5 – 10 г при пероральном поступлении. К проявлениям их токсичности относят ингибирование аденилатциклазы (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Strunecka, Strunecky, 2019).

Известно, что фтор может быть токсичным не только для человека, но и для растений, животных и микроорганизмов (Agalakova, Gusev, 2011; Zuo et al., 2018). Есть отдельные упоминания растений и микроорганизмов, способных превращать неорганические соединения фтора в органические, однако никакой физиологической функции за этим открыто не было (Agalakova, Gusev, 2011).

Дефицит фтора чаще всего развивается вследствие его недостаточного содержания в питьевой воде (менее 0,7 мг/л). Основными проявлениями являются кариес и остеопороз.

Избыток фтора также обычно связан с водой, а именно с превышенным содержанием фтора в ней (более 4 мг/л), что зачастую зависит от региона. В результате этого развивается хроническое отравление, которое проявляется патологическими изменениями в костях, зубах (флюороз – меловидные пятна на зубах, хрупкость зубов и костей); нарушениями обмена веществ, системы гемостаза. Другой причиной отравления может быть избыточное поступление токсичных соединений фтора в организм (например, HF-плавиковая кислота; контрастные препараты фтора; соединения, используемые в промышленности). Симптомами острого отравления являются поражения ЦНС (судороги, падение АД, кома) и ЖКТ (диспепсия). Прочими проявлениями могут быть потеря голоса, сухой кашель, дерматит, зуд кожи, кровоточивость десен

(Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Agalakova, Gusev, 2011; Zuo et al., 2018). Существует ряд доказательств взаимосвязи хронической интоксикации фторидами с расстройствами аутистического спектра и болезнью Альцгеймера. Это позволяет отнести фтор к нейротоксичным веществам, которые оказывают такой эффект, в первую очередь, за счет индуцирования окислительного стресса в клетке (Goschorska et al., 2018; Strunecka, Strunecky, 2019). Так как фтор является антагонистом йода, он может угнетать функцию щитовидной железы (Морозова и др., 2001).

Как было сказано ранее, основным источником фтора является вода, причем именно фторированная вода покрывает потребности человека в фторе на 70% (Zohoori, Maguire, 2016). Также фтор поступает с пищей. Фтором богаты рис, говядина, яйца, молочные продукты, лук, яблоки, шпинат (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008), орехи, овсяная крупа (Морозова и др., 2001). Отдельно выделяют чай (100 мкг/г) и морскую рыбу (5–10 мкг/г) (Скальный, Рудаков, 2004; Рекомендуемые уровни потребления..., 2004; Оберлис и др., 2008). Содержание фтора в рыбе почти в 2 раза выше, чем в продуктах растительного происхождения (рис, бобовые, специи) и в выпечке (Chowdhury et al., 2018).

Физиологическая потребность для взрослых оценивается в 4 мг/сут (в США для женщин, в том числе в период беременности и лактации, – 3 мг/сут), для детей – 1,0–4,0 мг/сут в зависимости от возраста (Нормы физиологических потребностей..., 2009; Dietary Reference Intakes..., 2019). Верхний допустимый уровень в РФ – 10 мг/сут (Нормы физиологических потребностей..., 2009). Токсическая доза фторидов для человека составляет 20 мг, летальная – 2 г (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

В нашем предыдущем исследовании оценивалось поступление фтора с пищей у четырех групп: веганов, вегетарианцев, людей, соблюдавших православный Великий пост, и людей на смешанном рационе (Galchenko and Sherstneva, 2020). Было обнаружено, что в этой же последовательности снижалось потребление фтора. Интересно, что вегетарианцы потребляли больше фтора, чем постившиеся, хотя доля растительных продуктов в их рационе была несколько меньше из-за присутствия молочных продуктов и яиц. То есть, в данном случае нарушалась закономер-

ность возрастания содержания фтора в рационе при увеличении доли растительной пищи

Однако в индийском исследовании обнаружено, что биодоступность фтора в вегетарианской диете ниже, чем в различных видах смешанной (Goyal et al., 1998).

Есть данные, согласно которым для веганов характерно большее количество повреждений эмали и слизистой оболочки рта по сравнению с приверженцами средиземноморской диеты (Zotti et al., 2014). Хотя в этом исследовании не производилось оценки концентраций фтора в организме веганов и невегетарианцев, после фторотерапии у веганов последовали заметные улучшения в состоянии полости рта и эмали. Эти результаты могут косвенно свидетельствовать о том, что веганы имеют больший риск дефицита фтора относительно людей на смешанном питании.

В исследовании Awadia et al. оценена зависимость распространенности флюороза от диеты у детей. Было обнаружено, что это заболевание встречается значительно реже и проявляется в меньшей степени (по количеству пораженных зубов) среди вегетарианцев, чем среди приверженцев смешанной диеты. Риск развития флюороза в последней группе был выше в 7 раз. Согласно полученным данным, лишь у 4% невегетарианцев не было выявлено признаков флюороза в сравнении с 33% для вегетарианцев (Awadia et al., 2001).

В исследовании Staufenbiel et al., наоборот, изучалась частота кариеса (признак дефицита фтора) у вегетарианцев по сравнению с приверженцами смешанной диеты. Было обнаружено, что, несмотря на более тщательную гигиену рта у вегетарианцев, в этой группе частота появления кариеса была выше. Причины могут быть разными: авторы предполагают, что это может быть связано с более высоким потреблением углеводов (в частности, из фруктов). Обнаружено, что вегетарианцы меньше используют фторсодержащие пасты, и это вместе с предрасположенностью к дефициту фтора может чаще приводить к развитию кариеса (Staufenbiel et al., 2015).

При сравнении выведения фтора между вегетарианцами и группой смешанного высокобелкового питания Ekstrand et al. обнаружили, что при одинаковом поступлении фтора и его биодоступности экскреция осуществляется быстрее на вегетарианской диете. Предположительно,

причинами могут быть более щелочная реакция среды в моче у вегетарианцев; большее потребление жидкости (с овощами) и, как следствие, более обильный диурез; разное содержание в рационе фосфатов, кальция и комплексообразующих агентов (Ekstrand et al., 2009).

Нами не были найдены точные данные об обеспеченности вегетарианцев и веганов фтором. Имеющиеся свидетельства того, что вегетарианцы более предрасположены к развитию кариеса, оставляют вопрос о статусе фтора у них открытым. Учитывая значительную роль элемента в метаболизме эмали зубов и костной ткани, считаем, что требуется проведение подобных исследований. Отметим, что люди, находящиеся на смешанном питании, также часто страдают от дефицита фтора. В связи с этим многие государства проводят программу обогащения питьевой воды этим элементом (фторирование) (ATSDR, 2003).

КРЕМНИЙ

Кремний был открыт шведским ученым Йёнсом Берцелиусом в 1824 г. Название элемента происходит от лат. *silicis* (кремень) (Скальный, Рудаков, 2004).

Средний уровень потребления кремния составляет 20–50 мг/сут (Нормы физиологических потребностей..., 2009), оптимальный – 50–100 мг/сут (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Усваивается кремний в очень малых количествах – около 4%. Одним из основных антагонистов кремния является алюминий, избыток которого может вызывать снижение уровня кремния в организме (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

В организме человека содержится около 1 г кремния, в циркулирующей крови концентрация составляет приблизительно 1 мкг/мл (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Концентрация кремния в крови, по данным Морозовой и др., составляет 3,9 мг/л; в костях и мышцах – $17 \cdot 10^{-4}$ и $(1-2) \cdot 10^{-2}\%$ от костной и мышечной массы соответственно (Морозова и др., 2001). Наиболее высокие уровни кремния обнаруживаются в соединительной ткани (стенки сосудов, кости, связки, трахея, эпидермис кожи, волосы, лимфоузлы). В паренхиматозных органах и мышцах это количество намного меньше (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Кремний выполняет ряд физиологических функций. Он входит в качестве структурного компонента в состав гликозаминогликанов и

стимулирует синтез коллагена и костной ткани (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Была обнаружена положительная корреляция между уровнем потребления кремния и минеральной плотностью костей (Jugdaohsingh et al., 2004). Помимо участия в формировании соединительной ткани, он участвует в обмене липидов: два этих фактора позволяют предположить роль кремния в снижении риска атеросклероза. Известно, что кремний оказывает противовоспалительное и иммуностимулирующее действие, снижает аллергическую реакцию при бронхиальной астме (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Есть данные о том, что кремний играет роль в поддержании состояния генетического аппарата клетки и, как следствие, снижает вероятность карциногенеза (Marczynski, 1988).

Кремний является важным элементом для растений. Он участвует в фотосинтезе, поддерживает уровень транспирации и повышает устойчивость растений к различным факторам стресса (холод, засуха, различные бактериальные и грибковые заболевания). Примечательно, что эти эффекты в большей степени отмечались у растений, аккумулирующих кремний (Vatansever et al., 2016). У растений кремний является компонентом полиуронидов (пектиновой и альгиновой кислот) (Колесников, 2001). У морских губок кремний в форме полисиликата представляет собой основной компонент скелета (спикулы). Примечательно, что он также входит в состав фермента, который участвует в синтезе ортосиликата (биокремнезем), из которого впоследствии образуется полисиликат (Wang et al., 2012). Есть данные о существовании силикатных бактерий, которые при помощи специальных ферментов силиказ способны переводить кремний из неорганического состояния в органическое. Также известно о способности кремния конкурировать с фосфором в клетках *Proteus mirabilis* и замещать его в условиях дефицита фосфора (Колесников, 2001).

Известно, что дефицит кремния может развиваться при его поступлении в организм менее 5 мг/сут (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). К основным проявлениям дефицита относятся ослабление соединительной и костной тканей; выпадение волос, их хрупкость; склонность к воспалительным заболеваниям желудка и кишечника; гиперхолестеринемия (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Считается, что значительный недостаток кремния может нега-

тивно отражаться на мозге, костях и суставах. Его дефицит усугубляется низким потреблением кальция и высоким поступлением алюминия (Барановский и др., 2017).

Избыток кремния в волосах может быть связан с ускоренным выведением элемента из организма, а кроме того, может стать маркером нарушения водно-солевого обмена и заболеваний почек, суставов, а также повышенного риска атеросклероза (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Последствиями поступления кремния в организм могут быть силикоз (фиброз легких) (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; ATSDR, 2019), ХОБЛ, рак легких, поражение почек, а также повышенный риск туберкулеза и развития аутоиммунных заболеваний (ATSDR, 2019).

Причины избытка кремния редко бывают алиментарными. Это могут быть контакты с цементом, стеклом, кварцем, а также систематическое воздействие из окружающей среды (с водой, пылью). Другими проявлениями избытка являются мочекаменная болезнь; злокачественные опухоли плевры и брюшной полости (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). К токсическим эффектам промышленных соединений кремния также относятся иммуно- и генотоксичность, однако это встречается довольно редко (Chen et al., 2018).

Пищевыми источниками кремния являются овощи (морковь, свекла, репа, редис, кукуруза, капуста), бобовые, фрукты (бананы, абрикосы), цельнозерновые продукты, топинамбур, зелень, водоросли (Рекомендуемые уровни потребления..., 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008), рис, овес, пшено, сахарный тростник (ATSDR, 2019). Из напитков выделяют пиво, кофе, чай, минеральные воды. Наименьшее количество кремния обнаруживается в мясе и молочных продуктах (Robberecht et al., 2009), а также в рафинированных продуктах (Скальный, Рудаков, 2004; Sripanyakorn et al., 2004; Оберлис и др., 2008). С недавних пор появились БАДы с кремнием, которые применяют в профилактике и лечении таких заболеваний, как остеопороз, атеросклероз, нарушения формирования ногтей и роста волос (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Рекомендуемый уровень потребления кремния для взрослого населения составляет 30 мг/сут, верхний допустимый предел не установлен (Нормы физиологических потребностей..., 2009). Порог токсичности находится на уровне потребления 500 мг/сут (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Мы не обнаружили значительных исследований, оценивавших статус кремния у вегетарианцев и веганов. Видимо, последние потребляют наибольшее его количество из всех трех групп, так как кремний преимущественно содержится в овощах, шелухе злаковых растений, коже фруктов, горохе, фасоли, чесноке и луке (Тутельян и др., 2012). Кроме того, пищевые волокна, которыми богат стол вегетарианцев и веганов, способствуют лучшему усвоению этого элемента (Барановский и др., 2017). Также есть данные о том, что дефицит кремния может усугубляться в условиях дефицита кальция, часто встречающегося среди веганов (Galchenko, Ranjit, 2019). В связи с этим у веганов повышен риск развития остеопороза (Galchenko, Skalny, 2019). Учитывая все вышесказанное, а также тот факт, что кремний играет значительную роль в формировании соединительной ткани, веганам следует особенно внимательно следить за статусом этого элемента.

БРОМ

Бром был впервые открыт французом А.Ж. Беларом и немцем С. Левигом в 1826 г. Название элемента в переводе с греческого означает «зловоние» (bromos) (Скальный, Рудаков, 2004).

Бром поступает в организм человека в количестве 2–8 мг/сут. Выводится он, главным образом, с мочой и потом (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Содержание брома в организме взрослого человека составляет в среднем 260 мг. Он обнаруживается в крови (до 10 мг/л), костях и мышцах (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Концентрация брома в крови, по данным Морозовой и др., составляет 4,7 мг/л; в костях и мышцах – $6,7 \cdot 10^{-4}$ и $7,7 \cdot 10^{-4}\%$ от костной и мышечной массы соответственно (Морозова и др., 2001). Органами-мишенями, в которых происходит аккумуляция брома, являются почки, гипофиз, щитовидная железа (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Бром причисляют к условно эссенциальным элементам, однако о его физиологических функциях пока известно немного. Есть данные, что бромид-ион принимает участие в пищеварении: он задействован в активации некоторых пищеварительных ферментов (пепсина, липазы, амилазы). Также он способствует тормозным процессам в ЦНС (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). К антагонистам брома относят йод,

фтор, хлор и алюминий. За счет сходства с йодом, ионы брома могут снижать усвоение йода и нарушать функцию щитовидной железы (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Интересным фактом является то, что бром может заменять йод в Т3 и Т4 без потери их гормональной активности. В связи с этим бром рассматривают как один из способов антирадиационной терапии (Baker, 2004). Органическое соединение метилбромид, широко используемое в качестве пестицида, обладает мутагенным и канцерогенным эффектами (Bulathsinghala, Shaw, 2013).

Бром присутствует в разных живых организмах. Некоторые броморганические соединения вырабатываются естественным образом водорослями, губками, коралловыми полипами, растениями, грибами, лишайниками, микроорганизмами и некоторыми млекопитающими. Для одних соединения брома играют роль химической защиты (водоросли, грибы, губки), для других выступают в качестве гормонов (преимущественно наземные растения) (Gribble, 2000; Gribble, 2003). У некоторых морских организмов бром может входить в состав ферментов (Butler, Carter-Franklin, 2004).

Однозначные данные о дефиците брома у человека и его проявлениях отсутствуют. Было показано, что в условиях диализа на фоне дефицита брома у пациентов развивалась бессонница (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Алиментарный избыток брома встречается редко, чаще причинами интоксикаций становятся лекарственные препараты, профессиональные вредности. При этом развивается бромизм. Его симптомами являются кожная сыпь, пустулы и ожоги вплоть до некроза ткани (бромодерма) (Sagietal., 1985); ринит; бронхит; диспептические расстройства (тошнота); неврологические нарушения (снижение памяти, расстройства сна и речи, тремор) (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлиси др., 2008; Bulathsinghala, Shaw, 2013). К признакам острого отравления относят «бромистое оглушение», которое проявляется неврологическими нарушениями (расстройства речи, походки, внимания) (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). При вдыхании паров брома он может истощать антиоксидантную систему легких и повреждать эпителий (Zhou et al., 2018). В зависимости от дозы и продолжительности воздействия, это может вызвать ряд симптомов, начиная от кашля и заканчивая дыхательной недостаточностью (Woolf, Shannon, 1999).

Пищевыми источниками брома являются продукты растительного происхождения, в частности, орехи и зерновые культуры, крестоцветные (Gribble, 2003), дыня, поваренная соль, морепродукты (Морозова и др., 2001) молочные продукты (поставляют около 20% брома в рацион), хлеб (около 14% брома), рыба (Dokkum et al., 1989; Rose et al., 2001; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Большое содержание брома в растительных продуктах отчасти объясняется тем, что органические производные этого элемента применяются в качестве пестицидов и после них остается некоторое количество неорганического бромида (Pearson, Ashmore, 2019).

Рекомендуемые пределы потребления брома не установлены. Токсическая доза для человека оценивается в 3 г, летальная доза – 35 г (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

На сегодняшний день не были обнаружены исследования, проводившие оценку содержания брома в рационе веганов и вегетарианцев, а также его концентрацию в крови и других биологических образцах у этой группы населения.

Бром может накапливаться при дефиците хлора и йода, так как они являются антагонистами (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Данные о дефиците хлора практически отсутствуют, напротив, избыток этого элемента встречается часто в случае чрезмерного пристрастия к соленой пище (Гальченко, Назарова, 2019а) или при нарушении работы почек (Li et al., 2016). Дефицит йода встречается среди всех групп населения, однако чаще среди веганов (Гальченко, Назарова, 2020).

Так как основными источниками брома для человека являются рыба и морепродукты, люди на смешанном питании подвержены меньшему риску его дефицита, чем веганы и вегетарианцы. На фоне нехватки йода в организме дефицит брома усугубляется.

Многие растительные продукты содержат умеренные количества брома, однако в связи с активным использованием бромсодержащих пестицидов в них происходит накопление этого элемента. Поскольку веганы и вегетарианцы потребляют больше растительной пищи, чем приверженцы смешанного питания, они могут иметь больший риск развития отравления этими токсическими соединениями. Интоксикация может усугубляться в условиях дефицита йода (что наиболее характерно для веганов), так как в этом

случае бром усваивается и аккумулируется в организме в большей степени.

БОР

Название элемента произошло от лат. *borax* (бура). Открыт в 1808 г. Ж.Л. Гей-Люссаком и Л.Ж. Тенаром (Франция) и Г. Дэви (Англия) (Скальный, Рудаков, 2004).

Бор в пищевых продуктах находится преимущественно в виде борной кислоты и бората натрия, которые быстро всасываются в желудочно-кишечном тракте. Усвоение бора происходит более чем на 90% (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Содержание бора в организме взрослого человека в среднем составляет 20 мг. Основным депо этого элемента является скелет (более 50%), на мягкие ткани приходится около 10%. В среднем, количество бора в тканях составляет 0,05–0,6 мкг/кг, однако для ногтей и зубов значения могут быть выше. Помимо этого, бор обнаруживается в паренхиматозных органах, жировой клетчатке, клетках нервной ткани. Концентрация в плазме крови находится на уровне 0,02–0,075 мкг/мл, однако в регионах с повышенным содержанием бора в окружающей среде это значение может достигать 0,45–0,66 мкг/мл (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Концентрация бора в крови, по данным Морозовой и др., составляет 0,13 мг/л; в костях и мышцах – $(1,1–3,3) \cdot 10^{-4}$ и $(0,33–1) \cdot 10^{-4}$ % от костной и мышечной массы соответственно (Морозова и др., 2001). Выведение бора из организма осуществляется преимущественно с мочой (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Период полувыведения составляет 24 ч (ATSDR, 2010).

В организме человека бор участвует в обмене глюкозы (может играть роль в профилактике диабета), жиров, стероидных гормонов; метаболизме и экскреции кальция, магния, фосфора и витамина D (предполагается регуляторная функция в отношении паратгормона); поддержании прочности костей и когнитивных функций (Jensen, 2008). Согласно некоторым данным, введение борнокислого натрия в дозе 5–10 мг/кг может приводить к повышению уровня сахара в крови. Бораты способствуют инактивации витаминов B₂ и B₁₂, угнетению метаболизма адреналина; влияют на активность некоторых ферментов (каталаз). В присутствии бора в ЖКТ снижается всасывание аскорбиновой кислоты, флавоноидов, серосодержащих аминокислот. Также

бор является синергистом хлора и цинка и, предположительно, антагонистом меди (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Описано применение БАДы, содержащих бор, для снижения экскреции магния, фосфора и кальция с мочой (Kjølholt et al., 2003). Есть данные о том, что бор может снижать риск развития рака простаты (Barranco, Eckhert, 2004).

В растительном мире бор является важным элементом. Он обеспечивает нормальный рост и развитие растений, участвуя в обмене азота и углеводов, полимеризации цитоскелета, активации ферментов дегидрогеназ, регуляции мембранного потенциала и проницаемости, контроле пористости клеточной стенки и метаболизме РНК. Также бор играет важную роль в синтезе биофлавоноидов и гормонов (в частности гетероауксина – гормона роста растений). Дефицит бора приводит к значительному снижению урожайности, нарушению вегетативных и репродуктивных функций растений (при "борном голодании" рост растений тормозится, возникает риск развития различных болезней); избыток также обладает токсическим эффектом (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Hänsch, Mendel, 2009; Vatansever et al., 2016).

У человека в условиях дефицита бора может развиваться хрупкость костей за счет влияния этого элемента на обмен кальция, фосфора, витамина D (Скальный, Рудаков, 2004; Jensen, 2008; Оберлис и др., 2008). Нехватка витамина D усиливает влияние дефицита бора на обмен Ca, Mg, P. В период постменопаузы на фоне нехватки бора может наблюдаться ухудшение минерального обмена и состояния костной ткани, однако устранение его дефицита способствует повышению концентрации 17-бета-эстрадиола в сыворотке крови; улучшаются когнитивные и поведенческие показатели (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Существуют исследования, выявившие связь дефицита бора с риском развития болезни Кашина-Бека (эндемическое заболевание суставов в некоторых регионах Восточной Азии) (Peng et al., 2000).

При избыточном поступлении соединений бора (бура, борная кислота) в организм или нарушении его обмена возникает интоксикация. Острое отравление проявляется рвотой и диспепсией. Более серьезными симптомами могут быть рибофлавиноурия, дерматит, летаргия, шок. Поступление бора с вдыхаемым воздухом может вызывать судороги, мышечные боли, психиче-

ские нарушения, диплопию. При хронической интоксикации бором помимо диспепсии развивается обезвоживание организма, потеря аппетита, сыпь и шелушение кожи, снижение половой активности, ухудшение показателей спермограммы, анемия. Группа экспертов ЕС рекомендовала отнести борную кислоту и бораты к веществам, представляющим риск для репродуктивной системы (Kjølholt et al., 2003). В отдельных районах (Южный Урал, Север Казахстана) встречается эндемический борный энтерит (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Jensen, 2008).

Люди получают бор в основном из еды, преимущественно из фруктов, овощей (особенно листовых, картофеля, моркови), грибов, изюма, орехов, злаковых и бобовых, а также таких напитков, как вино, молоко, сидр и пиво (Raine et al., 1999; Рекомендуемые уровни потребления..., 2004; EFSA, 2006). Фрукты, овощи, бобовые имеют более высокие концентрации бора, чем зерновые культуры или продукты животного происхождения (Hunt et al., 1991). Отдельно можно выделить кофе и молоко: содержание бора в них небольшое, однако за счет объема потребления этих продуктов они являются значимыми источниками. Так, в исследовании Raine et al. кофе и молоко поставляли соответственно 6,7 и 11,8% бора от его общего суточного поступления (Raine et al., 1999). Помимо этого, значительное количество бора может поступать с питьевой водой, особенно минеральной. Также не исключается его поступление с косметикой и пищевыми добавками (IPCS, 1998).

Адекватный уровень потребления бора составляет 2,0 мг, а верхний допустимый предел – 6,0 мг (Рекомендуемые уровни потребления..., 2004). Согласно рекомендациям США, верхняя граница поступления бора в организм составляет 20 мг/сут. Для детей до 8 лет это значение составляет 3–6 мг/сут, с 9 до 18 лет – 11–17 мг/сут, при этом для обоих полов нормы одинаковы. Рекомендуемый порог поступления бора во время беременности и грудного вскармливания также составляет 17–20 мг/сут (Dietary Reference Intakes..., 2019). Токсической дозой бора считается 4 г, а данные о летальной дозе отсутствуют (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

В исследовании Raine et al. количество бора в рационе у вегетарианцев было выше, чем у приверженцев смешанной диеты, причем закономерность сохранялась как среди мужчин (на 27%), так и среди женщин (на 20%). Для обеих групп уров-

ни потребления бора находились в пределах рекомендуемых норм (Raine et al., 1999). В российском исследовании Юнацкой и др. была произведена сравнительная оценка поступления бора различных групп питания. В группу «вегетарианцев» вошли сыроеды ($n = 12$), веганы (строгие вегетарианцы) ($n = 14$), вегетарианцы ($n = 14$), группу сравнения составили люди на смешанном питании ($n = 50$). Установлено, что среднесуточное поступление бора в группе у «вегетарианцев» из нижнего квартиля было в 1,5 раза больше, чем у лиц, находящихся на смешанном питании; «вегетарианцы» в верхнем квартиле также потребляли больше бора (в 2 раза). В обеих группах поступление бора укладывалось в границы адекватного уровня потребления (Юнацкая и др., 2015). Сравнения между сыроедами, веганами и вегетарианцами, к сожалению, проведено не было.

Фрукты, овощи и бобовые имеют более высокие концентрации бора, чем зерновые культуры или продукты животного происхождения (Hunt et al., 1991; Raine et al., 1999; Рекомендуемые уровни потребления..., 2004; EFSA, 2006). Эти продукты потребляются вегетарианцами и веганами в большом количестве и являются основой их рациона. Таким образом, вероятно, у вегетарианцев и веганов потребление бора выше, чем у людей, находящихся на смешанной диете. При оценке риска нарушений статуса бора, однако, необходимо учитывать географический фактор.

Обмен бора в организме связан со статусом кальция, витамина D, фосфора и влияет на формирование костей. Веганы часто имеют дефицит витамина D и кальция, что обуславливает их большую склонность к остеопорозу (Galchenko, Skalny, 2019).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физиологическая роль условно эссенциальных микроэлементов на сегодняшний день изучена недостаточно. Для некоторых из них даже не установлены нормы суточного потребления. Тем сложнее представляется проблема изучения статуса этих элементов у веганов и вегетарианцев.

Фтор, как и другие галогены, содержится в морепродуктах в заметно больших количествах, чем в тех, что выращены вдали от океана. Таким образом, вегетарианцы и веганы, не потребляющие в достаточных количествах морские водоросли, имеют повышенный риск дефицита не только йода, но и фтора. В то же время, несмотря на недавние свидетельства того, что вегетарианцы

более подвержены развитию кариеса, вряд ли это возможно напрямую связать со статусом этого элемента в данных группах населения: все же основным алиментарным источником фтора является питьевая вода. В связи с этим (а также из соображений антисептики) сегодня многие государства проводят политику фторирования воды.

Бром также является галогеном и содержится, в основном, в морепродуктах. При дефиците йода, часто встречающемся у вегетарианцев и веганов, способность к аккумуляции брома в организме возрастает. Принимая во внимание тот факт, что бром входит в состав пестицидов, которые могут накапливаться в растениях, веганы и вегетарианцы могут иметь повышенный риск ин-

токсикации этим элементом, несмотря на меньшее его потребление.

Кремний и бор поступают в организм человека преимущественно с растительными продуктами, и, по всей видимости, веганы потребляют этих элементов больше, чем люди на смешанном питании. В то же время поскольку статус кремния и бора критически важен для нормального метаболизма костной ткани (так как кремний участвует в синтезе соединительной ткани, а бор – в метаболизме витамина D, кальция и фосфора), веганам, имеющим повышенный риск развития остеопении и остеопороза, следует особенно внимательно относиться к статусу этих элементов.

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

Барановский А.Ю., Пальгова Л.К., Кондрашина Э.А., Райхельсон К.Л., Марченко Н.В., Назаренко Л., Протопопова О., Семенов Н., Харитонов А., Шукина О. Диетология. 5-е изд. Руководство. (5 ред.) СПб: Питер, 2017; 1104.

[Baranovskij A. Yu., Pal'gova L. K., Kondrashina E. A., Rajhel'son K. L., Marchenko N. V., Nazarenko L., Protopopova O., Semenov N., Haritonov A., Shchukina O. Dietologiya. 5-e izd. Rukovodstvo. (5 red.) SPb: Piter, 2017; 1104 (In Russ.)]

Гальченко А.В., Назарова А.М. Макроэлементы в питании вегетарианцев и веганов. Микроэлементы в медицине. 2019а; 20(2):3–17. DOI: 10.19112/2413-6174-2019-20-2-3-17.

[Galchenko A.V., Nazarova A.M. Macroelements in nutrition of vegetarians and vegans (review). Mikrojelementy v medicine. 2019a; 20(2):3–17. DOI: 10.19112/2413-6174-2019-20-2-3-17. (In Russ.)]

Гальченко А.В., Назарова А.М. Эссенциальные микро- и ультрамикроэлементы в питании вегетарианцев и веганов. Ч. 1. Железо, цинк, медь, марганец. Микроэлементы в медицине. 2019б; 20(4):14–23.

[Galchenko A.V., Nazarova A.M. Essential trace and ultra trace elements in nutrition of vegetarians and vegans. Part 1. Iron, zinc, copper, manganese. Mikrojelementy v medicine. 2019b; 20(4):14–23. (In Russ.)]

Гальченко А.В., Назарова А.М. Эссенциальные микро- и ультрамикроэлементы в питании вегетарианцев и веганов. Ч. 2. Йод, селен, хром, молибден, кобальт. Микроэлементы в медицине. 2020; 21(2):13–22. DOI: 10.19112/2413-6174-2020-21-2-13–22.

[Galchenko A.V., Nazarova A.M. Essential trace and ultra trace elements in nutrition of vegetarians and vegans. Part 2. Iodine, selenium, chrome, molybdenum, cobalt. Mikrojelementy v medicine. 2020; 21(2):13–22. DOI: 10.19112/2413-6174-2020-21-2-13–22. (In Russ.)]

Колесников М.П. Формы кремния в растениях. Успехи биологической химии. 2001; 41:301–332.

[Kolesnikov M.P. Formy kremniya v rasteniyah. Uspehibiologicheskoyhimii. 2001; 41:301–332. (In Russ.)]

Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009; 36.

[Normy fiziologicheskikh potrebnostej v energii i pishchevyh veshchestvah dlya razlichnyh grupp naseleniya Rossijskoj Federacii. Metodicheskie rekomendacii. M.: Federal'nyj centr gigeny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2009; 36 (In Russ.)]

Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб: Наука, 2008; 544.

[Oberlis D., Harland B., Skal'nyj A. Biologicheskayarol' makro- imikroelementov u cheloveka i zhivotnyh. SPb: Nauka, 2008; 544 (In Russ.)]

Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ: Методические рекомендации. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004; 46.

[Rekomenduemye urovni potrebleniya pishchevyh i biologicheskii aktivnyh veshchestv: Metodicheskie rekomendacii. M.: Federal'nyj centr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004; 46(In Russ.)]

Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М.: Мир, 2004; 272.

[Skalny A.V., Rudakov I.A. Bioelementy v medicine. M.: Mir, 2004; 272 (In Russ.)]

Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания: Справочник. М.: ДеЛи плюс, 2012; 284.

[Tutel'yan V.A. Himicheskij sostav i kalorijnost' rossijskih produktov pitaniya: Spravochnik. M.: De Lipljus, 2012; 284 (In Russ.)]

Химические элементы в организме человека: справочные материалы. Под ред. Морозовой Л.В. Архангельск: Издательский центр ПГУ им. М.В. Ломоносова, 2011; 44

[Himicheskie elementy v organizme cheloveka: spravochnye materialy. Pod red. Morozovoj L.V. Arhangel'sk: Izdatel'skij centr PGU im. M.V. Lomonosova, 2011; 44. (In Russ.)]

Юнацкая Т.А., Турчанинова М.С., Костина Н.Н. Гигиеническая оценка питания вегетарианцев и лиц со смешанным питанием. Гигиена и санитария. 2015; 9:72–75.

[Yunatskaya T.A., Turchaninova N.S., Kostina N.N. Hygienic assessment of nutrition in vegetarians and people with mixed feeding. *Gigienai Sanitariya*. 2015; 94(9):72–75. (In Russ.)]

Agalakova N. I., Gusev G. P. Effect of inorganic fluoride on living organisms of different phylogenetic level. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*. 2011; 47(5):393–406. doi:10.1134/s002209301105001x.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2003. Toxicological profile for Fluorides, Hydrogen Fluoride, and Fluorine. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2010. Toxicological profile for Boron. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2019. Toxicological profile for Silica. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Awadia A. K., Haugejorden O., Bjorvatn K., Birkeland J. M. Vegetarianism and dental fluorosis among children in a high fluoride area of northern Tanzania. *International Journal of Paediatric Dentistry*. 2001, 9(1):3–11. doi:10.1046/j.1365-263x.1999.00104.x

Baker D. H. Iodine Toxicity and Its Amelioration. *Experimental Biology and Medicine*. 2004, 229(6):473–478. doi:10.1177/153537020422900604

Barranco W. T., Eckhart C. D. Boric acid inhibits human prostate cancer cell proliferation. *Cancer Lett*. 2004, 216:21–29.

Bulathsinghala A., Shaw I. The toxic chemistry of methyl bromide. *Human & Experimental Toxicology*. 2013; 33(1):81–91. doi:10.1177/0960327113493299

Butler A., Carter-Franklin J. N. The role of vanadium bromoperoxidase in the biosynthesis of halogenated marine natural products. *Natural Product Reports*. 2004; 21(1):180–188. doi:10.1039/b302337k.

Chen L., Liu J., Zhang Y., Zhang G., Kang Y., Chen A., Feng X., Shao L. The toxicity of silica nanoparticles to the immune system. *Nanomedicine*. 2018, 13(15): 1939–1962. doi:10.2217/nmm-2018-0076.

Chowdhury C., Khijmatgar S., Kumari D. P., Chowdhury A., Grootveld M., Hegde C., Lynch E.. Fluoride in fish flesh, fish bone and regular diet in south-coastal area of Karnataka state of India. *Indian J. Dent. Res*. 2018; 29(4):414–417.

Dietary Reference Intakes for Sodium and Potassium: Appendix J, Dietary Reference Intakes Summary Tables. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine; Health and Medicine Division; Food and Nutrition Board; Committee to Review the Dietary Reference Intakes for Sodium and Potassium; Oria M, Harrison M, Stallings VA, editors. Washington (DC): National Academies Press (US), 2019.

Dokkum W.V., De Vos R.H., Muys T., Wesstra J.A. Minerals and trace elements in total diets in The Netherlands. *British Journal of Nutrition*. 1989; 61(01): 7–15. doi:10.1079/bjn19890087.

EFSA. Boron, in tolerable upper intake levels for vitamins and minerals. European Food Safety Authority, Parma. 2006; 309–322.

Ekstrand J., Spak C.J., Ehrnebo M. Renal Clearance of Fluoride in a Steady State Condition in Man: Influence of Urinary Flow and pH Changes by Diet. *Acta Pharmacologica et Toxicologica*. 2009; 50(5):321–325. doi:10.1111/j.1600-0773.1982.tb00982.x.

Galchenko A.V., Ranjit R. Calcium status among vegetarians and vegans. Russian scientific-practical conference with international participation. *Fundamentals of technological development of agriculture*. Orenburg, 2019; 209–212.

Galchenko A.V., Sherstneva A.A. Fluorine status among vegans, vegetarians and religious fasters. *Biogeochemical innovations under the conditions of the biosphere technogenesis correction*. Tiraspol, 5–7 November 2020; 359 – 365.

Galchenko A.V., Skalny A.A. Risk of osteoporosis among vegetarians and vegans. *FESTEM International Symposium on Trace Elements and Minerals*. Abstracts: Poster Proceedings. 2019; 42.

Goschorska M., Baranowska-Bosiacka I., Gutowska I., Metyka E., Skórka-Majewicz M., Chlubek D. Potential Role of Fluoride in the Etiopathogenesis of Alzheimer's Disease. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018; 19(12): 3965. doi:10.3390/ijms19123965.

Goyal A., Gauba K., Tewari A. Bioavailability of fluoride in humans from commonly consumed diets in India. *J Indian SocPedodPrev Dent*. 1998; 16(1):1–6.

Gribble G. W. The natural production of organobromine compounds. *Environmental Science and Pollution Research*. 2000; 7(1): 37–49. doi:10.1065/espr199910.002.

Gribble G.W. The diversity of naturally produced organohalogens. *Chemosphere*. 2003; 52(2):289–297. doi:10.1016/s0045-6535(03)00207-8.

Hänsch R., Mendel R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*. 2009; 12(3):259–266. doi:10.1016/j.pbi.2009.05.006.

Hunt C.D., Shuler T.R., Mullen L.M. Concentration of boron and other elements in human foods and personal-care products. *J. Am. Diet. Assoc*. 1991; 91(5):558–568.

IPCS. Environmental Health Criteria 204: boron. International Programme on Chemical Safety, World Health Organization (WHO), Geneva. 1998; 201

Jensen A.A. Risk assessment of boron in glass wool insulation. *Environmental Science and Pollution Research*. 2008; 16(1):73–78. doi:10.1007/s11356-008-0062-8.

Jugdaohsingh R., Tucker K.L., Qiao N., Cupples L.A., Kiel D.P., Powell J.J. Dietary silicon intake is positively associated with bone mineral density in men and premenopausal women of the Framingham offspring cohort. *J. Bone Miner. Res*. 2004; 19:297–307.

- Kjølholt J., Stuer-Lauridsen F., Skibsted Mogensen A., Havelund S. The elements in the second Rank. Miljøministeriet, Copenhagen, Denmark. 2003; 108.
- Li L., Liang W., Ye T., Chen Z., Zuo X., Du X., Qian K., Zhang C., Hu X., Li J., Wang L., Ma Z., Yao Y. The Association between Nutritional Markers and Biochemical Parameters and Residual Renal Function in Peritoneal Dialysis Patients. *PLOS ONE*. 2016; 11(6):e0156423. doi:10.1371/journal.pone.0156423.
- Marczynski B. Carcinogenesis as the result of the deficiency of some essential trace elements. *Medical Hypotheses*. 1988; 26(4):239–249. doi:10.1016/0306-9877(88)90127-2.
- Pearson A. J., Ashmore E. Risk assessment of antimony, barium, beryllium, boron, bromine, lithium, nickel, strontium, thallium and uranium concentrations in the New Zealand diet. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2019; 1–14. doi:10.1080/19440049.2019.1704445.
- Peng X., Lingxia Z., Schrauzer G. N., Xiong G. Selenium, Boron, and Germanium Deficiency in the Etiology of Kashin-Beck Disease. *Biological Trace Element Research*. 2000; 77(3): 193–198. doi:10.1385/bter:77:3:193.
- Rainey C. J., Nyquist L. A., Christensen R. E., Strong P. L., Culver B. D., Coughlin J. R. Daily Boron Intake from the American Diet. *Journal of the American Dietetic Association*. 1999; 99(3):335–340. doi:10.1016/s0002-8223(99)00085-1.
- Robberecht H., Van Cauwenbergh R., Van Vlaslaer V., Hermans N. Dietary silicon intake in Belgium: Sources, availability from foods, and human serum levels. *Science of the Total Environment*. 2009; 407(16):4777–4782. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.05.019.
- Rose M., Miller P., Baxter M., Appleton G., Crews H., Croasdale M. Bromine and iodine in 1997 UK total diet study samples. *Journal of Environmental Monitoring*. 2001, 3(4):361–365. doi:10.1039/b105695f
- Sagi A., Baruchin A. M., Ben-Yakar Y., Kon M., Eyal A., Mahler D. Burns caused by bromine and some of its compounds. *Burns Incl. Therm Inj*. 1985; 11:343–350. doi: 10.1016/0305-4179(85)90097-X.
- Sripanyakorn S., Jugdaohsingh R., Elliott H., Walker C., Metha P., Shoukru S., Thompson R., Powell J. The silicon content of beer and its bioavailability in healthy volunteers. *Br. J. Nutr*. 2004, 91:403–409. doi: 10.1079/BJN20031082.
- Staufenbiel I., Adam K., Deac A., Geurtsen W., Günay H. Influence of fruit consumption and fluoride application on the prevalence of caries and erosion in vegetarians—a controlled clinical trial. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2015; 69(10):1156–1160. doi:10.1038/ejcn.2015.20.
- Strunecka A., Strunecky O. Chronic Fluoride Exposure and the Risk of Autism Spectrum Disorder. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019; 16(18):3431–3451. doi:10.3390/ijerph16183431
- Vatansever R., Ozyigit I.I., Filiz E. Essential and Beneficial Trace Elements in Plants, and Their Transport in Roots: a Review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2016; 181(1):464–482. doi:10.1007/s12010-016-2224-3.
- Wang X., Schröder H.C., Wiens M., Ushijima H., Müller W.E. Bio-silica and bio-polyphosphate: applications in biomedicine (bone formation). *Current Opinion in Biotechnology*. 2012, 23(4): 570–578. doi:10.1016/j.copbio.2012.01.018.
- Woolf A., Shannon M. Reactive airways dysfunction and systemic complaints after mass exposure to bromine. *Environ Health Perspect*. 1999; 107:507–509.
- Yoshida M. Is Chromium an Essential Trace Element in Human Nutrition? *Nippon EiseigakuZasshi (Japanese Journal of Hygiene)*. 2012; 67(4):485–491. doi:10.1265/jjh.67.485.
- Zhou T., Song W.-F., Shang Y., Yao S.-L., Matalon S. Halogen Inhalation-Induced Lung Injury and Acute Respiratory Distress Syndrome. *Chinese Medical Journal*. 2018; 131(10):1214–1219. doi:10.4103/0366-6999.231515.
- Zohoori F.V., Maguire A. Development of a database of the fluoride content of selected drinks and foods in the UK. *Caries Res*. 2016; 50:331–336.
- Zotti F., Laffranchi L., Fontana P., Dalessandri D., Bonetti S. Effects of fluorotherapy on oral changes caused by a vegan diet. *Minerva Stomatol*. 2014; 63(5):179–188.
- Zuo H., Chen L., Kong M., Qiu L., Lü P., Wu P., Yang Y., Chen K. Toxic effects of fluoride on organisms. *Life Sciences*. 2018, 198:18–24. doi:10.1016/j.lfs.2018.02.001.

CONDITIONALLY ESSENTIAL TRACE ELEMENTS IN NUTRITION OF VEGETARIANS AND VEGANS: FLUORINE, SILICON, BROMINE, BORON

A.V. Galchenko^{1,2}, A.A. Sherstneva³, M.M. Levina³

¹Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety,
2/14, Ust'inskiyProezd Str., 109240, Moscow, Russia

²Peoples` Friendship University of Russia,
6, Miklukho-Maklaya str., 117198, Moscow, Russia

³I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University),
8/2, Trubetskaya str., Moscow, Russia

ABSTRACT. A brief review of the physiology of conditionally essential trace elements and their status among vegetarians and vegans is presented.

To date, the biological role of conditionally essential trace elements has been studied much worse than the role of essential trace elements and, especially, macroelements. Nevertheless, they perform a number of important functions in the human body, and the development of their deficiency may lead to unpleasant consequences.

Fluorine plays an important role in calcium-phosphorus metabolism and bone tissue development. In addition, it is necessary to maintain normal oral flora. With its deficiency, the risk of osteoporosis development increases while the resistance of tooth enamel to bacterial damage decreases. Despite the evidence that vegetarians are more likely to develop caries than omnivores, it is premature to conclude that they are poorly supplied with fluoride, primarily because drinking water is still the main source of fluoride.

The most studied function of silicon is its involvement in the collagen synthesis. Thus, with silicon deficiency, the formation of connective tissue, including the organic matrix of the bones, is disturbed. Despite the fact that silicon is mainly found in plant foods, vegans should be mindful about its status, since they have an increased risk of osteopenia and osteoporosis.

There is a lack of data on the physiological significance of bromine. Presumably, it is involved in the activation of certain digestive enzymes, inhibitory processes in the nervous system. Although vegetarians and vegans seem to consume less bromine than omnivores, they are probably at a higher risk of intoxication with this element. This is due to the fact that bromine-containing pesticides are actively used in agriculture and can accumulate in plants. Vegetarians and vegans consume more plant foods. The situation is aggravated by the fact that bromine accumulates more actively against the background of iodine deficiency, which is often observed in these population groups.

Boron plays a role in the glucose and lipid metabolism, as well as in the vitamin D, calcium and phosphates exchange, thus participating in the formation of an inorganic matrix of bones. It is unlikely that vegetarians and vegans have an increased risk of developing nutritional deficiency of boron compared to omnivores. However, considering data on a higher risk of vitamin D and calcium deficiency and osteoporosis, monitoring and correction of boron status can affect the prevalence of metabolic disturbances in bone tissue among vegans.

KEYWORDS: vegetarian, vegan, conditionally essential elements, trace elements, fluorine, silicon, bromine, boron.