

ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

МАКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПИТАНИИ ВЕГЕТАРИАНЦЕВ И ВЕГАНОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

А.В. Гальченко^{1,2*}, А.М. Назарова¹

¹ ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ. Структуры биологических объектов состоят в основном из углерода, водорода, кислорода и азота. Эти элементы являются органогенами – основой органической материи. Остальные химические элементы выполняют преимущественно кофакторные и электролитные функции (также и структурные, но в меньшей степени). В наибольшем количестве (после органогенов) в организме содержатся макроэлементы кальций, фосфор, калий, магний, сера, хлор и натрий – эссенциальные нутриенты, абсолютно необходимые для жизнедеятельности организмов. Они участвуют во множестве ферментативных процессов; являются регуляторами осмотического давления и кислотности всех сред организма; являются внутри- и межклеточными мессенджерами; необходимы для процессов возбуждения и торможения; являются структурными компонентами некоторых тканей и др. Макроэлементы распределены в продуктах питания не так равномерно, как органогены. Продукты животного происхождения, особенно молочные продукты, содержат больше кальция, чем растительная пища. Кроме того, в растительных продуктах содержится фитиновая кислота и другие ингибиторы абсорбции многих катионов, что значительно снижает биодоступность кальция и магния. Изобилие магния и пищевыми волокнами, растительная пища ускоряет пассаж кишечного содержимого, что также снижает абсорбцию минеральных веществ.

Веганы, отказываясь от продуктов животного происхождения, попадают в группу риска дефицита кальция. Однако даже незначительная термическая обработка пищи, снижает активность фитатов, что значительно повышает всасываемость кальция. Помимо этого, существует множество других источников высоко доступного кальция, как обогащенные соевые продукты, минеральные воды и пищевые добавки. В то же время растительные продукты содержат значительно больше магния и калия. Натрий и хлор широко представлены в пищевых продуктах. В организм человека эти элементы попадают в значительной степени с поваренной солью. Дефицит фосфора также встречается крайне редко, и связано это обычно с гормональной дисфункцией или избыточным поступлением его антагонистов. Сера очень широко распространена в пищевых продуктах. На сегодняшний день нет достаточных данных о дефиците серы в каких-либо группах населения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вегетарианство, веганство, минеральные вещества, кальций, фосфор, калий, натрий, хлор, сера, магний, фитаты.

ВВЕДЕНИЕ

В человеческом организме представлены практически все химические элементы, находящиеся на Земле. Однако их количественное соотношение резко отличается от того, что есть в окружающей среде (Радыш, Скальный, 2015). Биоэлементы – жизненно важные компоненты питания человека, они необходимы для построения структур живых тканей и осуществления биохимических процессов, лежащих в основе жизнедеятельности организма. В организме человека хи-

мические элементы не синтезируются, а попадают преимущественно с пищей и питьевой водой (Авцын и др., 1991; Оберлис и др., 2008; Барановский, 2017).

Существует множество классификаций биоэлементов. Некоторые из них основаны на различиях в содержании биоэлементов в организме (макро-, микро-, ультрамикроэлементы), другие – на важности биоэлементов для организма и характере основного действия (эссенциальные, условно эссенциальные, токсичные), на различии-

* Адрес для переписки:

Гальченко Алексей Владимирович

E-mail: gav.jina@gmail.com

ях по анатомо-физиологическим свойствам (биокаталитические, эндокринные и пр.), по всасываемости в пищеварительном тракте и др. Наибольшую практическую ценность представляют две характеристики биоэлементов – их количественное содержание в организме и реакция организма на дефицит или избыток этих элементов (Авцын и др., 1991; Скальный и др., 2005; Оберлис и др., 2008).

Исходя из содержания в организме человека, выделяют четыре группы элементов:

1. Структурные элементы или органогены (содержание в организме более 1 кг) – кислород, углерод, азот, водород. На долю этих четырех элементов приходится 96% массы тела.

2. Макроэлементы (концентрация в организме более 0,01%) – фосфор, кальций, калий, натрий, сера, хлор, магний.

3. Микроэлементы (концентрация в организме от 0,00001 до 0,01%) – цинк, железо, фтор, стронций, молибден, медь, бром, кремний, цезий, йод, марганец, алюминий, свинец, кадмий, бор, рубидий.

4. Ультрамикроэлементы (концентрация в организме менее 0,00001%) – селен, никель, хром, кобальт, ниобий, теллур, ванадий, мышьяк, олово, титан, ртуть, золото, сурьма, иттрий, германий, барий, цирконий, висмут, скандий, серебро, литий, уран, бериллий, торий, родий и др. (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Радыш, Скальный, 2015).

По биологической значимости элементы разделяют на эссенциальные, условно

эссенциальные и токсичные. К эссенциальным, помимо всех макроэлементов, относятся такие микро- и ультрамикроэлементы, как железо, йод, медь, цинк, кобальт, хром, молибден, селен, марганец; к условно эссенциальным – мышьяк, фтор, литий, никель, кремний, ванадий и др. Химический элемент считается эссенциальным, если при его отсутствии невозможны рост и развитие организма. При дефиците условно эссенциальных элементов, жизнедеятельность возможна, однако она будет в той или иной степени нарушена (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Радыш, Скальный, 2015).

Токсичными элементами являются алюминий, кадмий, ртуть, бериллий, барий, висмут, таллий, потенциально токсичными – серебро, золото, индий, германий, рубидий, титан, теллур, уран, вольфрам, олово, цирконий и др. Воздей-

ствие этих элементов приводит к токсическим поражениям органов и систем (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Радыш, Скальный, 2015).

Однако, согласно принципу Парацельса, в больших дозах и эссенциальные микроэлементы, и даже макроэлементы оказываются токсичными (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Если структурные элементы органогены являются основными компонентами любой пищи, то другие минеральные вещества содержатся в различных продуктах питания в неодинаковых количествах. Растительная пища богата калием, магнием, в то время как цинк и кальций преимущественно поступают из продуктов животного происхождения. Кроме того, некоторые минеральные вещества в растительных источниках обладают низкой биодоступностью. В результате этого вегетарианцы и веганы могут испытывать их дефицит (Скальный и др., 2005; Тутельян, 2012).

Интоксикации минеральными веществами и, тем более, макроэлементами, крайне редко возникают по алиментарным причинам. Обычно это бывает вызвано воздействием окружающей среды: угнетенной экологии, близостью производств, профессиональными вредностями. Соответственно, входными воротами для токсикантов чаще являются слизистые дыхательных путей и кожные покровы (Авцын и др., 1991; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Барановский, 2017).

Кроме того, концентрации макроэлементов в крови регулируются метаболически очень жестко. Это приводит к тому, что на сегодняшний день нет единого мнения о верхнем допустимом уровне потребления макроэлементов. Исключение составляет кальций, но и его избыток вследствие алиментарных причин встречается весьма редко. Также необходимо отметить, что употребление натрия рекомендуется ограничивать до 5 г/сут при определенных состояниях (Авцын и др., 1991; Скальный, Рудаков, 2004; Рекомендуемые уровни потребления..., 2004; Оберлис и др., 2008; Нормы физиологических потребностей в энергии..., 2009; Радыш, Скальный, 2015; Барановский, 2017).

Ц е л ь р а б о т ы – краткий обзор физиологии макроэлементов и обеспеченности ими вегетарианцев (людей, не употребляющих мясо и рыбу) и веганов (тех, кто полностью исключил продукты животного происхождения из рациона).

Кальций. Кальций впервые выделен Г. Дэви в 1808 г. Название элемента происходит от лат. *calx* (известь) (Скальный, Рудаков, 2004). Кальций участвует в формировании костей, дентина и эмали зубов; регуляции нервной и нервно-мышечной проводимости; регуляции сосудистого тонуса, сердечного ритма, проницаемости сосудистой стенки; является внутри- и межклеточным мессенджером; оказывает противовоспалительное, десенсибилизирующее действие; участвует в репродуктивной функции, поддержании кислотно-основного равновесия организма и др. (Ленинджер, 1985; Брикман, 1999; Шабров и др., 2003; Камкин, Каменский, 2004; Северин, 2004; Скальная и др., 2004; Скальная, 2004; Скальная, Нотова, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Барановский, 2017; Коробейникова, 2018). Выведение кальция осуществляется с мочой и калом (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Основным источником кальция являются молочные продукты. Из них кальций усваивается на 25–40%. В пищевых продуктах кальций содержится главным образом в виде фосфатов, карбонатов, оксалатов и других малорастворимых солей (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Тутельян, 2012; Барановский, 2017).

Всасывание кальция происходит в тонком кишечнике в комплексе с желчными кислотами. В организме среднего по антропометрическим параметрам человека содержится примерно 1 кг кальция. Главным депо хранения кальция в организме является скелет, в нем содержится 99% кальция. При недостаточном поступлении кальция с пищей наступает отрицательный баланс кальция, сначала приводящий к безопасной мобилизации этого элемента из костей, в дальнейшем хроническое истощение скелетного кальция способствует развитию остеопороза (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др. 2008; Барановский, 2017).

Основным механизмом регуляции баланса кальция является реципрокное взаимодействие кальцитонина и паратиреоидного гормона. Также немаловажную роль в обмене кальция у женщин в постменопаузу играет эстрадиол (Ленинджер 1985; Камкин, Каменский, 2004; Северин, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Конкурентами кальция за всасывание в ЖКТ являются магний, фосфор, цинк, свинец, кобальт, железо, натрий и калий. С одной стороны,

избыток кальция в рационе может быть опасен в отношении развития дефицита этих элементов, в первую очередь, фосфора и цинка. С другой стороны, избыточное поступление вышеуказанных элементов приводит к снижению усвояемости кальция (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Кальций является физиологическим антагонистом магния и находится в конкурентных отношениях с фосфором в регуляции образования минерального матрикса кости; препятствует накоплению свинца, стронция и бария в костной ткани (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Всасывание кальция осуществляется при помощи кальцитриола. К дефициту кальция приводит дефицит витамина D. Кроме того, недостаток кальция может развиваться при дефиците витаминов А и С, железа, магния, марганца, фосфора, кремния, полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), дисфункции желудка и поджелудочной железы, дисбактериозе (Камкин, Каменский, 2004; Северин, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Пищевые волокна, ускоряя пассаж кишечного содержимого, снижают биодоступность кальция (и других нутриентов). Кроме того, оксалаты и фитаты способны ингибировать абсорбцию кальция (Уильямс, 2010; Коробейникова, 2018).

Дефицит кальция может развиваться по различным неалиментарным причинам: нарушение функции щитовидной и паращитовидной желез; повышенное расходование элемента в период роста, при беременности и лактации, в постменопаузу; длительный прием мочегонных и слабительных средств; заболевания почек и поджелудочной железы (Камкин, Каменский, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Исследование Barzel показывает, что избыточное потребление белка приводит к потере кальция (Barzel, 1995).

Проявлениями дефицита кальция могут быть: общая слабость и повышенная утомляемость; судороги мышц; снижение минеральной плотности костной ткани (МПК), болезнь Кашина–Бека; снижение иммунитета; аллергозы и др. (Камкин, Каменский, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Потребность в кальции, согласно «Нормам физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации», составляет для

мужчин и женщин в возрасте 18–60 лет 1000 мг/сут, старше 60 лет – 1200 мг/сут. Верхний допустимый уровень потребления – 2500 мг (Рекомендуемые уровни потребления..., 2004; Нормы физиологических потребностей..., 2009).

Эпидемиологические исследования показывают, что вегетарианцы редко имеют дефицит кальция в рационе, а часто даже превышают рекомендуемые нормы его потребления (Lloyd et al., 1991; Tesar et al., 1992; Lamberg-Allardt et al., 1993; Janelle, Barr, 1995; Leblanc et al., 2000; Outila, Lamberg-Allardt, 2000; Davey et al., 2003; Cade et al., 2004; Appleby et al., 2007; Nakamoto et al., 2008; Yen et al., 2008; Deriemaeker et al., 2010). В противоположность им, веганы часто потребляют кальция меньше, чем рекомендуется (Mangels, 2014), что подтверждают швейцарские авторы, в исследовании которых 54% веганов, 28% всеядных и 17% вегетарианцев потребляли менее 800 мг кальция в сутки. При этом у веганов было самое низкое потребление данного элемента (Schüpbach et al., 2017). С этим согласуются данные EPIC-Oxford study, в котором наибольшее потребление кальция было выявлено у Pescetарианцев (людей, употребляющих рыбу и беспозвоночных, но исключивших мясо и птицу из рациона) (Appleby et al., 2002; Davey et al., 2003; Appleby et al., 2007; Sobiecki et al. 2016). Во множестве других исследований разных стран также выявлено снижение потребления кальция веганами по сравнению с другими группами (Lamberg-Allardt et al., 1993; Yang et al., 1997; Outila et Lamberg-Allardt, 2000; Lightowler, Davies, 2000; Waldmann et al., 2003; Craig, 2009; Ho-Pham et al., 2009; Strohle et al., 2011; Van Winckel et al. 2011; Rizzo et al., 2013; Clarys et al., 2014). Ho-Pham с соавт. оценили уровень потребления кальция у веганов и всеядных людей. Веганы потребляли в среднем 375 мг/сут кальция, это было намного ниже, чем у обследованных невегетарианцев – 683 мг/сут. При этом в обеих группах потребление данного элемента было значительно ниже рекомендуемых 1000 мг/сут (Ho-Pham et al., 2012). По данным Li и соавт. всеядные также потребляют больше кальция, чем вегетарианцы и веганы (Li et al., 2000).

В китайском исследовании Leung и соавт. дети-вегетарианцы потребляли столько же кальция, сколько и всеядные (Leung et al. 2001). Однако исследования британских и тайваньских авторов дали противоположные результаты: пот-

ребление кальция детьми-вегетарианцами в обоих исследованиях было ниже, чем всеядными (Thane, Bates, 2000; Yen et al., 2008). Эксперты американской Академии Питания и Диетологии также отмечают, что дети и подростки вегетарианцы подвержены большему риску дефицита кальция (Melina et al., 2016). В исследовании Kohlenberg-Mueller и Raschka содержание кальция в крови у веганов было лишь незначительно ниже, чем у лактовегетарианцев, в то время как первые употребляли в пищу кальция на 36% меньше (Kohlenberg-Mueller, Raschka, 2003).

Для того чтобы удовлетворять потребность в кальции, веганам необходимо потреблять такие продукты, как орехи, семена масличных, капусту, так как в них содержится большое количество кальция с относительно высокой биодоступностью (Тутельян, 2012; Burckhardt, 2016; Барановский, 2017).

В тоже время, Tucker отмечает, что кальций, содержащийся в некоторых растительных продуктах (зеленые листовые овощи и бобовые) не обладает высокой усвояемостью, ввиду наличия в них фитиновой кислоты и других ингибиторов абсорбции этого и других элементов (Tucker, 2014). Эти данные подтверждаются и другими авторами (Bohn, 2003; Mangels, 2014). В исследовании Heaney и Weaver отмечено, что биодоступность кальция из листовой капусты выше, чем из молока (Heaney, Weaver, 1990). Те же авторы провели ещё ряд исследований в отношении всасываемости кальция. Они обнаружили, что кальций из обогащенных продуктов всасывается так же, как и из молока (Heaney et al., 1990). Однако результаты их более позднего исследования показали, что биодоступность кальция из трикальция фосфата, которым обогащают соевое молоко, на четверть ниже, чем кальция из молока (Heaney et al., 2000). Но усвояемость кальция, содержащегося в тофу в виде хлорида и сульфата, не уступает усвояемости молочного кальция (Weaver et al., 2002).

Кроме того, хорошим источником кальция могут служить минеральные воды. Биодоступность кальция в них может быть даже выше, чем в молоке (Heaney, 2006). Всасывание кальция из минеральных вод повышается, если принимать последние совместно с приемом пищи (Van Dokkum et al., 1996).

Как показывают исследования, вегетарианцы не склонны к развитию дефицита кальция. Од-

нако в связи с умеренным содержанием кальция в растительных продуктах, а также из-за влияния фитиновой и щавелевой кислот, веганам следует особо внимательно относиться к потреблению этого элемента. Употребляя продукты, богатые кальцием, снижая активность ингибиторов абсорбции термической обработкой, принимая дополнительные источники кальция в виде добавок, обогащенных продуктов, минеральных вод, веганы не будут иметь повышенного риска дефицита кальция.

Фосфор. Название элемента произошло от греч. *phosphorus* (несущий свет). Открыт химиком Х. Брандом в 1669 г. (Скальный, Рудаков, 2004).

Фосфор в организм человека поступает в виде фосфатов, фосфолипидов, фосфопротеинов (Барановский, 2017). Всасывается фосфор в основном в проксимальных отделах тонкой кишки. Содержание фосфора в организме составляет примерно 1%, т.е. немногим менее, чем кальция (~1,4%). Примерно 85% фосфора приходится на костную ткань, много фосфора содержится в мышечной и нервной тканях. Выводится фосфор с калом и мочой (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008;).

Усвоение фосфора в организме стимулируется под влиянием калия, кальция, железа, марганца, витаминов А и С, ПНЖК (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Значительная часть биохимических преобразований в клетках осуществляется за счет реакций фосфорилирования/дефосфорилирования. В связи с этим фосфор принимает участие в колоссальном количестве молекулярных преобразований. Кроме того, фосфат-ионы формируют фосфатную буферную систему, кальциевые соли фосфорной кислоты составляют минеральный остов костной ткани (Ленинджер, 1985; Камкин, Каменский, 2004; Северин, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

При дефиците фосфора наступает истощение нервно-психической деятельности; снижение иммунитета; снижение синтеза белка и миодистрофии; снижение МПК. Коррекция статуса фосфора в организме может производиться при помощи препаратов-доноров фосфатной группы (АТФ и др.) (Скальный, 2004; Скальная, Нотова, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). Адекватный уровень потребления фосфора – 800 мг/сут. Для беременных и кормящих

матерей – 1000 мг/сут (Нормы физиологических потребностей..., 2009).

Фосфор преимущественно содержится в маке, какао-порошке, молочных продуктах, рыбе и яйцах, в злаковых и бобовых, фруктах (Тутельян, 2012; Барановский, 2017).

Как утверждает Барановский с соавт., у здоровых людей существует малая вероятность развития дефицита фосфора вследствие его широкой распространенности в продуктах питания (Барановский, 2017). Однако дефицит фосфора может развиваться в результате дисфункции щитовидной или паращитовидных желез; дисбаланса стероидных гормонов; снижения кислотопродуцирующей функции желудка; значительного избытка кальция, магния, железа, алюминия в рационе (Ленинджер, 1985; Камкин, Каменский, 2004; Северин, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). В тоже время Mangels утверждает, что веганы все же подвержены большему риску дефицита этого элемента по отношению к всеядным (Mangels, 2014).

Требуется проведение дополнительных исследований, чтобы прояснить статус фосфора у веганов и вегетарианцев. Статус фосфора оценить на сегодняшний день крайне затруднительно из-за большого количества всевозможных фосфатных добавок, которые в том или ином количестве получает практически все население, а доля поступления фосфора с ними не поддается точному количественному анализу.

Калий. Калий открыт и впервые выделен в чистом виде Г. Дэви в 1807 г. Название происходит от лат. *kalium*, или англ. *potash* – поташ (Скальный, Рудаков, 2004).

Содержание калия в организме человека составляет примерно 0,23% от массы тела; 95–98% калия находится внутри клеток, где он принимает участие во множестве метаболических процессов. Одной из главных функций калия является формирование трансмембранного потенциала и распространение изменения потенциала по клеточной мембране путем обмена с ионами натрия. Соотношение ионов калия, натрия и хлора обеспечивает постоянство осмолярности внутриклеточной и внеклеточных сред организма, соответственно и их тургор. Ионы калия участвуют в обеспечении межклеточных контактов, поддержании кислотно-щелочного состояния (КЩС), реакциях метаболизма углеводов и аминокислот (Ленинджер, 1985; Камкин, Камен-

ский, 2004; Северин, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Барановский, 2017).

Хотя верхний допустимый уровень потребления калия не установлен в РФ (Рекомендуемые уровни потребления..., 2004; Нормы физиологических потребностей..., 2009), сверхвысокие дозы калия могут оказаться токсичными (> 6 г) или летальными для человека (> 14 г). Стоит заметить, что потребление таких количеств калия с пищевыми продуктами не нарушает метаболизм, так как избыток калия выводится из организма быстрее, чем поступают новые порции элемента из клеточных структур пищи (Ленинджер, 1985; Камкин, Каменский, 2004; Северин, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Барановский, 2017).

Калий обладает очень высокой усвояемостью, особенно в присутствии пиридоксина (90–95%). Выведение калия происходит через почки, ЖКТ, кожу с потоотделением (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Дефицит калия может развиваться по алиментарным причинам; вследствие гиперфункции выделительных систем (усиленного моче- и потоотделения, диареи, приема слабительных и мочегонных средств). Избыточное потребление кофе, сахара, алкоголя снижает всасываемость калия. Натрий, цезий, рубидий, таллий, благодаря химическому сходству, обладают антагонистическими свойствами по отношению к калию и могут вытеснять его из тканей. При дефиците калия и натрия в рационе повышается усвояемость лития, что может привести к токсичным эффектам (Камкин, Каменский, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Дефицит калия проявляется нервно-психическим и нервно-мышечным истощением; развитием тахикардий; увеличением сосудистого тонуса; снижением детоксикационной способности организма; истощением коры надпочечников; угнетением эпителиальных тканей; дискинетическими явлениями в ЖКТ; снижением фертильности (Камкин, Каменский, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Суточная потребность в калии взрослых мужчин и женщин – не менее 2,5 г/сут (Нормы физиологических потребностей..., 2009).

В EPIC-Oxford Study не обнаружено существенной разницы в потреблении калия у веганов, вегетарианцев и всеядных (Appleby et al., 2002; Davey et al., 2003; Sobiecki et al., 2016).

В то же время Craig отмечает, что именно вегетарианская и веганская диеты наиболее богаты калием (Craig, 2009), так как данный макроэлемент в большом количестве содержится в сухофруктах, орехах и бобовых, в морской капусте, свежих фруктах и овощах, картофеле, петрушке, шпинате и шампиньонах (Тутельян, 2012; Барановский, 2017).

Таким образом, вегетарианцы и веганы находятся в зоне низкого риска дефицита калия.

Натрий. Натрий открыт Г. Дэвви одновременно с калием. Название элемента происходит от лат. *natrium* (Скальный, Рудаков, 2004).

Содержание натрия в организме составляет примерно 0,08%. Натрий находится преимущественно в межклеточной жидкости. Приблизительно 40% натрия приходится на костную ткань. Натрий принимает участие в переносе воды, глюкозы крови; трансмембранном переносе веществ; генерации и передаче электрических нервных сигналов; мышечном сокращении; поддержании кислотности и осмолярности внутри- и внеклеточных сред (Ленинджер, 1985; Авцын и др., 1991; Камкин, Каменский, 2004; Северин, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Радыш, Скальный, 2015; Барановский, 2017).

Всасывается натрий во всех отделах ЖКТ практически полностью. Натрий способен проникать в кровоток даже через слизистую оболочку рта. Абсорбция натрия может нарушаться при дефиците витаминов D и K, калия и хлора. Выводится натрий в основном с мочой (95%), потом и калом (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Баланс натрия в организме регулируется гормонами клубочкового слоя коры надпочечников и щитовидной железы (Камкин, Каменский, 2004; Северин, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Дефицит натрия может наблюдаться при нарушении функции гипофиза, коры надпочечников, щитовидной железы; черепно-мозговых травмах; гиперэкскреции натрия в результате длительного приема мочегонных и слабительных препаратов; диарее и рвоте, повышенном потоотделении; приеме препаратов лития и кортикостероидов (Камкин, Каменский, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008). При нехватке натрия страдают эпителиальные ткани, нервная система; развиваются нарушения сердечной деятельности, судорожные сокращения скелет-

ных мышц (Камкин, Каменский, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Данный элемент содержится практически во всех продуктах в разных количествах, хотя большую его часть организм получает за счет поваренной соли (Тутельян, 2012). В связи с этим обеспеченность натрием достаточно высокая у всех групп населения (Appleby et al., 2002; Davey et al., 2003; Sobiecki et al., 2016). Однако алиментарная недостаточность натрия в принципе возможна (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

В китайском исследовании Kwok и соавт. обнаружили, что при потреблении значительных количеств натрия и дефиците кальция в рационе, то есть при повышении отношения натрия/кальций, что часто встречается у веганов, риск развития артериальной гипертензии у пожилых людей может повышаться (Kwok et al., 2003). Отношение же натрия/калий у вегетарианцев и веганов ниже, чем у всеядных (Kwok et al., 2003). Это может быть связано как с большим потреблением калия (Craig, 2009), в сравнении с всеядными, так и с меньшим – натрия (Clarys et al., 2014; Kristensen et al., 2015).

Физиологическая потребность в натрии составляет 1300 мг в сутки (Нормы физиологических потребностей..., 2009). Верхний допустимый уровень потребления натрия не установлен. Однако по данным различных источников, избыточное поступление в организм натрия (более 5 г или 12 г поваренной соли) способствует развитию или отягощению существующей артериальной гипертензии (Cook et al., 2007; Pimenta et al., 2009; European Heart Journal, 2013; Graudal et al., 2015).

Хлор. Хлор открыт К. Шееле в 1774 г. Название происходит от греч. *chloros* (зеленоватый). Однако название элементу дал Г. Дэви в 1810 г. (Скальный, Рудаков, 2004).

Хлор в природе существует в основном в виде хлорида натрия (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Барановский, 2017).

В человеческом организме содержится примерно 0,14% хлора от массы тела; 85% хлора находится во внеклеточном пространстве. Большая часть внутриклеточного хлора приходится на эритроциты. Вместе с ионами калия и натрия хлориды участвуют в поддержании осмотического давления и pH всех сред организма; поддержании трансмембранного потенциала; регуляции процессов возбуждения и торможения; активации ряда ферментов; создании высокого протон-

ного градиента желудочного сока (Ленинджер, 1985; Камкин, Каменский, 2004; Северин, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Радыш, Скальный, 2015).

Всасывается хлор преимущественно в толстом кишечнике. Выведение хлоридов осуществляется в основном с мочой (90–95%), в меньшей степени с калом и потом (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Хлориды вступают в реципрокные отношения с гидрокарбонат-ионами (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Потребность в хлоридах для взрослых мужчин и женщин составляет 2300 мг/сут (Рекомендуемые уровни потребления..., 2004; Нормы физиологических потребностей..., 2009).

Хлор преимущественно содержится в поваренной соли и продуктах, ее содержащих, а также в заменителях соли (KCl), морской соли (Тутельян, 2012; Барановский, 2017).

Как и в случае с натрием, основным источником которого также является поваренная соль, связать обеспеченность хлором с потреблением или отказом от тех или иных продуктов крайне затруднительно. Кроме того, метаболизм хлора в настоящее время изучен недостаточно. Неясны последствия дефицита хлора у людей. Предполагается участие недостаточности хлоридов в развитии системного алкалоза (Скальный, Рудаков, 2004).

Сера. Название происходит от слова *sulvere* (санскрит), и от *sulphuricum* (лат). Сера известна человечеству с доисторических времен (Скальный, Рудаков, 2004).

В организме человека сера содержится, в основном, в эпидермисе и волосах, костях, мышцах, печени и нервной ткани в количестве примерно 0,16% от массы тела. В тканях сера находится как в неорганических соединениях (сульфатах, сульфитах, сульфидах), так в органических молекулах (белки, тиолы, тиоэфиры, сульфоновые кислоты и др.) (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Барановский, 2017). Сера входит в состав некоторых аминокислот (цистеин и метионин), участвует в образовании вторичной структуры множества белков. Сера входит в состав сульфолипидов, цитохромов, гемоглобина, фибриногена, гепарина, глутатиона, таурина, коллагена, хондроитин-сульфата, эстрогенов, инсулина, кальцитонина, биотина, тиамин и других биологически активных соединений. Соответственно, в составе этих молекул сера

участвует в огромном множестве биохимических процессов. Сульфаты участвуют в детоксикации ксенобиотиков (Ленинджер, 1985; Камкин, Каменский, 2004; Северин, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Неорганические соединения серы, в том числе сульфаты и сульфиты, не всасываются в ЖКТ и выводятся со стулом. В отличие от других макроэлементов, сера поступает в организм не в виде ионов и хелатных комплексов, а ковалентно связанной с органическими соединениями, прежде всего в составе аминокислот и пептидов (Ленинджер, 1985; Северин, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Выводится сера в основном в виде нейтральной серы или сульфат-анионов с мочой, в меньшей степени через кожу и легкие (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Статус серы в организме регулируется механизмами, контролирующими концентрации веществ, в состав которых она входит (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Потребность в сере не регламентируется российскими нормами (Рекомендуемые уровни потребления..., 2004; Нормы физиологических потребностей..., 2009). Предполагается, что её поступление в организм должно составлять 4–5 г/сут (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

По мнению Барановского, дефицит серы встречается крайне редко, так как она широко распространена в пищевых продуктах (Барановский, 2017). Более того, на сегодняшний день нет четкого представления о том, как клинически проявляется дефицит серы. К недостатку серы можно свести недостаточность в отдельных серосодержащих соединениях. Дефицит серосодержащей аминокислоты – метионина встречается среди веганов, что, однако, легко поддается коррекции (Venti et Johnston, 2002; Craig et Mangels, 2009; McCarty et al., 2009; Гальченко и др., 2017).

В какой-то мере сера, скорее, является органоэлементами (структурным элементом) по своей роли в организме, нежели макроэлементом, тем не менее количественные показатели содержания этого элемента позволяют отнести её именно к группе макроэлементов. То же справедливо и в отношении фосфора.

Наиболее богаты серой такие продукты, как мак, черная и красная икра, сыр, молочные продукты, бобовые, миндаль, хлеб, крупы, чеснок

(Тутельян, 2012; Барановский, 2017). Избыточный прием кальция и фосфора может замедлить усвоение серы (Барановский, 2017).

Магний. Название происходит от греч. *Magnesia* – полуострова в Греции. В окрестностях города Магнезия издавна находили минерал, при прокаливании которого получали рыхлый белый порошок – карбонат магния. Этот элемент открыт Дж. Блэком в 1755 г., выделен Г. Дэви в 1808 г. (Скальный, Рудаков, 2004).

Магний находится в организме человека преимущественно внутриклеточно. Доля магния в организме составляет порядка 0,2%. Примерно 2/3 запасов магния сосредоточены в костной ткани. В крови магний находится как в связанном состоянии, так и в ионизированном, примерно в равном соотношении. Магний входит в состав более 300 известных ферментов, в связи с чем его физиологическая роль достаточно широка: он участвует в энергетическом обмене, окислении жирных кислот, синтезе белков и нуклеиновых кислот; участвует в работе Na^+/K^+ -, Ca^{2+} -, протонной АТФаз, формировании некоторых сигнальных путей; снижает возбуждение в нервных клетках; снижает мышечный тонус; участвует в регуляции сердечного ритма; угнетает агрегацию тромбоцитов; повышает осмотическое давление в кишечнике и ускоряет пассаж его содержимого и др. Химическая схожесть с кальцием обуславливает некоторый антагонизм этих двух элементов. В частности, при дефиците магния и избытке кальция, последний замещает магний в тканях, приводя к их обызвествлению. Ионы бериллия также способны замещать ионы магния в активных центрах белков, приводя к их деактивации (Ленинджер, 1985; Шабров и др., 2003; Камкин, Каменский, 2004; Северин, 2004; Скальный, 2004; Скальная и др., 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Скальная, Нотова, 2004; Оберлис и др., 2008; Барановский, 2017).

В организм человека магний попадает с пищей и водой. Часть ионов магния всасывается уже в желудке. Остальной магний из малорастворимых солей абсорбируется в тонком кишечнике в комплексе с жирными кислотами. Усвояемость магния составляет обычно 40–45%. Выводится магний в основном с мочой, в меньшей степени – с потом (Скальная, Нотова, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

Дефицит магния может развиваться при неадекватном его потреблении; избыточном пос-

туплении в организм бериллия, марганца, кобальта, свинца, никеля, кадмия, кальция, фосфатов, жиров. Угнетает абсорбцию магния алкоголь и кофе; длительный прием диуретиков и некоторых антибиотиков способствует потере магния. Кроме того, хронический стресс; беременность и лактация; активный рост; восстановление после значительных физических нагрузок и заболеваний; обильное потоотделение повышают потребность в магнии (Скальная, Нотова, 2004; Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008).

В свою очередь, витамины B1, B6, D, C, E; адекватное потребление белка, кальция и фосфатов; а также эстрогены способствуют повышению уровня магния в организме (Скальный, Рудаков, 2004; Оберлис и др., 2008; Tucker, 2014).

Большое количество магния содержит диета, богатая орехами, бобовыми и цельнозерновыми продуктами (Тутельян, 2012; Барановский, 2017). Но в типичном рационе развитых стран Европы и Северной Америки часто имеется дефицит магния (Ford, Mokdad, 2003). Многие исследователи указывают, что веганы потребляют больше магния, чем вегетарианцы и всеядные (Janelle, Barr, 1995; Appleby et al., 2002; Davey et al., 2003; Craig, 2009; Farmer, 2014; Li, 2014; Sobiecki et al., 2016). С этим согласуются данные Adventist Health Study 2 (Rizzo et al., 2013). Швейцарские исследователи также отмечают, что у всеядных наименьший уровень потребления магния. Но они не выявили существенной разницы в концентрации магния в сыворотке крови у всех трех групп (Schüpbach et al., 2017). Kadrabová с соавт. также не обнаружили существенных различий сывороточных концентраций магния у вегетарианцев и всеядных (Kadrabová et al., 1995). Вероятно, это связано с невысокой распространенностью дефицита магния у всех групп, а также с действием фитиновой кислоты, содержащейся в растительной пище, которая ингибирует всасывание магния (Bohn, 2003).

По «Нормам физиологических потребностей...» взрослому человеку требуется 400 мг магния в сутки. Для беременных и кормящих женщин — больше на 50 мг/сут (Нормы физиологических потребностей..., 2009).

Хорошими источниками магния являются семена и орехи, бобовые, цельнозерновые продукты, зеленolistvenные овощи, отруби (Ту-

тельян, 2012). В связи с этим в рационах веганов и вегетарианцев редко присутствует дефицит магния. Более того, большинство исследований указывает на то, что вегетарианцы, и, особенно, веганы, потребляют значительно больше этого элемента, чем люди со смешанным питанием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из различий в содержании в продуктах макроэлементов, потребление и статус последних существенно разнятся в зависимости от характера питания. В растительных продуктах в достаточном количестве содержатся практически все необходимые для человека биоэлементы.

Вегетарианцы и особенно веганы потребляют значительно больше калия и магния, по сравнению с всеядными, и крайне редко страдают дефицитом данных элементов.

Несмотря на достаточное содержание кальция в растительных продуктах, в них также содержится фитиновая кислота и другие ингибиторы абсорбции минеральных веществ, вследствие чего веганы имеют больший риск дефицита этого элемента. Однако термическая обработка, ферментирование или вымачивание продуктов приводит к снижению активности фитатов. Кроме того, веганы могут дополнительно потреблять обогащенные продукты, минеральные воды и пищевые добавки, где кальций обладает высокой биодоступностью (Weaver et al., 1999).

Соль является основным источником натрия и хлора. В связи с этим, статус этих элементов у человека, в первую очередь, зависит от его пристрастия к соленой пище вне зависимости от ее состава.

Сера и фосфор широко представлены в разнообразных пищевых продуктах, поэтому их дефицит встречается крайне редко.

ЛИТЕРАТУРА

Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. АМН СССР. М.: Медицина, 1991, 496 с.

Биохимия: Учебник / Под ред. Е.С. Северина. 2-е изд., испр. М.: ГЭОТАР-МЕД, 2004. 784 с.

Брикман А. Нарушение обмена кальция и фосфора у взрослых. Эндокринология / Под ред. Н. Лавина. М.: Практика, 1999. 1128 с.

Гальченко А.В., Морозова Л.Д., Залетова Т.С. Оценка потребности в белке и аминокислотах, исходя из биосин-

тетических потребностей и показателей азотистого баланса. Вопросы диетологии. 2017; 7(2):64–68. DOI: 10.20953/2224-5448-2017-2-64-68.

Диетология. 5-е изд. / Под ред. А.Ю. Барановского. СПб: Питер, 2017. 1104 с.

Коробейникова Т.В. Вегетарианство и микронутриенты. Микроэлементы в медицине. 2018; 19(2):34–40.

Коробейникова Т.В. Риск дефицитов биоэлементов при вегетарианстве. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2018, 21(9):39–4.

Ленинджер А. Основы биохимии: В 3-х томах. Т. 1. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 367 с.

МР 2.3.1.1915-04 «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. Методические рекомендации» (утв. Роспотребнадзором 02.07.2004). 44 с.

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 с.

Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. Санкт-Петербург: Наука, 2008. 542 с.

Радыш И.В., Скальный А.В. Введение в медицинскую элементологию: Учеб. пособие. М.: РУДН, 2015. 200 с.

Скальная М.Г., Дубовой Р.М., Скальный А.В. Химические элементы-микронутриенты как резерв восстановления здоровья жителей России. Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2004. 239 с.

Скальная М.Г., Нотова С.В. Макро- и микроэлементы в питании современного человека: эколого-физиологические и социальные аспекты. М.: РОСМЭМ, 2004. 310 с.

Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Мир, 2004. 215 с.

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

Скальный А.В., Рудаков И.А., Нотова С.В., Бурцева Т.И., Скальный В.В., Баранова О.В. Основы здорового питания: пособие по общей нутрициологии. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. 117 с.

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

Уильямс К.Л. Пищевые волокна и нутритивная поддержка в педиатрии: современные представления. Вопросы питания. 2010; 79(4):42–49.

Фундаментальная и клиническая физиология / Под ред. А. Камкина и А. Каменского. М.: Академия, 2004. 1073 с.

Шабров А.В., Дадали В.А., Макаров В.Г. Биохимические основы действия микрокомпонентов пищи. М.: Авваллон, 2003. 184 с.

Appleby P., Davey G., Key T. Hypertension and blood pressure among meat eaters, fish eaters, vegetarians and vegans in EPIC-Oxford. Public Health Nutr 5(5):645–654. doi:10.1079/PHN2002332, 2002.

Appleby P., Roddam A., Allen N., Key T. Comparative fracture risk in vegetarians and nonvegetarians in EPIC-Oxford. Eur J Clin Nutr. 2007; 61:1400–1406.

Barzel U.S. The skeleton as an ion exchange system: implications for the role of acid-base imbalance in the genesis of osteoporosis. J Bone Miner Res 1995; 10:1431–6.

Bohn T. Magnesium absorption in humans. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 2003. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-004523459>.

Burckhardt P. The role of low acid load in vegetarian diet on bone health: a narrative review. Swiss Med Wkly. 2016 Feb 22;146:w14277. doi: 10.4414/smww.2016.14277. eCollection 2016.

Cade J.E., Burley V.J., Greenwood D.C. The UK women's cohort study: comparison of vegetarians, fish-eaters and meat-eaters. Public Health Nutr. 2004; 7:871–878.

Clarys P., Deliens T., Huybrechts I., Deriemaeker P., Vanaelst B., De Keyser W., Hebbelinck M., Mullie P. Comparison of nutritional quality of the vegan, vegetarian, semi-vegetarian, pesco-vegetarian and omnivorous diet. Nutrients. 2014 Mar 24; 6(3):1318–32. doi: 10.3390/nu6031318.

Cook N.R., Cutler J.A., Obarzanek E., Buring J.E., Rexrode K.M., Kumanyika S.K., et al. Longterm effects of dietary sodium reduction on cardiovascular disease outcomes: observational follow-up of the trials of hypertension prevention (TOHP). BMJ. 2007; 334:885–888.

Craig W., Mangels A. American Dietetic Association. Position of the American Dietetic Association: vegetarian diets // J Am Diet Assoc. 2009;109 (7):1266–1282.

Craig W.J. Health effects of vegan diets. Am J Clin Nutr. 2009 May; 89(5):1627S–1633S. doi: 10.3945/ajcn.2009.26736N. Epub 2009 Mar 11.

Davey G.K., Spencer E.A., Appleby P.N., Allen N.E., Knox K.H., Key T.J. EPIC-Oxford: lifestyle characteristics and nutrient intakes in a cohort of 33883 meat-eaters and 31546 non meat-eaters in the UK. Public Health Nutr. 2003; 6:259–69.

Deriemaeker P., Alewaeters K., Hebbelinck M., Lefevre J., Philippaerts R., Clarys P. Nutritional status of Flemish vegetarians compared with non-vegetarians: a matched samples study. Nutrients. 2010; 2:770–780.

European Heart Journal. doi:10.1093/euroheartj/eh151 Journal of Hypertension. 2013; 31(7):1281–1357.

Farmer B. Nutritional adequacy of plant-based diets for weight management: observations from the NHANES. Am J Clin Nutr. 2014 Jul; 100Suppl 1:365S–8S. doi: 10.3945/ajcn.113.071308. Epub 2014 May 28. Review.

Ford E.S., Mokdad A.H. Dietary magnesium intake in a national sample of US adults. J Nutr. 2003; 133:2879–82.

Graudal N.A., Hubeck-Graudal T., Jurgens G. Effects of low-sodium diet vs. high-sodium diet on blood pressure, renin, aldosterone, catecholamines, cholesterol and triglyceride (Cochrane Review). Am J Hypertens 2012; 25:1–15.

Heaney R.P. Absorbability and utility of calcium in mineral waters. Am J Clin Nutr. 2006; 84:371–374.

Heaney R.P., Weaver C.M. Calcium absorption from kale. Am J Clin Nutr. 1990; 51:656–657.

- Heaney R.P., Dowell M.S., Rafferty K., Bierman J. Bioavailability of the calcium in fortified soy imitation milk, with some observations on method. *Am J Clin Nutr.* 2000; 71:1166–1169.
- Heaney R.P., Recker R.R., Weaver C.M. Absorbability of calcium sources: the limited role of solubility. *Calcif Tissue Int.* 1990; 46: 300–304.
- Ho-Pham L.T., Vu BQ, Lai TQ, Nguyen ND and Nguyen TV. Vegetarianism, bone loss, fracture and vitamin D: a longitudinal study in Asian vegans and non-vegans. *European Journal of Clinical Nutrition* 2012; 66, 75–82 & 2012 Macmillan Publishers Limited All rights reserved 0954-3007/12.
- Ho-Pham L.T., Nguyen P.L., Le T.T., Doan T.A., Tran N.T., Le T.A., et al. Veganism, bone mineral density, and body composition: a study in Buddhist nuns. *Osteoporos Int.* 2009; 20:2087–2093.
- Janelle K. Barr S. Nutrient intakes and eating behavior see of vegetarian and nonvegetarian women. *J Am Diet Assoc* 1995. 95(2):180–189.
- Kadrabová J., Madaric A., Kováčiková Z., Ginter E. Selenium status, plasma zinc, copper, and magnesium in vegetarians. *Biol Trace Elem Res.* 1995 Oct; 50(1):13–24.
- Kohlenberg-Mueller K., Raschka L. Calcium balance in young adults on a vegan and lactovegetarian diet. *J Bone Miner Metab.* 2003; 21:28–33.
- Kristensen N.B., Madsen M.L., Hansen T.H., Allin K.H., Hoppe C., Fagt S., Lausten M.S., Gøbel R.J., Vestergaard H., Hansen T., Pedersen O. Intake of macro- and micronutrients in Danish vegans. *Nutr J.* 2015 Oct 30; 14:115. doi: 10.1186/s12937-015-0103-3.
- Kwok T.C., Chan T.Y., Woo J. Relationship of urinary sodium/potassium excretion and calcium intake to blood pressure and prevalence of hypertension among older Chinese vegetarians. *Eur J Clin Nutr.* 2003 Feb; 57(2):299–304.
- Lamberg-Allardt C., Karkkainen M., Seppanen R., Bistrom H. Low serum 25-hydroxyvitamin D concentrations and secondary hyperparathyroidism in middle-aged white strict vegetarians. *Am J Clin Nutr.* 1993; 58:684–689.
- Leblanc J.C., Yoon H., Kombadjian A., and Verger, P. Nutritional intakes of vegetarian populations in France. *Eur J Clin Nutr.* 2000; 54:443–449.
- Leung S.S., Lee R.H., Sung R.Y., Luo H.Y., Kam C.W., Yuen M.P. et al. Growth and nutrition of Chinese vegetarian children in Hong Kong. *J Paediatr Child Health.* 2001; 37:247–253.
- Li D., Sinclair A.J., Mann N.J., Turner A., Ball M.J. Selected micronutrient intake and status in men with differing meat intakes, vegetarians and vegans. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2000 Mar; 9(1):18–23.
- Li D. Effect of the vegetarian diet on non-communicable diseases. *J Sci Food Agric.* 2014 Jan 30; 94(2):169–73. doi: 10.1002/jsfa.6362. Epub 2013 Oct 2. Review.
- Lightowler H.J., Davies G.J. Micronutrient intakes in a group of UK vegans and the contribution of self-selected dietary supplements. *J R Soc Promot Health.* 2000; 120:117–124.
- Lloyd T., Schaeffer J.M., Walker M.A., Demers, L.M. Urinary hormonal concentrations and spinal bone densities of premenopausal vegetarian and nonvegetarian women. *Am J Clin Nutr.* 1991; 54:1005–1010.
- Mangels A.R. Bonenutrients for vegetarians. *Am J Clin Nutr.* 2014 Jul; 100Suppl 1:469S–75S. doi: 10.3945/ajcn.113.071423. Epub 2014 Jun 4.
- McCarty M., Barroso-Aranda J., Contreras F. The low-methionine content of vegan diets may make methionine restriction feasible as a life extension strategy. *Medical Hypotheses.* 2009; 72(2):125–128.
- Melina V., Craig W., Levin S. Position of the academy of nutrition and dietetics: vegetarian diets. *J Acad Nutr Diet.* 2016; 116(12):1970–80.
- Nakamoto K., Watanabe S., Kudo H., Tanaka A. Nutritional characteristics of middle-aged Japanese vegetarians. *J Atheroscler Thromb.* 2008; 15:122–129.
- Outila T.A., Lamberg-Allardt C.J. Ergocalciferol supplementation may positively affect lumbar spine bone mineral density of vegans. *J Am Diet Assoc.* 2000; 100:629.
- Pimenta E., Gaddam K.K., Oparil S., Aban I., Husain S., Dell'Italia L.J., Calhoun D.A. Effects of dietary sodium reduction on blood pressure in subjects with resistant hypertension: results from a randomized trial. *Hypertension* 2009; 54:475–481.
- Rizzo N.S., Jaceldo-Siegl K., Sabate J., Fraser G.E. Nutrient profiles of vegetarian and nonvegetarian dietary patterns. *J Acad Nutr Diet.* 2013 Dec; 113(12):1610–9. doi: 10.1016/j.jand.2013.06.349. Epub 2013 Aug 27.
- Schüpbach R., Wegmüller R., Berguerand C., Bui M., Herter-Aeberli I. Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur. J. Nutr.* 2017; 56(1):283–293.
- Sobiecki J.G., Appleby P.N., Bradbury K.E., Key T.J. High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition-Oxford study. *Nutr Res.* 2016 May; 36(5):464–77. doi: 10.1016/j.nutres.2015.12.016. Epub 2016 Jan 6.
- Strohle A., Waldmann A., Koschizke J., Leitzmann C., Hahn A. Diet-dependent net endogenous acid load of vegan diets in relation to food groups and bone health-related nutrients: results from the German Vegan Study. *Ann Nutr Metab.* 2011; 59:117–126.
- Tesar R., Notelovitz M., Shim E., Kauwell G., Brown J. Axial and peripheral bone density and nutrient intakes of postmenopausal vegetarian and omnivorous women. *Am J Clin Nutr.* 1992; 56:699–704.
- Thane C.W., Bates C.J. Dietary intakes and nutrient status of vegetarian preschool children from a British national survey. *J Hum Nutr Diet.* 2000; 13:149–162.
- Tucker K.L. Vegetarian diets and bonestatus. *Am J Clin Nutr.* 2014 Jul; 100Suppl 1:329S–35S. doi: 10.3945/ajcn.113.071621. Epub 2014 Jun 4.
- Van Dokkum W., De La Guéronnière, V., Schaafsma G., Bouley C., Luten J., Latge C. Bioavailability of calcium of fresh cheeses, enteral food and mineral water. A study with stable calcium isotopes in young adult women. *Br J Nutr.* 1996; 75:893–903.
- Van Winckel M., VandeVelde S, De Bruyne R, Van Biervliet S. Clinical practice: vegetarian infant and child nutrition. *Eur J Pediatr.* 2011, 170(12):1489–1494.

Venti C., Johnston C. Modified food guide pyramid for lactovegetarians and vegans. *J Nutr.* 2002; 132(5):1050–1054.

Waldmann A., Koschizke J.W., Leitzmann C., Hahn A. Dietary intakes and lifestyle factors of a vegan population in Germany: results from the German Vegan Study. *Eur J Clin Nutr.* 2003; 57:947–955.

Weaver C.M., Heaney R.P., Connor L., Martin B.R., Smith D.L., Nielsen S. Bioavailability of calcium from tofu as compared with milk in premenopausal women. *J Agric Food Chem.* 2002; 50:3874–3876.

Weaver C.M., Proulx W.R., Heaney R. Choices for achieving adequate dietary calcium with a vegetarian diet. *Am J Clin Nutr.* 1999; 70:543S–548S.

Yang C.Y., Wang P.W., Yao W.J., Su L.H., et al. Long-term vegetarian diet and bone mineral density in postmenopausal Taiwanese women. *Calcif Tissue Int.* 1997; 60: 245–249.

Yen C.E., Yen C.H., Huang M.C. Cheng C.H., Huang Y.C. Dietary intake and nutritional status of vegetarian and omnivorous preschool children and their parents in Taiwan. *Nutr Res.* 2008; 28:430–436.

MACROELEMENTS IN NUTRITION OF VEGETARIANS AND VEGANS (REVIEW)

A.V. Galchenko^{1,2}, A.M. Nazarova¹

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Ust'inskiy Proezd Str. 2/14, 109240, Moscow, Russia

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

ABSTRACT. The structures of biological objects consist mainly of carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen. These elements are organogens. The remaining chemical elements perform mainly cofactor and electrolytic functions. Calcium, phosphorus, potassium, magnesium, sulfur, chlorine and sodium are present in largest quantities (after organogens) in the body. These elements belong to macroelements. Macroelements are essential nutrients, absolutely necessary for the vital activity of organisms. They are involved in a variety of enzymatic processes; they are regulators of osmotic pressure and acidity of all body fluids; are intracellular and intercellular messengers; are necessary for the processes of excitation and inhibition; are structural components of some tissues, etc.

Macroelements are not as evenly distributed in food as organogens. Products of animal origin, especially dairy products, contain more calcium than plant foods. In addition, phytic acid and other inhibitors of the absorption of many cations are present in plant foods that significantly reduces the bioavailability of calcium and magnesium. Abundant in magnesium and fiber, plant food accelerates the passage of intestinal content that also reduces the absorption of minerals.

Vegans, abandoning animal products, are at higher risk of calcium deficiency. However, even a slight heating of food, lowers phytates' activity that significantly increases the absorbability of calcium. In addition, there are many other sources of highly available calcium, like fortified soy products, mineral water, and nutritional supplements.

At the same time, herbal products contain significantly more magnesium and potassium. Omnivores may be at high risk of potassium and, especially, magnesium deficiency.

Sodium and chlorine are widely represented in food products. Moreover, people consume these elements predominantly with table salt.

Phosphorus deficiency is also extremely rare, and it is usually associated with hormonal dysfunction or excessive intake of its antagonists.

Sulfur is very widespread in foods. To date, there is not enough data on sulfur deficiency in any groups.

KEYWORDS: vegetarian, vegan, minerals, calcium, phosphorus, potassium, sodium, chlorine, sulphur, magnesium, phytates.

REFERENCES

Avcyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova L.S. Mikroelementozy cheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya. AMN SSSR. M.: Medicina, 1991, 496 s.

Biohimiya: Uchebnik / Pod red. E.S. Severina. 2-e izd., ispr. M.: GEOTAR-MED, 2004. 784 s.

Brikman A. Narushenie obmena kal'ciya i fosfora u vzroslykh. Endokrinologiya / Pod red. N. Lavina. M.: Praktika, 1999. 1128 s.

Galchenko A.V., Morozova L.D., Zaletova T.S. Evaluation of protein and amino acid requirements, based on biosynthetic needs and nitrogen balance parameters. *Vopr. dietol. (Nutrition)*. 2017; 7(2): 64–68. (In Russian). DOI: 10.20953/2224-5448-2017-2-64-68.

Korobejnikova T.V. Vegetarian diet and micronutrients. *Trace elements in medicine*. 2018; 19(2):34–40.

- Korobejnikova T.V. Possible deficiencies of bioelements at vegetarian diet. Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry. 2018, 21(9):39–4.
- Lenindzher A. Osnovy biohimii: V 3-h tomah. T. 1. Per. s angl. M.: Mir, 1985. 367 s.
- MR 2.3.1.1915-04 «Rekomenduemye urovni potrebleniya pishchevyh i biologicheskikh aktivnykh veshchestv. Metodicheskie rekomendacii» (utv. Rospotrebnadzorom 02.07.2004). 44 s.
- Normy fiziologicheskikh potrebnostej v energii i pishchevyh veshchestv dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossijskoj Federacii. Metodicheskie rekomendacii. M.: Federal'nyj centr gigeny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2009. 36 s.
- Oberlis D., Harland B., Skalny A. Biologicheskaya rol' makro- i mikroelementov u cheloveka i zhivotnyh. Sankt-Peterburg: Nauka, 2008. 542 s.
- Radysh I.V., Skalny A.V. Vvedenie v medicinskuyu elementologiyu: Ucheb. posobie. M.: RUDN, 2015. 200 s.
- Skalnaya M.G., Dubovoj R.M., Skalny A.V. Himicheskie elementy-mikronutrienty kak rezerv vosstanovleniya zdorov'ya zhitelej Rossii. Orenburg: RIK GOU OGU, 2004. 239 s.
- Skalnaya M.G., Notova S.V. Makro- i mikroelementy v pitanii sovremennogo cheloveka: ekologo-fiziologicheskie i social'nye aspekty. M.: ROSMEM, 2004. 310 s.
- Skalny A.V. Himicheskie elementy v fiziologii i ekologii cheloveka. M.: Mir, 2004. 215 s.
- Skalny A.V., Rudakov I.A. Bioelementy v medicine. M.: Mir, 2004. 272 s.
- Skalny A.V., Rudakov I.A., Notova S.V., Burceva T.I., Skalny V.V., Baranova O.V. Osnovy zdorovogo pitaniya: posobie po obshchej nutriticologii. Orenburg: GOU OGU, 2005. 117 s.
- Tutel'yan V.A. Himicheskij sostav i kalorijnost' rossijskikh produktov pitaniya: Spravochnik. M.: DeLi plyus, 2012. 284 s.
- Uil'yamc K.L. Pishchevye volokna i nutritivnaya podderzhka v pediatrii: sovremennye predstavleniya. Voprosy pitaniya. 2010; 79(4):42–49.
- Fundamental'naya i klinicheskaya fiziologiya / Pod red. A. Kamkina i A. Kamenskogo. M.: Akademiya, 2004. 1073 s.
- Shabrov A.V., Dadali V.A., Makarov V.G. Biohimicheskie osnovy dejstviya mikrokomponentov pishchi. M.: Avvallion, 2003. 184 s.
- Appleby P., Davey G., Key T. Hypertension and blood pressure among meat eaters, fish eaters, vegetarians and vegans in EPIC-Oxford. Public Health Nutr 5(5):645–654. doi:10.1079/ PHN2002332, 2002.
- Appleby P., Roddam A., Allen N., Key T. Comparative fracture risk in vegetarians and nonvegetarians in EPIC-Oxford. Eur J ClinNutr. 2007; 61:1400–1406.
- Barzel U.S. The skeleton as an ion exchange system: implications for the role of acid-base imbalance in the genesis of osteoporosis. J Bone Miner Res 1995; 10:1431–6.
- Bohn T. Magnesium absorption in humans. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 2003.<https://doi.org/10.3929/ ethz-a-004523459>.
- Burckhardt P. The role of low acid load in vegetarian diet on bone health: a narrative review. Swiss Med Wkly. 2016 Feb 22;146:w14277. doi: 10.4414/smw.2016.14277. eCollection 2016.
- Cade J.E., Burley V.J., Greenwood D.C. The UK women's cohort study: comparison of vegetarians, fish-eaters and meat-eaters. Public Health Nutr. 2004; 7:871–878.
- Clarys P., Deliens T., Huybrechts I., Deriemaeker P., Vanaelst B., De Keyser W., Hebbelinck M., Mullie P. Comparison of nutritional quality of the vegan, vegetarian, semi-vegetarian, pesco-vegetarian and omnivorous diet. Nutrients. 2014 Mar 24; 6(3):1318–32. doi: 10.3390/nu6031318.
- Cook N.R., Cutler J.A., Obarzanek E., Buring J.E., Rexrode K.M., Kumanyika S.K., et al. Longterm effects of dietary sodium reduction on cardiovascular disease outcomes: observational follow-up of the trials of hypertension prevention (TOHP). BMJ. 2007; 334:885–888.
- Craig W., Mangels A. American Dietetic Association. Position of the American Dietetic Association: vegetarian diets. J Am Diet Assoc. 2009;109 (7):1266–1282.
- Craig W.J. Health effects of vegan diets. Am J ClinNutr. 2009 May; 89(5):1627S-1633S. doi: 10.3945/ajcn.2009.26736N. Epub 2009 Mar 11.
- Davey G.K., Spencer E.A., Appleby P.N., Allen N.E., Knox K.H., Key T.J. EPIC-Oxford: lifestyle characteristics and nutrient intakes in a cohort of 33883 meat-eaters and 31546 non meat-eaters in the UK. Public Health Nutr. 2003; 6:259–69.
- Deriemaeker P., Alewaeters K., Hebbelinck M., Lefevre J., Philippaerts R., Clarys P. Nutritional status of Flemish vegetarians compared with non-vegetarians: a matched samples study. Nutrients. 2010; 2:770–780.
- European Heart Journal. doi:10.1093/euroheartj/eh1151 Journal of Hypertension. 2013; 31(7):1281–1357.
- Farmer B. Nutritional adequacy of plant-based diets for weight management: observations from the NHANES. Am J Clin Nutr. 2014 Jul; 100Suppl 1:365S-8S. doi: 10.3945/ajcn.113.071308. Epub 2014 May 28. Review.

- Ford E.S., Mokdad A.H. Dietary magnesium intake in a national sample of US adults. *J Nutr.* 2003; 133:2879–82.
- Graudal N.A., Hubeck-Graudal T., Jurgens G. Effects of low-sodium diet vs. high-sodium diet on blood pressure, renin, aldosterone, catecholamines, cholesterol and triglyceride (Cochrane Review). *Am J Hypertens* 2012; 25:1–15.
- Heaney R.P. Absorbability and utility of calcium in mineral waters. *Am J Clin Nutr.* 2006; 84:371–374.
- Heaney R.P., Weaver C.M. Calcium absorption from kale. *Am J Clin Nutr.* 1990; 51:656–657.
- Heaney R.P., Dowell M.S., Rafferty K., Bierman J. Bioavailability of the calcium in fortified soy imitation milk, with some observations on method. *Am J Clin Nutr.* 2000; 71:1166–1169.
- Heaney R.P., Recker R.R., Weaver C.M. Absorbability of calcium sources: the limited role of solubility. *Calcif Tissue Int.* 1990; 46: 300–304.
- Ho-Pham L.T., Vu B.Q., Lai T.Q., Nguyen N.D., Nguyen T.V. Vegetarianism, bone loss, fracture and vitamin D: a longitudinal study in Asian vegans and non-vegans. *European Journal of Clinical Nutrition* 2012; 66, 75–82 & 2012 Macmillan Publishers Limited All rights reserved 0954-3007/12.
- Ho-Pham L.T., Nguyen P.L., Le T.T., Doan T.A., Tran N.T., Le T.A., et al. Veganism, bone mineral density, and body composition: a study in Buddhist nuns. *Osteoporos Int.* 2009; 20:2087–2093.
- Janelle K. Barr S. Nutrient intakes and eating behavior see of vegetarian and nonvegetarian women. *J Am Diet Assoc* 1995. 95(2):180–189.
- Kadrabová J., Madaric A., Kováčiková Z., Ginter E. Selenium status, plasma zinc, copper, and magnesium in vegetarians. *Biol Trace Elem Res.* 1995 Oct; 50(1):13–24.
- Kohlenberg-Mueller K., Raschka L. Calcium balance in young adults on a vegan and lactovegetarian diet. *J Bone Miner Metab.* 2003; 21:28–33.
- Kristensen N.B., Madsen M.L., Hansen T.H., Allin K.H., Hoppe C., Fagt S., Lausten M.S., Gøbel R.J., Vestergaard H., Hansen T., Pedersen O. Intake of macro- and micronutrients in Danish vegans. *Nutr J.* 2015 Oct 30; 14:115. doi: 10.1186/s12937-015-0103-3.
- Kwok T.C., Chan T.Y., Woo J. Relationship of urinary sodium/potassium excretion and calcium intake to blood pressure and prevalence of hypertension among older Chinese vegetarians. *Eur J Clin Nutr.* 2003 Feb; 57(2):299–304.
- Lamberg-Allardt C., Karkkainen M., Seppanen R., and Bistrom H. Low serum 25-hydroxyvitamin D concentrations and secondary hyperparathyroidism in middle-aged white strict vegetarians. *Am J Clin Nutr.* 1993; 58:684–689.
- Leblanc J.C., Yoon H., Kombadjian A., and Verger, P. Nutritional intakes of vegetarian populations in France. *Eur J Clin Nutr.* 2000; 54:443–449.
- Leung S.S., Lee R.H., Sung R.Y., Luo H.Y., Kam C.W., Yuen M.P. et al. Growth and nutrition of Chinese vegetarian children in Hong Kong. *J Paediatr Child Health.* 2001; 37:247–253.
- Li D., Sinclair A.J., Mann N.J., Turner A., Ball M.J. Selected micronutrient intake and status in men with differing meat intakes, vegetarians and vegans. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2000 Mar; 9(1):18–23.
- Li D. Effect of the vegetarian diet on non-communicable diseases. *J Sci Food Agric.* 2014 Jan 30; 94(2):169–73. doi: 10.1002/jsfa.6362. Epub 2013 Oct 2. Review.
- Lightowler H.J. and Davies G.J. Micronutrient intakes in a group of UK vegans and the contribution of self-selected dietary supplements. *J R Soc Promot Health.* 2000; 120:117–124.
- Lloyd T., Schaeffer J.M., Walker M.A., and Demers, L.M. Urinary hormonal concentrations and spinal bone densities of premenopausal vegetarian and nonvegetarian women. *Am J Clin Nutr.* 1991; 54:1005–1010.
- Mangels A.R. Bonenutrients for vegetarians. *Am J Clin Nutr.* 2014 Jul; 100Suppl 1:469S-75S. doi: 10.3945/ajcn.113.071423. Epub 2014 Jun 4.
- McCarty M., Barroso-Aranda J., Contreras F. The low-methionine content of vegan diets may make methionine restriction feasible as a life extension strategy // *Medical Hypotheses.* 2009; 72(2):125–128.
- Melina V., Craig W., Levin S. Position of the academy of nutrition and dietetics: vegetarian diets. *J Acad Nutr Diet.* 2016; 116(12):1970–80.
- Nakamoto K., Watanabe S., Kudo H., and Tanaka A. Nutritional characteristics of middle-aged Japanese vegetarians. *J Atheroscler Thromb.* 2008; 15:122–129.
- Outila T.A. and Lamberg-Allardt C.J. Ergocalciferol supplementation may positively affect lumbar spine bone mineral density of vegans. *J Am Diet Assoc.* 2000; 100:629.
- Pimenta E., Gaddam K.K., Oparil S., Aban I., Husain S., Dell'Italia L.J., Calhoun D.A. Effects of dietary sodium reduction on blood pressure in subjects with resistant hypertension: results from a randomized trial. *Hypertension* 2009; 54:475–481.
- Rizzo N.S., Jaceldo-Siegl K., Sabate J., Fraser G.E. Nutrient profiles of vegetarian and nonvegetarian dietary patterns. *J Acad Nutr Diet.* 2013 Dec; 113(12):1610–9. doi: 10.1016/j.jand.2013.06.349. Epub 2013 Aug 27.

- Schüpbach R., Wegmüller R., Berguerand C., Bui M., Herter-Aeberli I. Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur. J. Nutr.* 2017; 56(1):283–293.
- Sobiecki J.G., Appleby P.N., Bradbury K.E., Key T.J. High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition-Oxford study. *Nutr Res.* 2016 May; 36(5):464–77. doi: 10.1016/j.nutres.2015.12.016. Epub 2016 Jan 6.
- Strohle A., Waldmann A., Koschizke J., Leitzmann C., and Hahn A. Diet-dependent net endogenous acid load of vegan diets in relation to food groups and bone health-related nutrients: results from the German Vegan Study. *Ann Nutr Metab.* 2011; 59:117–126.
- Tesar R., Notelovitz M., Shim E., Kauwell G., and Brown J. Axial and peripheral bone density and nutrient intakes of postmenopausal vegetarian and omnivorous women. *Am J Clin Nutr.* 1992; 56:699–704.
- Thane C.W. and Bates C.J. Dietary intakes and nutrient status of vegetarian preschool children from a British national survey. *J Hum Nutr Diet.* 2000; 13:149–162.
- Tucker K.L. Vegetarian diets and bonestatus. *Am J Clin Nutr.* 2014 Jul; 100Suppl 1:329S-35S. doi: 10.3945/ajcn.113.071621. Epub 2014 Jun 4.
- Van Dokkum W., De La Guéronnière, V., Schaafsma G., Bouley C., Luten J., and Latge C. Bioavailability of calcium of fresh cheeses, enteral food and mineral water. A study with stable calcium isotopes in young adult women. *Br J Nutr.* 1996; 75:893–903.
- Van Winkel M., VandeVelde S, De Bruyne R, Van Biervliet S. Clinical practice: vegetarian infant and child nutrition. *Eur J Pediatr.* 2011, 170(12):1489–1494.
- Venti C., Johnston C. Modified food guide pyramid for lactovegetarians and vegans. *J Nutr.* 2002; 132(5):1050–1054.
- Waldmann A., Koschizke J.W., Leitzmann C., and Hahn A. Dietary intakes and lifestyle factors of a vegan population in Germany: results from the German Vegan Study. *Eur J Clin Nutr.* 2003; 57:947–955.
- Weaver C.M., Heaney R.P., Connor L., Martin B.R., Smith D.L., and Nielsen S. Bioavailability of calcium from tofu as compared with milk in premenopausal women. *J Agric Food Chem.* 2002; 50:3874–3876.
- Weaver C.M., Proulx W.R., and Heaney R. Choices for achieving adequate dietary calcium with a vegetarian diet. *Am J Clin Nutr.* 1999; 70:543S–548S.
- Yang C.Y., Wang P.W., Yao W.J., Su L.H., et al. Long-term vegetarian diet and bone mineral density in postmenopausal Taiwanese women. *Calcif Tissue Int.* 1997; 60: 245–249.
- Yen C.E., Yen C.H., Huang M.C. Cheng C.H., and Huang Y.C. Dietary intake and nutritional status of vegetarian and omnivorous preschool children and their parents in Taiwan. *Nutr Res.* 2008; 28:430–4