

ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

ПОТРЕБЛЕНИЕ, СОВОКУПНОЕ УСВОЕНИЕ, БАЛАНС МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И РИСК ЕГО НАРУШЕНИЯ У ВЗРОСЛЫХ ЛЮДЕЙ НА СМЕШАННОЙ ДИЕТЕ И ВЕГЕТАРИАНЦЕВ, УПОТРЕБЛЯЮЩИХ В ПИЩУ МОЛОКО И ЯЙЦА

INTAKE, APPARENT ABSORPTION RATE, BALANCE AND RISK OF TRACE ELEMENTS OF ADULT HUMANS WITH MIXED AND OVOLACTO-VEGETARIAN DIETS.

М. Анке¹, Р. Мюллер², У. Шефер¹
M. Anke¹, R. Müller², U. Schäfer¹

¹ Институт питания и экологии, Университет им. Фридриха Шиллера, биолого-фармацевтический факультет, Йена, Германия;

² Общество экологии и химии окружающей среды, Эрфурт, Германия

¹ Institute of Nutrition and Environment, Biological-Pharmaceutical Faculty, Friedrich Schiller University, D-07743, Jena, Germany

² Society of Ecology and Environmental Chemistry, Zittauer Str. 27, D-99091 Erfurt, Germany

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: потребление, совокупное усвоение, нормальная потребность, Fe, Cu, Zn, Se, I, Mn, Mo, Ni

KEYWORDS: Intake; apparent absorption; normative requirement; Fe, Cu, Zn, Se, I, Mn, Mo, Ni

РЕЗЮМЕ: Благодаря международной торговле, обеспеченность микроэлементами населения Центральной Европы сегодня во многом схожа, и различается микроэлементным составом питьевой воды, изготовляемых в домашних условиях напитков, овощей, приправ и фруктов, выращиваемых в частных садах и на огородах. На потребление населением микроэлементов влияет геологическое происхождение местности, система земледелия и особенности пищевой промышленности. В последние 15 лет у невегетарианского взрослого населения Германии увеличилось потребление селена, йода, молибдена и меди, в то время как потребление железа, никеля и цинка резко снизилось. Потребление марганца существенно не изменилось. Нормальная потребность в никеле, марганце и молибдене в Центральной Европе покрывается полностью. Дефицита этих элементов, за исключением дефицитов (например, молибдена), вызванных генными нарушениями, не наблюдается. Вегетарианцы, употребляющие в пищу молоко и яйца, потребляют большее количество микроэлементов при меньшей биологической доступности (из-за фитатов), чем люди на смешанной диете. В результате проведения двойных слепых плацебо-контролируемых исследований, в которых принимали участие беременные и кормящие женщины, молодые женщины, а также четыре тестовые популяции, было определено выведение микроэлементов (с мочой, калом и молоком)

и влияние добавок селена, йода, цинка, меди и железа, вычислена нормальная потребность, измерена степень совокупного усвоения и оценен баланс микроэлементов. Авторами суммированы рекомендации по поступлению микроэлементов и нормальной суточной потребности на килограмм веса тела и килограмм сухого вещества пищи, и описаны антагонистические взаимодействия микроэлементов и допустимые количества их потребления в сутки. Показано потребление микроэлементов из пищи животного происхождения, овощей и напитков, которые сильно различаются между собой. Наконец, проведено сравнение результатов потребления микроэлементов, определенного методом дубликатов и вычисленного методом корзины. Метод корзины переоценивает потребление микроэлементов на 10–65%, и использоваться более не должен.

ABSTRACT: Due to the international trade, the trace element offer to humans in Central Europe is by far uniform today, but it is varied by the different trace element content in drinking water, home made beverages, vegetables, spices and fruits cultivated in private gardens. The geological origin of the site, farming system and foodstuff and beverage producing industries influence the local trace element intake. In Germany, the selenium, iodine, molybdenum and copper intake of adults with mixed diet increased in the last 15 years,

whereas their iron, nickel and zinc intake decreased significantly. The manganese consumption did not change markedly. The normative requirement of nickel, manganese and molybdenum in Central Europe is covered. A deficiency of these elements, with exception of gene defects (for example molybdenum) is not given. Ovolacto-vegetarians consume higher amounts of trace elements, with a lower bioavailability (phytate) than people with mixed diets. In placebo controlled double blind studies with pregnant and lactating women, young women and four test populations, the trace element excretion (urine, faeces, milk), the influence of supplementation (selenium, iodine, zinc copper, iron) were determined, the normative requirement calculated, the apparent absorption rate measured and the balance of the trace elements estimated. The normative requirement of trace elements/day, kg body weight, kg food dry matter, the recommendation for intake and their tolerable daily intake were summarized and antagonistic interactions described. The trace element intake through animal foodstuffs, vegetable foodstuffs and beverages, which is quite different, was demonstrated. At last, the results of the trace element intake analytical determined with the duplicate method and calculated with the basket method were compared. The basket method overestimated the trace element intake by 10 to 65% and should not longer be used.

Введение

На протяжении происходящего миллионы лет круговорота неорганических составляющих пищи, воды и воздуха в представителях фауны и человеке, большинство элементов вошли в состав белков, ферментов, гормонов и других необходимых составляющих человеческого организма, или стали играть роль их активаторов. В целом, клеткам человека необходимы те же элементы, что и клеткам других позвоночных животных. Исключение составляют несколько видов млекопитающих, клеткам которых требуется повышенное количество неорганических клеточных компонентов. Нормальная потребность в марганце для взрослого человека равна, например, 15 мкг/кг веса тела, в то время как крупному рогатому скоту и курам требуется до 1000–1500 мкг/кг веса их тела. В случае молибдена, животные и человек получают его количество, которое превышает норму его потребления, составляющую до 2,5 мкг/кг веса тела животного и 0,40 мкг/кг для человека. В случае молибдена нормальная потребность животных и человека покрывается естественным образом, в первую очередь пищей. Дефицит молибдена у человека возникает только в случае врождённого дефекта, связанного с недостатком сульфит-оксидазы, или при продолжительном парентеральном питании. Причиной упомянутого заболевания у новорожденных является одиночный инвариантный цистеин в сульфит-оксидазе или недостаток функционального молибдоптерина (Anke, 2004a,b,c).

Элементы в питании животных и человека делятся на три группы. Нормальная потребность в микроэле-

ментах у позвоночных животных > 100 мг/кг сухого вещества пищи (СВ), а для микроэлементов (и ультрамикроэлементов) - < 10 мг/кг СВ пищи. Эти же количественные характеристики применимы и к взрослому человеку в отношении потребления того или иного элемента в день.

Эссенциальные химические элементы подразделяются на микроэлементы, необходимость которых была подтверждена свидетельствами их участия в биохимических механизмах, вовлекающих их в каталитические и регуляторные процессы, или в синтезе необходимых животным веществ микроорганизмами (например, Co – витамин B₁₂; Ni – уреазы), и ультрамикроэлементы, роль которых изучена экспериментально путём ослабления их физиологических функций искусственным питанием трёх-пяти поколений подопытных и контрольных групп. Возможно, что будущие исследования переведут некоторые ультрамикроэлементы в группу микроэлементов.

Целью данных экспериментов являлось определение потребления микроэлементов (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Ni, I, Se) с помощью метода дубликатов и вычисление их потребления с помощью метода корзины в 21 тестовой популяции в Европе и Америке в зависимости от пола, периода времени, возраста, веса тела, времени года и при грудном вскармливании (Anke, 2004a,b,c).

Материалы и методы

Потребление микроэлементов определялось в основном в 21 тестовой популяции, каждая из которых состояла по крайней мере из семи женщин и семи мужчин в возрасте от 20 до 69 лет. В течение семи дней собирались дубликаты всей потребляемой пищи, десертов и напитков. Исследования проводились в популяциях из Германии (Г) и Мексики (М) (2 тестовые группы). В среднем, взрослые женщины на смешанной диете потребляли около 300 г СВ пищи, употребляющие яйца и молоко вегетарианки – 390 г СВ пищи, мужчины – 376 г СВ пищи, а вегетарианцы – 479 г СВ пищи (Anke et al., 1997). В среднем мужчины обоих типов питания потребляли на 24% больше СВ, чем женщины (табл. 1). Потребление энергии у людей на смешанной и вегетарианской диете не различалось и доходило до 8,4 МДж/день у женщин и до 10,4 МДж/день у мужчин. Как и в случае с потреблением сухого вещества пищи, потребление энергии различалось у двух полов на 24% (Anke et al., 1999).

Исследования баланса проводились в пяти всеядных тестовых популяциях и одной группе оволактовегетарианцев, двух популяциях молодых женщин и одной или двух тестовых группах кормящих женщин. У испытуемых ежедневно собирали мочу и кал. У кормящих женщин собирали дубликаты принимаемой пищи, выделения (моча и кал) и пробы молока между 28-м и 35-м днём лактации. Потребление молока младенцами рассчитывалось по 800 мл/день для обоих полов. В таблице 2 показано количество испытуемых и проб.

После сухого озоления при температуре 450°C

Таблица 1. Потребление сухого вещества пищи взрослыми людьми в разные годы в зависимости от пола и диеты (г/день)

Диета	Страна/год (n)			Женщины		Мужчины		Fp ²	% ¹
				s	x	x ⁴	s ³		
Люди на смешанной диете (Сд)	Г ⁵	1988	(392)	77	300	382	88	<0,001	127
	Г	1992	(588)	98	313	383	108		122
	Г	1996	(434)	87	293	364	117		124
	М ⁶	1996	(196)	94	303	341	106	<0,001	113
Вегетарианцы (В) ⁷	Г	1996	(140)	90	390	479	171	<0,001	123
Сд 1988:1996	Г	Fp		<0,05		<0,05		-	
		%		98		95			
Сд:В 1996		p ⁸		<0,001		<0,001			
		%		133		132			
Сд 1996	Г:М	p		>0,05		>0,05			
		%		103		94			

¹ Женщины = 100%, Мужчины = x%;
² Fp = Уровень значимости по результатам дисперсионного анализа;
³ s = стандартное отклонение;
⁴ x =среднее арифметическое;
⁵ Г = Германия;
⁶ М = Мексика;
⁷ Вегетарианцы, употребляющие в пищу молоко и яйца;
⁸ p = Уровень значимости при использовании t-критерия Стьюдента.

методом ИСП-ОЭС (Spectroflame-D, Spectro Analytical Instruments, Клеве, Германия) определялось количество железа (Fe), марганца (Mn), цинка (Zn), меди (Cu) и молибдена (Mo).

Содержание никеля определялось атомно-абсорбционной спектрометрией с графитовой печью на оборудовании AAS 3030, HGA 400, AS 40 (Perkin Elmer) с использованием ламп с полым катодом Intensitron (Perkin Elmer). Компенсация фона проводилась при помощи дейтериевой лампы и применения нитрата магния в качестве модификатора. Настройки приборов были следующие: длина волны 232,0 нм, ток лампы 15 мА, вводимый объем 20 мл, расчет по площади пика.

Анализ на йод проводился по методу Санделла-Колтоффа (Sandell-Kolthoff, 1937), модифицированному Гроппелем и соавт. (Groppel et al., 1989); селен определялся методом ААС с гидридным генератором (AAS 3, HS 3, Carl Zeiss Jena, Германия), с 3% ВаВН₄ в 1% NaOH в качестве восстанавливающего агента (Drobner, 1997).

Качество этой аналитической процедуры контролировалось с использованием стандартного образца “ARC/CL HDP Total Diet Reference Material”

(Kumpulainen, Tahvonen, 1990).

Полученные данные обрабатывались в программе Fox Pro (версия 2.6 для Windows, Microsoft Corporation). Статистический анализ проводился с помощью пакета SPSS/PC (версия 6.01 для Windows, SPSS Inc.).

Результаты

1. Йод

После Второй Мировой войны в Германии у животных и людей наблюдался дефицит йода различной степени. В Восточной Германии он не существовал до 1970-х годов в связи с импортом рыбы, которой кормили домашних животных. Однако после сокращения поступления рыбы из Перу и замены этого источника белков продуктами переработки рапсового семени дефицит йода начал проявляться в форме struma connata (поросята, телята, собаки, младенцы) (Groppel, 1986; Rother, 1997; Kursa et al., 2000; Kroupova et al., 1996; Anke, 2004). После 1985 года дополнительное подкармливание минеральными смесями свиней, кур и жвачных животных из расчета 10 мг/кг и

Таблица 2. Число участников дубликатных исследований и число проанализированных проб

Параметр	Fe	Mn	Zn	Cu	Mo	I	Se	Ni
Испытуемые	20	20	21	21	20	21	17	15
Женщины	146	146	153	153	146	153	125	10
Мужчины	125	125	125	125	125	125	104	90
Дубликаты	1897	1897	1946	1946	1897	1946	1603	1554
Моча	721	721	770	770	721	770	630	392
Кал	721	721	770	770	721	770	630	392
Молоко	58	12	64	64	21	64	10	-
Всего	3397	3351	3550	3550	3360	3550	2873	2338

Таблица 3. Потребление йода взрослыми людьми в разные годы в зависимости от пола и диеты (мкг/день)

Вид диеты	Страна/год		Женщины		Мужчины		Fr ²	% ¹
			s	x	x ⁴	s ³		
Люди на смешанной диете (Сд)	Г ⁵	1988	36	51	57	35	<0,001	112
	Г	1992	30	47	66	52		140
	Г	1996	47	83	113	59		136
	М ⁶	1996	118	150	195	134	<0,001	130
Вегетарианцы (В) ⁷	Г	1996	52	80	123	80	<0,001	154
Сд: 1988:1996	Г	Fr	<0,001		<0,001			
		%	163		198			
Сд: В 1996		p ⁸	<0,001		<0,001			
		%	181		173			
Сд 1996	Г:М	p	>0,05		>0,05			
		%	96		109			

¹ Женщины = 100%, Мужчины = x%;² Fr = Уровень значимости по результатам дисперсионного анализа;³ s = стандартное отклонение;⁴ x = среднее арифметическое;⁵ Г = Германия;⁶ М = Мексика;⁷ Вегетарианцы, употребляющие в пищу молоко и яйца;⁸ p = Уровень значимости при использовании t-критерия Стьюдента.

йодирование поваренной соли (20 мг/кг) увеличили суточную норму потребления йода у людей на смешанной диете с < 30 мкг (19,9 мкг I/г креатинина) (Bauch, 1985) до приблизительно 50 и 60 мкг для женщин и мужчин соответственно (табл. 3).

После объединения Германии потребление йода уменьшилось, но в последующие годы вновь постепенно повысилось, достигнув в итоге уровня 80 мкг в день у женщин и 110 мкг в день у мужчин на смешанной диете. Потребление йода у оволактовегетарианцев соответствует таковому у людей на смешанной диете. Молоко и яйца поставляют одинаковое количество йода взрослым людям обоих типов питания.

Взрослое население Мексики, проживающее в сельских районах иного геологического происхождения, получает значительно большее количество йода. Причиной этого является йодирование, как и в США, используемой в промышленности соли (Gonzales et al., 1999). Следует ожидать, что в период с 2005 по 2010 год суточное потребление йода у взрослых немецких мужчин и женщин также достигнет 150 и 200 мкг соответственно.

Значительно большее потребление йода мужчинами является результатом их более высокого (на 24%) потребления СВ пищи (Anke et al., 1997), а также того, что они предпочитают пищу животного проис-

хождения, в то время как женщины чаще останавливают свой выбор на овощах.

Независимо от увеличения потребления йода, 29% женщин и 26% мужчин потребляли в среднем в неделю только пограничные количества йода, что могло вызывать йоддефицитные заболевания (ЙДЗ) средней степени (табл. 4). При этом в среднем в неделю никто не потреблял > 25 мкг I/день, что вызывало серьезные ЙДЗ. Сбор лишь дневного дубликата пищи (или пробы мочи и крови) мог приводить к переоценке встречаемости недостаточного потребления йода, что связывалось с его дефицитом.

Потребность в йоде приблизительно соответствует количеству йода, который входит в состав тироксина (T₄); у женщин и мужчин это ~ 65 мкг и 75 мкг йода в день соответственно. Нормальная потребность в йоде взрослого мужчины была определена как 1 мкг на 1 кг веса тела в день в среднем за неделю. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) (Anonynous, 1994) рекомендовала потреблять 2 мкг йода в день. В 1996 году в Германии 29% женщин и 26% мужчин потребляли < 1,0 мкг I/кг веса, в то время как женщины и мужчины на смешанной диете обычно потребляют 1,3 и 1,5 мкг I в день соответственно, а употребляющие в пищу яйца и молоко вегетарианцы, соответственно, 1,4 и 1,8 мкг I/кг веса в день. Хотя в среднем нормаль-

Таблица 4. Процент дневного и недельного потребления йода у взрослых на смешанной диете в Германии (217 дневных дубликатов, 31 неделя)

	Женщины			Мужчины		
	Дневное потребление I (мкг/кг)	В день (%)	В неделю (%)	Дневное потребление I (мкг/кг)	В день (%)	В неделю (%)
Сильная степень ЙДЗ	> 25	7	0	> 35	5	0
Средняя степень ЙДЗ	25-65	33	29	35-75	22	26
Нормальная потребность	66-130	44	61	76-150	48	55
Рекомендации	>130	16	10	>150	25	19
Избыточное потребление йода	>500	0	0	>500	0	0

Таблица 5. Потребление кормящими женщинами йода и селена, и содержание в их крови йода, тироксина и свободного трийодтиронина

Параметр		Плацебо		Препарат		p	% ¹
		SD	В среднем	В среднем	SD		
Потребление	I (мкг/день)	88	146	312	127	<0,001	214
	Se (мкг/день)	6,2	14	69	4,6	<0,001	29
плазма	I (мкг/л)	6	63	59	28	>0,05	493
	T ₄ (нмоль/л)	13	98	92	10	>0,05	94
	fT ₃ (пмоль/л)	0,3	2,0	4,7	0,5	<0,001	235

¹ Плацебо = 100%, Препарат = x%

ная потребность взрослых людей в йоде была удовлетворена, в 25% случаев потребление йода было слишком низким. В отличие от данных по Европе, женщины и мужчины Мексики потребляли 2,5 и 2,6 мкг I/кг веса в день, что соответствовало рекомендуемому уровню.

Беременным и кормящим женщинам ВОЗ рекомендовала получать 200 мкг йода в день. В Германии (1997) беременные и кормящие женщины, не получавшие достаточного количества йода из пищи, с восьмого месяца беременности по 35-й день вскармливания получали 150-210 мкг йода в день в виде йодсодержащих таблеток. Приблизительно от 10% до 20% протестированных женщин получали с пищей <100 мкг I в день (Bühling et al., 2003).

Удивительно, но потребление йода взрослыми на смешанной диете зависит от времени года. Зимой женщины и мужчины потребляют на 40% больше йода, чем летом, что объясняется большим потреблением летом фруктов и жидкости. Кроме того, потребление йода увеличивается на 30% с увеличением возраста (от 20 до 69 лет) и на 45% с увеличением веса (Anke et al., 2000).

В мире (Parr et al., 1992) суточное потребление йода взрослым населением варьируется от 30 и 50 мкг в Египте и Германии до 500 мкг в США.

В эндемически бедных селеном и йодом регионах Германии, где потребление йода кормящими женщинами с 35-го дня нормализовалось йодированной солью и нормализацией содержания в плазме T₄, было невозможно нормализовать уровень свободного трийодтиронина (fT₃) плазмы крови (табл. 5).

Активность глутатионпероксидазы (GSH-Px) плазмы крови женщин (170 МЕ/л) и концентрация в ней ТТГ (2,0-2,5 мМЕ/л) были нормальными. Добавление 50 мкг Se и 100 мкг I в день с конца седьмого месяца беременности до 35-го дня кормления нормализовало уровень fT₃ в плазме. На активность плазменной GSH-Px применение 50 мкг Se в день не влияло. Добавление Se отчетливо увеличивало активность йодтиронин-5-дейодиназы и нормализовало концентрацию fT₃. Нормализация йодного обмена происходит, только если одновременно удовлетворяется потребность организма и в йоде, и в селене (Anke et al. 2003).

В основном йод выводится через почки и молочные железы, которые конкурируют со щитовидной железой за свободный йод плазмы крови. Ни в почках,

ни в молочных железах не существует механизма запасаения йода. Если учитывать выведение йода с калом (около 10-80 мкг в день), то уровни выделения йода с мочой и молоком являются хорошими индикаторами выведения и потребления йода. В почках реабсорбция йода пропорциональна всасыванию хлоридов и происходит путем диффузии. Также существует тубулярная секреция, которую считают причиной увеличенных уринарных потерь йода при повышенном альдостероне. Почечные потери йода у взрослых людей с потреблением йода в 1 мкг/кг веса тела (нормальная потребность) составляют 35-50 мкг I в день; при потреблении 2 мкг I в день (рекомендовано) они равны 70-110 мкг в день. Кормящие женщины с потреблением от 150 до 300 мкг йода в день с мочой выделяли от 60 до 1600 мкг I в день (Anke et al., 2000). Люди на смешанной диете и вегетарианцы, употребляющие молоко и яйца, значительно не отличаются по выделению йода с мочой.

В прошлом выделением йода с калом пренебрегали, а выделение йода с мочой приравнивалось к потреблению. В двух тестовых популяциях с суточным потреблением йода в 34 мкг у женщин и 48 мкг у мужчин выделение йода с мочой равнялось 21 и 28 мкг в день, а с калом – 15 и 18 мкг в день, соответственно. В этих экспериментальных условиях, соответственно, 42 и 39% потребленного йода было выведено с калом (Anke et al., 1993). Концентрация йода в суточной моче отвечала II и III степени йоддефицита по классификации ВОЗ.

Выделение йода с калом также составляло 16-23 мкг в день в случае потребления 1-2 мкг йода на килограмм веса тела (табл. 6). У кормящих женщин, потребляющих 150 и 300 мкг йода в день, с калом выводилось 10-81 мкг I в день, т.е. от 7 до 25% (табл. 6). Мужчины и не кормящие женщины с потреблением йода в 80-251 мкг в день выделяли 17-23 мкг I в день соответственно, что составляет от 13 до 22% общего выведения со средним арифметическим, равным 17%.

Йод, выделяющийся через пищеварительный тракт, у человека происходит из желчи (< 10 мкг в день; Langer 1993), и в основном входит в состав органических соединений. Йод также появляется в молоке животных и женщин в количествах, которые коррелируют с таковыми в крови. У людей и коров уровни йода в молоке колебались в пределах от 10 мкг/л в случае

Таблица 6. Потребление, выведение, совокупное усвоение и баланс йода у мужчин и женщин

Параметр		Женщины						Мужчины	
		Кормящие	Кормящие	Молодые	Молодые	Сд	В	Сд	В
Потребление	мкг/день	146	312	103	251	85	80	121	123
Выведение	молоко, мкг/день	66	75	-	-	-	-	-	-
	моча, мкг/день	62	163	72	159	75	76	104	93
	кал, мкг/день	10	81	20	23	19	16	17	17
	молоко, %	48	24	-	-	-	-	-	-
	моча, %	45	51	78	87	80	83	86	85
	кал, %	7	25	22	13	20	17	14	15
Совокупное усвоение, %		93	74	81	91	78	80	86	86
Баланс	мкг/день	+8	-7	+11	+69	-9	-12	± 0.0	+13
	%	+55	-2.2	+11	+27	-11	-15	± 0.0	+11

йоддефицита до > 100 мкг/л при повышенном его потреблении. Особенно богато йодом козье молоко (Anke, 2004b).

Степень совокупного усвоения йода составляет 74-93% (в среднем - 84%) и по сравнению с усвоением тяжелых металлов является очень высокой. Баланс йода зависит от наполнения депо йода в организме и варьируется в пределах от -15 до +27%.

Опасность йоддефицита высока в районах, отдалённых от морских побережий, в горах и на территориях, где йод вымывается из почвы и уносится в океан. В районах с низким потреблением селена опасность йоддефицита особенно высока (дефицит $f T_3$). Добавление в рацион йода особенно важно во время первого триместра беременности.

2. Селен

У людей болезнь Кешана, фатальная кардиомиопатия, эндемичная для центрального Китая, стала первой болезнью, происхождение которой связали с дефицитом селена. В эндемичных районах потребление селена колеблется от 3 до 11 мкг/день, при этом уровень селена поднимается только до 21 мкг/л. Для профилактики болезни Кешана успешно использовали обогащение рациона на 300–1000 мкг Se в неделю. Это заболевание поражает ежегодно тысячи детей и молодых женщин (Schrauzer, 2004).

Болезнь Кашина-Бека, которая характеризуется разрушением коллагена и повреждением суставов, может быть второй болезнью человека, которая связана с дефицитом селена. Её сезонность предполагает участие микотоксинов и дефицит некоторых других микроэлементов (йода) и ультрамикроэлементов (например, бора) (Peng, 2000; Dongxu, 1990).

Селеноцистеин является активным центром глю-

татионпероксидазы (GSH-Px), фермента, который играет основную роль в удалении из клетки пероксидов. Этот фермент является тетрамерным белком, каждая из субъединиц которого содержит молекулу селеноцистеина в составе каталитического центра. (Flohe, 1989). Селеноцистеин также является функциональным компонентом нескольких других селенсодержащих ферментов млекопитающих.

Тиреоидный гормон дейодиназа – ещё одна разновидность таких ферментов. Показано, что 5'-йодтиронин-дейодиназа типа I также представляет собой селеноэнзим (Arthur et al., 1990; Behne, 1990). Основной его функцией является превращение тетрайодтиронина (T_4) в трийодтиронин (T_3).

Кроме того, выделен ряд селенопротеинов, чья функция ещё не известна (селенопротеин P, селенопротеин W, селенопротеин "Sep 15", селенопротеин R, селенопротеин M, селенопротеин N) (Schrauzer, 2004). Большое число недавно открытых селенопротеинов и факт, что гены, кодирующие их, могут быть повреждены, дают основание предполагать, что дефицитом или нарушением обмена селена могут быть вызваны многие заболевания.

Потребление селена в Германии оценивалось методом дубликатов в зависимости от возраста, пола, промежутка времени, веса тела, грудного вскармливания, времени года (табл. 7). Исследования показали, что потребление селена за последние 15 лет увеличилось на 50-70%. Причиной этого является то, что кислые почвы ледникового периода в бывшей ГДР поставляли в пищевую цепь очень мало селена. Появление супермаркетов после объединения Германии открыло людям доступ к более высоким количествам селена (табл. 7). В среднем, мужчины потребляют селена на 27% больше, чем женщины. Это "половое

Таблица 7. Потребление селена взрослыми людьми в разные годы в зависимости от пола и вида диеты (мкг/день)

Вид диеты	Год	Женщины		Мужчины		Fp	%		
		s	x	x	s				
Люди на смешанной диете (Сд)	1988	12	19	25	20	<0,001	132		
	1992	18	25	31	25		124		
	1996	16	30	42	26		140		
Вегетарианцы (В)	1996	21	30	34	28	>0,05	113		
Сд 1988:1996, Г	Fp	<0,001		<0,001		-			
	%	158		168					
Сд:В 1996	p	>0,05		>0,05					
	%	100		81					

Таблица 8. Потребление, выведение, совокупное усвоение и баланс селена у мужчин и женщин

Параметры		Женщины				Мужчины
		Кормящие	Молодые женщины	Молодые женщины	Сд	Сд
Потребление	мкг/день	69	18	72	31	41
Выведение	молоко, мкг/день	10	-	-	-	-
	моча, мкг/день	20	18	28	22	24
	кал, мкг/день	15	7	29	13	15
	молоко, %	22	-	-	-	-
	моча, %	45	72	49	63	62
	кал, %	33	28	51	37	38
Совокупное усвоение, %		78	61	60	58	63
Баланс	мкг/день	+24	-7	+15	-4	+2
	%	+35	-39	+21	-13	+4.9

различие” возникает из-за того, что мужчины по сравнению с женщинами потребляют на 24% больше сухого вещества пищи. Вегетарианцы, употребляющие в пищу молоко и яйца, получают такое же количество селена, что и взрослые люди на смешанной диете.

Таблица 8 показывает баланс селена у взрослых людей на смешанной диете и вегетарианцев, употребляющих в пищу молоко и яйца. Кормящие женщины (69 мкг Se/день) и молодые женщины (72 мкг/день) получали пищевые добавки с 50 мкг Se/день в течение трёх месяцев и трех недель, соответственно.

Испытуемые тестовых популяций, не получавшие добавок селена, потребляли из пищи и напитков в среднем от 18 до 41 мкг Se/день усредненно за неделю. У всех испытуемых с потреблением < 20 мкг/день наблюдался отрицательный баланс селена, который не влиял на селеновый статус и активность GSH-Px в крови (табл. 9). В начале плацебо-контролируемого двойного слепого исследования концентрации селена в крови и сыворотке всех групп были нормальными и значительно выше, чем через три недели. Все значения селена и GSH-Px были нормальными. Концентрации селена в крови, сыворотке и активность GSH-Px являются хорошими показателями селенового статуса. Отсутствие увеличения концентрации селена и активности GSH-Px показывает, что женщины, которые потребляют 12-19 мкг селена в сутки, восполняют свою потребность в этом микроэлементе из запасов организма. Их нормальная потребность в селене выше, чем 12-19 мкг/день. Уровень совокупного усвоения у кормящих женщин очень высок, равен 78% и демонстрирует высокую биологическую доступность для них селена при использовании селенированных дрожжей. Некормящие молодые женщины, которые получали аналогичные

добавки, усваивали около 60% селена. Это соответствует усвоению селена женщинами и мужчинами, которые не получали добавок (табл. 8). Удовлетворение нормальной потребности человека в селене требует большего внимания, при этом представляется необязательным использовать дорогостоящие обогащенные селеном дрожжи (Drobner, 1997; Anke et al., 1997, 2002).

3. Железо

Типичная диета стран Третьего Мира, основанная на рисе и маисе и богатая фитатами, отличается низкой биодоступностью железа. Кроме того, в этих странах часты гельминтные инвазии, приводящие к кровопотерям. Гипохроническая микроцитарная железодефицитная анемия снижает работоспособность, при этом в обоих случаях наблюдается тесная корреляция. Работоспособность мозга также снижается с уменьшением его кровоснабжения, поэтому наличие и пагубное влияние анемии на интеллект; анемия женщин с выраженным дефицитом железа ведёт к ранним родам и, возможно, к ухудшению неонатального здоровья. Заметный дефицит железа, возможно, нарушает терморегуляцию у млекопитающих. Железо необходимо для бактерий и паразитов, поэтому снижение доступности железа является стратегией защиты млекопитающих против этих патогенов и на самом деле снижает бактериальную заболеваемость. Гуморальный иммунный ответ кажется менее зависимым от дефицита железа, чем клеточный иммунный ответ. Это может объясняться сниженной функцией рибонуклеотидредуктазы и, таким образом, снижением редупликации иммунокомпетентных клеток (Schümann, Elsenhans, 2004).

В Германии за последние 15 лет потребление железа взрослыми на смешанной диете снизилось на

Таблица 9. Содержание селена в крови (мкмоль/л), сыворотке (мкмоль/л) и активность GSH-Px (МЕ/л) сыворотки

Параметр	Селен, кровь		Селен, сыворотка		Активность GSH-Px	
	Плацебо	Препарат	Плацебо	Препарат	Плацебо	Препарат
Начало опыта	1,1	1,3	1,04	1,05	166	163
Конец опыта	0,89	1,0	0,78	0,85	184	171
p	<0,001	<0,001	<0,05	<0,05	>0,05	>0,05
%	91	77	75	84	111	105

Таблица 10. Потребление железа взрослыми людьми в разные годы в зависимости от пола и типа диеты (мг/день)

Диета	Страна/год		Женщины		Мужчины		Fp	%
			s	x	x	s		
Люди на смешанной диете (Сд)	Г	1988	4,3	9,5	12	6,4	<0,001	126
	Г	1992	4,1	7,7	9,9	5,2		129
	Г	1996	2,9	6,3	7,7	3,8		122
	М	1996	4,0	8,9	9,4	4,0	<0,001	106
Вегетарианцы (В)	Г	1996	5,4	9,5	10	4,4	>,05	105
Сд 1988:1996	Г	Fp	<0,001		<0,001		-	
		%	66		64			
Сд:В 1996		p	<0,001		<0,001			
		%	151		130			
Сд 1996	Г:М	p	<0,001		<0,001			
		%	141		122			

треть, до 6,3 и 7,7 мг у женщин и мужчин соответственно (табл. 10). Вегетарианцы, употребляющие в пищу молоко и яйца, получают на 30-50% больше железа, чем люди на смешанной диете. Женщины и мужчины сельских районов Мексики в 1996 году потребляли существенно больше железа, чем немцы. Эти различия значимы. Чистка овощей и фруктов, удаление верхних слоев зерен при приготовлении хлопьев снижает содержание железа в пище (табл. 10). В среднем мужчины потребляют на 18% больше железа, чем женщины, что связано с потреблением ими большего количества сухого вещества пищи.

ВОЗ предлагает считать нормальной потребностью в железе, при его биологической доступности в 10%, 8 мг/день для молодых женщин, 7 мг/день для кормящих женщин, 6,5 мг/день для пожилых женщин и 6 мг/день для мужчин (Anonymous, 1996). Немецкое общество питания (The German Society of Nutrition) (Anonymous, 2000) предлагает мужчинам и женщинам старше 50 лет потреблять 10 мг/день, а женщинам и мужчинам от 15 до 50 лет – 15 мг/день. Беременным женщинам рекомендуется потреблять 30 мг Fe/день, кормящим – 20 мг Fe/день. Это очень высокие нормы.

Добавление 10 мг Fe/день в пищу молодых женщин (22-25 лет) и кормящих женщин на три недели или три месяца повысило выведение железа с калом практически ровно на 10 мг/кг, что говорит о том, что это

добавление не было необходимым. Добавление железа не влияло на содержание железа в крови. Высокое потребление железа перегружает метаболизм организма. Нормальная потребность в железе молодых беременных и кормящих женщин не выше 7 мг/день.

Кормящие женщины с суточным потреблением 7,0 мг Fe выводили с молоком 5% железа, 7% – с мочой и около 88% – с калом. Взрослые мужчины и женщины выводили от 2 до 6% железа с мочой и от 94 до 98% – с калом (табл. 11).

Степень совокупного усвоения железа не была определена, так как баланс во всех тестовых группах был отрицательным. У всех обследованных выведение железа превышало его алиментарное поступление. Не было учтено поступление в организм железа с воздухом, что и явилось причиной отрицательного баланса. Вообще говоря, отрицательный баланс характерен для всех элементов, которые в большом количестве содержатся в пыли, таких как, например, марганец и титан (Schäfer, 2004; Anke, Seifert, 2004).

4. Цинк

Дефицит цинка у человека обычно бывает результатом неадекватной диеты, особенно во время роста, беременности и кормления. Дефицит цинка может быть вызван вегетарианством и искусственными диетами с дефицитом калорийных белков. В таблице 12

Таблица 11. Потребление, выведение, совокупное усвоение и баланс железа у мужчин и женщин

Параметры		Женщины						Мужчины	
		Кормящие	Кормящие	Молодые	Молодые	Сд	В	Сд	В
Потребление	мкг/день	17675	7699	7268	17832	6268	9486	7693	10419
Выведение	молоко, мкг/день	492	440	-	-	-	-	-	-
	моча, мкг/день	508	669	273	472	451	674	556	653
	кал, мкг/день	20667	8513	9257	19993	6724	9802	8645	10723
	Молоко, %	2	5	-	-	-	-	-	-
	моча, %	2	7	3	2	6	6	6	6
	кал, %	96	88	97	98	94	94	94	94
Совокупное усвоение, %		-	-	-	-	-	-	-	-
Баланс	мкг/день	-3992	-1923	-2263	-1561	-907	-990	-1508	-957
	%	-23	-25	-31	-9	-14	-10	-20	-9

Таблица 12. Признаки и симптомы дефицита цинка (Peganova, Eder, 2004)

Лёгкая и средняя степень	Тяжелая степень
Снижение иммунитета	Частые инфекции
Потеря вкуса	Диарей
Потеря обоняния	Подавление иммунитета
Замедление заживания ран	Замедление полового созревания
Ночная слепота	Облысение
Снижение продукции спермы/стерильность	Умственные нарушения
Ослабление памяти	Замедление формирования костей
	Дерматиты и другие поражения кожи
	Снижение функции и размеров яичек
	Увеличение селезенки и печени

показаны симптомы дефицита цинка у человека.

После объединения Германии мировая торговля продуктами питания на четверть снизила дефицит цинка в Восточной Германии (табл. 13). Испытуемые в Мексике в 1996 году потребляли столько же цинка, сколько и немцы. Вегетарианцы, употребляющие молоко и яйца, потребляют на 25–40% больше цинка с меньшей биодоступностью, чем люди на смешанной диете.

Нормальная потребность в цинке для женщин равна < 6,0 мг Zn/день, для мужчин < 8,0 мг/день. Клиническая потребность в цинке может быть 3 и 4 мг Zn/день соответственно. В среднем, нормальная потребность в цинке удовлетворяется, но треть немцев и мексиканцев обоих полов потребляют лишь пограничные количества цинка. Они не получают 6 и 8 мг цинка соответственно.

Добавление 10 мг Zn/день в рацион беременных и кормящих женщин более, чем на три месяца (с 8-го месяца беременности до 35-го дня лактации) и молодым женщинам (21 год) с естественным потреблением около 7 мг Zn/день существенно не повлияло на концентрацию цинка в молоке (табл. 14), волосах, крови и сыворотке (табл. 15). На параметры цинка и супероксиддисмутазы (СОД) (табл. 15) добавление цинка в рацион питания также существенно не повлияло. Значения цинка у женщин были нормальными. Кормящие и не кормящие женщины полностью выводили добавки цинка (10 мг/день) с калом. Нормальная потребность в цинке беременных и небеременных, кормящих и не кормящих женщин удовлетворя-

ется потреблением ~ 7 мг Zn/день

Кормящие женщины из группы плацебо выводили с молоком 28% цинка, 5% — с мочой и 84% — с калом. Степень совокупного усвоения у них составляла 11% и была существенно выше, чем у не кормящих (табл. 14). Во время лактации животные и женщины обычно имеют по цинку негативный баланс, так как большинство элементов (например, Ca, P, Zn) во время лактации мобилизуются.

Все тестовые группы выделяли с мочой в среднем от 300 до 800 мкг Zn/день. Этот путь выведения цинка ограничен. Большая часть усвоенного цинка выделяется поджелудочной железой, селезенкой и секреторными клетками тонкого кишечника. Большое количество цинка реабсорбируется, иначе организм испытывал бы его дефицит. Пищеварительный тракт является нормальным путем выведения цинка (Oberleas et al., 1999). Так как очень большие количества цинка выделяются в двенадцатиперстную кишку, потеря цинка через тонкий кишечник играет важнейшую роль в выделении цинка и поддержании его гомеостаза. Выделение цинка кишечником является причиной низкой степени совокупного усвоения этого микроэлемента. В кале невозможно определить, какой цинк не усвоен, а какой выделен кишечником. В среднем для не кормящих женщин степень видимого усвоения варьируется между 0,5 и 2,7% у оволактовегетарианцев и 3,0 и 5,3% у людей на смешанной диете (табл. 16). Богатое кальцием и фитатами питание вегетарианцев снижает биодоступность цинка из-за его связывания с фитатами и увеличивает опасность де-

Таблица 13. Потребление цинка взрослыми людьми в разные годы в зависимости от пола и типа диеты (г/день)

Диета	Страна/год		Женщины		Мужчины		Fp	%
			s	x	x	s		
Люди на смешанной диете (Сд)	Г	1988	2,6	7,7	10	3,4	<0,001	130
	Г	1992	2,7	7,1	9,0	3,7		127
	Г	1996	2,8	6,0	7,5	3,1		125
	М	1996	4,2	7,3	7,3	2,9	>0,5	100
Вегетарианцы (В)	Г	1996	2,6	8,6	9,5	9,5	<0,001	110
Сд 1988:1996	Г	Fp	<0,001		<0,001		-	
		%	78		75			
Сд:В 1996		p	<0,001		<0,001			
		%	143		127			
Сд 1996	Г:М	p	<0,05		>0,05			
		%	122		97			

Таблица 14. Потребление, выведение, совокупное усвоение цинка у мужчин и женщин

Параметры		Женщины						Мужчины	
		Кормящие	Кормящие	Молодые	Молодые	Сд	В	Сд	В
Потребление	мкг/день	7860	16410	6670	17535	5975	8597	7458	9487
Выведение	молоко, мкг/день	2857	2589	-	-	-	-	-	-
	моча, мкг/день	485	448	315	339	606	279	797	473
	кал, мкг/день	6981	16309	6931	16681	5795	8362	7066	9440
	Молоко, %	28	13	-	-	-	-	-	-
	моча, %	4,7	2,3	4,3	2,0	9,5	3,2	10	4,8
	кал, %	68	84	95,7	98	90,5	96,8	90	95,2
Совокупное усвоение, %		-	11	0,6	-	4,8	3,0	2,7	5,3
Баланс	мкг/день	-2463	-2936	-315	+519	-426	-44	-405	-426
	%	-31	-18	-4,7	+2,9	-7,1	-0,5	-5,4	-4,5

фицита цинка (Anke et al., 1999a,b; Röhrig et al., 1998).

5. Медь

Нормальная потребность в меди достигает 700 мкг/день для женщин и 800 мкг/день для мужчин. Большинство симптомов дефицита меди сначала наблюдались у домашних животных, и только потом были зарегистрированы у человека. Два генетических нарушения человека вызывают все симптомы дефицита меди (синдром Менкеса) и отравления медью (болезнь Вильсона) (Harris, 1997).

Синдром Менкеса – смертельное прогрессирующее неврологическое заболевание, которое сопровождается характерной курчавостью волос. Болезнь связана с X-хромосомой и рецессивна, проявляется у мальчиков, в зависимости от тяжести заболевания такие мальчики редко живут больше двух лет. Этот синдром встречается и у животных и описан как спонтанная мутация в линии мышей C57 BL, известная, как полосатость.

Болезнь Вильсона – прогрессивная деградация печени, которая проявляется симптомами отравления медью. Этот генный дефект встречается с частотой 1/4000 в ближневосточных популяциях и 1/40000 в США (Harris, 1997). С 1988 по 1996 годы потребление меди увеличилось более чем на 50% (табл. 17). Это произошло благодаря увеличению концентрации меди в пище после объединения Германии. Жители Германии и Мексики потребляют сходные количества меди.

Индивидуальное потребление меди гораздо важнее, чем потребление меди в популяции. 20% людей потребляют <750 мкг Cu/день в среднем за неделю. Их нормальная потребность в меди не удовлетворяется. Только 3% обследованных женщин и мужчин потребляли 2500 мкг Cu/день.

В среднем, мужчины на смешанной диете и вегетарианцы, употребляющие в пищу молоко и яйца, соответственно потребляют на 24% и 23% больше сухого вещества, чем женщины, однако потребление

Таблица 15. Содержание цинка в крови (мкмоль/л), сыворотке (мкмоль/л) и уровень супероксиддисмутазы (СОД) (ммоль/ммоль гемоглобина, Hb)

Параметры	Цинк, волосы		Цинк, кровь		Цинк, сыворотка		SOD	
	Плацебо	Препарат	Плацебо	Препарат	Плацебо	Препарат	Плацебо	Препарат
Начало	216	297	88	90	15	14	18	18
Конец	228	243	92	86	14	15	14	15
p	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	<0,0	<0,05
%	106	82	105	96	93	107	78	83

Таблица 16. Специфические медьсодержащие ферменты позвоночных, их биохимическая функция и симптомы дефицита меди

Ферменты	Функция, симптомы
Лизилоксидаза	Целостность сердечно-сосудистой системы, размер сердца, эластичность легких, прочность костной и хрящевой ткани, форма яичной скорлупы; поражения сосудов, нарушения в костной системе
Феррооксидаза, ферриредуктаза	Гемопоз; анемия, нарушения репродуктивной функции
Интерлейкин 2	Иммунокомпетентность
Дофамин-монооксигеназа	Метаболизм катехоламинов, нервная передача; атаксия, гипомиелинизация
Тирозиназа	Пигментация волос и шерсти
Сульфгидрилоксидаза ?	Кератинизация; синдром Менкеса, дефекты шерсти у животных ("steely wool")
Cu-Zn-СОД	Антиоксидантная активность

Таблица 17. Потребление меди взрослыми людьми в разные годы в зависимости от пола и типа диеты (мкг/день)

Диета	Страна/год		Женщины		Мужчины		Fp	%
			s	x	x	s		
Люди на смешанной диете (Сд)	Г	1988	0,32	0,66	0,83	0,34	<0,001	126
	Г	1992	0,41	0,89	1,0	0,46		112
	Г	1996	0,86	1,1	1,2	0,67		109
	М	1996	0,67	1,2	1,3	0,77	<0,001	108
Вегетарианцы (В)	Г	1996	0,57	1,6	2,1	1,0	<0,001	131
Сд 1988:1996	Г	Fp	<0,001		<0,001		-	
		%	167		145			
Сд:В 1996		p	>0,05		>0,05			
		%	109		108			
Сд 1996	Г:М	p	<0,001		<0,001			
		%	145		175			

меди мужчинами на смешанной диете и оволактовегетарианцами в Мексике и Германии было в среднем лишь на 17% выше, чем у женщин. Небольшое различие в потреблении меди показывает, что женщины предпочитают богатую медью растительную пищу. Потребление меди у оволактовегетарианцев в среднем на 60% выше, чем у людей на смешанной диете. Вегетарианцы потребляют больше насыщенных медью овощей и шоколада.

Кормящие и не кормящие женщины в плацебо-контролируемых двойных слепых экспериментах получали по 300 мкг/день, что не оказывало существенного влияния на количество меди в молоке и моче. Кормящие женщины выделяли относительно много меди с молоком (табл. 18). Выделение с мочой изменялось лишь в пределах от 2 до 5% от потребления меди. Только от 30 до 60 мкг меди в сутки выделялось у взрослых людей этим способом. У человека половина усвоенной меди выделялась с калом. Основным путем выведения меди у человека является экскреция желчи. Это главный механизм, который регулирует уровень меди в клетках печени. Не все виды млекопитающих имеют возможность выводить большие количества меди с желчью. Такие животные, например овцы, особенно восприимчивы к интоксикации медью.

За исключением кормящих женщин, которые выделяют медь с молоком, человек выделяет 95-98% меди с калом. Степень совокупного усвоения меди колеблется, из-за различий в ее выделении с молоком

или желчью, от 3 до 50% (табл. 18).

Баланс меди у женщин и мужчин в основном положителен (+0,4 ... +17%). Способность к запасанию меди в печени у человека весьма велика.

Обсуждение

Нормальная потребность в марганце, никеле и молибдене для женщин и мужчин Германии и Мексики удовлетворяется естественным образом пищей и напитками (Schäfer, 2004; Anke, 2004c) (табл. 19, 20). Добавление этих трёх микроэлементов в рацион их питания не является необходимым. Это также касается кормящих и беременных женщин.

Потребность в микроэлементах для женщин и мужчин суммирована в таблице 20, которая показывает нормальную суточную потребность на 1 кг веса тела и 1 кг сухого вещества пищи. Рекомендации по потреблению микроэлементов для взрослых даны Германским обществом питания (Anonimois, 2000). Допустимые суточные дозы 7 эссенциальных микроэлементов также представлены в таблице 20. Опасность интоксикации пищей и напитками в Германии наивысшая в отношении меди, железа и никеля, и несколько ниже для йода и селена.

К наиболее важным заболеваниям относится «болезнь индийских детей». Это заболевание – хроническая интоксикация медью искусственно вскармливаемых детей в сельских районах с «современными»

Таблица 18. Потребление, выведение, совокупное усвоение и баланс меди у мужчин и женщин

Параметры		Женщины						Мужчины	
		Кормящие	Кормящие	Молодые	Молодые	Сд	В	Сд	В
Потребление	мкг/день	1459	1895	1132	1571	1058	1588	1124	2052
Выведение	молоко, мкг/день	601	559	-	-	-	-	-	-
	моча, мкг/день	58	65	48	62	45	42	40	36
	кал, мкг/день	718	1558	934	1238	938	1533	1080	1993
	Молоко, %	44	26	-	-	-	-	-	-
	моча, %	4	3	5	5	5	3	4	2
	кал, %	52	71	95	95	95	97	96	98
Совокупное усвоение, %		-	51	18	17	21	11	3,5	3,9
Баланс	мкг/день	+82	-287	+198	+271	+120	+13	+4	+55
	%	+5,6	-15	+13	+17	+11	+0,8	+0,4	2,7

Таблица 19. Потребление марганца, никеля и молибдена женщинами и мужчинами Германии при различных типах диет

Параметры	Диета	Женщины		Мужчины		p	%
		s	x	x	s		
Марганец, мг/день	Смешанная	1,2	2,4	2,7	1,2	<0,001	112
	Вегетарианская	2,1	5,5	5,9	3,9	<0,001	107
p		<0,001		<0,001		-	
Никель, мкг/день	Смешанная	61	90	97	91	<0,05	108
	Вегетарианская	122	185	195	154	>0,05	105
p		<0,001		<0,001		-	
Молибден, мкг/день	Смешанная	98	89	100	66	<0,001	112
	Вегетарианская	131	179	170	92	>0,05	95
P		<0,001		<0,001		-	

Таблица 20. Нормальная потребность, рекомендации (Rec) и допустимые суточные дозы (TDI) для микроэлементов

Элемент	Нормальная потребность				Rec	TDI
	Женщины мг/день	Мужчины мг/день	мкг/кг веса тела	мкг/кг СВ пищи	- мг/день	мкг/кг веса тела
Железо	7,0	6,0	0,100	20	10	700
Цинк	< 6,0	< 8,0	0,090	20	10	600
Марганец	< 1,0	< 1,0	0,015	3,0	2-5	неизвестно
Медь	0,700	0,800	0,012	2,2	1,0-1,5	175
Молибден	0,025	0,025	0,0004	0,09	0,05-0,1	150
Никель	0,025	0,035	0,0005	0,09	0,050	8
Йод	0,065	0,075	0,001	0,22	0,200	7
Селен	0,020	0,025	0,0004	0,070	0,03-0,05	6

медными трубами, кислой питьевой водой и “медь-содержащими” технологиями подогрева воды, которые обогащают воду, используемую для приготовления молочных смесей на 1000-10000 мкг Cu/л вместо ~10-15 мкг Cu/л (Seffner et al., 1992; Anke, 2004c).

Вторичный дефицит, вызванный антагонистами, особенно вероятен в случае меди, цинка и железа. Вторичный дефицит железа может быть вызван высоким потреблением свинца, цинка, фитата, кадмия и алюминия; вторичный дефицит цинка – кальцием, медью, кадмием, алюминием, никелем, фитатом; вторичный дефицит меди – молибденом, кадмием и цинком. Опасность вторичных дефицитов цинка, меди и железа гораздо выше, чем первичный дефицит этих микроэлементов.

Потребление микроэлементов с растительной пищей, животной пищей и напитками элемент-специфично (табл. 21). Приблизительно три четверти йода

и селена получают с пищей животного происхождения, в то время как таким же образом получают только 21% меди и 5% марганца. В пище растительного происхождения содержится 70% потребляемого молибдена, 55% потребляемой меди и 68% потребляемого марганца. Приблизительно четверть потребляемого никеля, меди и марганца содержится в напитках (Anke, 2004c).

Потребление микроэлементов человеком оценивается методом дубликатов и вычисляется методом корзины. Вычисляемое потребление микроэлементов превышает его истинное значение (табл. 22).

Превышение в оценке потребления микроэлементов при вычислении варьируется от 13% в случае меди до 50-70% в случае железа, молибдена, селена и никеля. Потребление микроэлементов необходимо не вычислять, а измерять. Вычисление становится причиной завышенных требований и рекомендаций

Таблица 21. Потребление неорганических компонентов из животной, растительной пищи и напитков у людей на смешанной диете в процентах

Элемент	Пища животного происхождения	Пища растительного происхождения	Напитки
Йод	74	16	10
Селен	72	26	2
Цинк	62	33	5
Железо	40	56	4
Никель	24	49	27
Молибден	22	70	8
Медь	21	55	24
Марганец	5	68	17

Таблица 22. Потребление микроэлементов взрослыми людьми на смешанной диете, определённое методом дубликатов и вычисленное методом корзины

Элемент	Женщины		Мужчины		%
	Дубликаты	Корзина	Дубликаты	Корзина	
Си, мг/день	1,1	1,2	1,2	1,4	113
Мп, мг/день	2,4	3,1	2,7	3,9	137
І, мкг/день	51	57	57	83	130
Зп, мг/день	7,5	10,6	9,7	13,4	140
Fe, мг/день	9,5	17,8	12,0	18,1	167
Мо, мкг/день	69	102	81	125	151
Se, мкг/день	24,8	36,6	31,0	50,6	157
Ni, мкг/день	90	135	97	169	163

по потреблению микроэлементов.

Литература

- Anke M. 2001. Eisen. In: Erbersdobler HF, Meyer AH. eds. Praxishandbuch Functional Food, 4. Akt Lfg. Behr's Verlag. Hamburg. P.1-25.
- Anke M. 2004a. Transfer of macro, trace and ultratrace elements in the food chain. // Merian, E., Anke, M., Ihnat, M. and Stoeppler, M. (eds). Elements and their Compounds in the Environment. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co KGaA. P.101-126.
- Anke M. 2004b. Essential and toxic effects of macro, trace and ultratrace elements in the nutrition of animals. // Merian, E., Anke, M., Ihnat, M. and Stoeppler, M. (eds). Elements and their Compounds in the Environment. Wiley - VCH Verlag GmbH and Co. KGaA. P.305 - 341.
- Anke M. 2004c. Essential and toxic effects of macro, trace and ultratrace elements in the nutrition of animals. // Merian, E., Anke, M., Ihnat, M. and Stoeppler, M. (eds). Elements and their Compounds in the Environment. Wiley - VCH Verlag GmbH and Co. KGaA. P.343 - 367.
- Anke M. 2004d. Iodine. // Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppler, M. (eds) Elements and their Compounds in the Environment, Vol.3. Willey-VCH Verlag GmbH, KGaA, P.1457-1495.
- Anke M., Dorn W., Müller W., Röhrig B., Gleit M., Gonzales D., Arnhold W., Illing-Günther H., Wolf S., Holzinger S., Jaritz M. 1997a. Der Chromtransfer in der Nahrungskette. 4. Mitteilung: Der Chromverzehr Erwachsener in Abhängigkeit von Zeit, Geschlecht, Alter, Körpermasse, Jahreszeit, Lebensraum und Leistung. Mengen- und Spurenelemente 17. P.912-927.
- Anke M., Drobner C., Angelow L., Schäfer U., Müller R. 2003. Die biologische Bedeutung des Selen - Selenverzehr, Selenbilanz und Selenbedarf der Mischköstler und Vegetarier. // Schmitt Y (ed). Ernährung und Selbstmedikation mit Spurenelementen. Wiss. Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart. P.1-17.
- Anke M., Drobner C., Röhrig B., Schäfer U., Müller R. 2002. Der Selenbestand der Flora und der Selengehalt pflanzlicher und tierischer Lebensmittel Deutschlands. // Ernährungsforschung, Vol. 47. P.67-79.
- Anke M., Gleit M., Winnefeld K., Arnhold W., Vormann J., Röhrig B., Jaritz M., Holzinger S., Latunde-Dada O., Hartmann E. 1999b. Supplementierung und Therapie mit Zink. // Meißner, D. (ed) Schriftenreihe der Gesellschaft für Mineralstoffe und Spurenelemente. V.13. Jahrestagung in Dresden. Wiss. Verlagsgesellschaft mbH, P.98-109.
- Anke M., Gleit M., Müller R., Dorn W., Vormann J., Anke S. 2000. Macro trace and ultratrace element intake of adults in Europe: problems and dangers? // Journal of Commodity science. Vol.39. P.119-139.
- Anke M., Gleit M., Rother C., Vormann J., Schäfer U., Röhrig B., Drobner C., Scholz E., Hartmann E., Möller E., Sülzle A. 2000. Die Versorgung Erwachsener Deutschlands mit Iod, Selen, Zink bzw. Vanadium und mögliche Interaktionen dieser Elemente mit dem Iodstoffwechsel. // Bauch K (ed) 3. Interdisziplinäres Iodsymposium, Aktuelle Aspekte des Iodmangels und Iodüberschusses, Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin-Wien-Oxford-Edinburgh-London-Kopenhagen-Melbourne-Tokio. P.147 - 175.
- Anke M., Müller R., Dorn W., Gleit M., Schäfer U., Schubert R., Lösch E., Hartmann E. 1999. Die Mengen-, Spuren- und Ultrapurenelementversorgung bzw. belastung des Menschen. Gibt es Probleme in Europa? Konferencijos „Aktualūs medžiagų apykaitos klausimai“ medžiaga, Vilnius 1999 m. gegužės 25-27 d., P.17-28.
- Anke M., Seifert M. 2004. Titanium. // Elements and their Compounds in the Environment, edited by Merian E., Anke M., Ihnat M., Stoeppler M. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. P.1125-1140.
- Anke M., Groppe B., Bauch K. 1993. Iodine in the Food chain. // F. Delange, J.T. Dunn, D. Glinioer (eds.) Iodine Deficiency in Europe. A Continuing Concern. Plenum Press New York, London, P.151 - 158.
- Anke M., Röhrig B., Müller R., Schäfer U. 2004. The biological and toxicological importance of copper in the environment and the nutrition of plants, animals and man.
- Anke M., Gleit W., Dorn M., Müller M., Jaritz M. 1999b. Trace element intake in balance of adults in Central Europe. // A. Favier (ed) Trace Elements in Man and Animal, TEMA 10, Evian. P.33.
- Anonymous. 1994. World Health Organization. Indicators for Assessing Iodine Deficiency Disorders and their Control through Salt Iodization. Geneva: WHO/UNICEF/ICCIDD.
- Anonymous. 1996. World Health Organisation Geneva, Trace Elements in Human Nutrition and Health.
- Anonymous. 2000. Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Umschau/Braus GmbH, Frankfurt/Main.
- Arthur J.R., Nicol F., Beckett G.J. 1990. Hepatic iodothyronine 5' deiodinase: the role of selenium. // Biochem. J. No.272 P.537-540.
- Bauch K. 1985. Aktuelle interdisziplinäre Probleme des Jodmangels und der Jodprophylaxe. Berlin Chemie.
- Behne D., Kyriakopoulos A., Meinhold H., Köhrle J. 1990.

- Identification of type I iodothyronine 5'-deiodinase as a selenoenzyme. // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* No.173. P.1143-1149.
- Bühling K.J., Schaff J., Bertram H., Hansen R., Müller C., Wäscher C., Heinze T., Dudenhausen J.W. 2003. Jodversorgung in der Schwangerschaft – eine aktuelle Bestandsaufnahme in Berlin. // *Z. Geburtsh. Neonatol.* No.207. P.12-16.
- Dongxu M. 1990. Advances in the pathology of KBD and its relationship with selenium and other elements. // *Proc. International Workshop on KBD and non-communicable diseases, WHO.* P.42-55.
- Drobner C., Röhrig B., Anke M., Thomas G. 1997. Selenium intake of adults in Germany depending on sex, time, living area and type of diet. // Fischer MR et al. (eds) *Trace elements in man and animals.* NRC Research Press. P.158-159.
- Drobner C. 1997. Die Selenversorgung Erwachsener Deutschlands. Diss. Friedrich-Schiller-Universität Jena, Biol.- Pharmaz. Fakultät.
- Flohé L. 1989. The selenoprotein glutathione peroxidase. // Dolphin D., Poulson R., Avramovic O., eds. *Glutathione: Chemical, biochemical and medical aspects-Part A.* J. Wiley & sons. P.643-731.
- Gonzales D., Ramirez A., Perez E., Schäfer U., Anke M. 1999. Der Iodverzehr erwachsener Mischköstler Mexikos. *Mengen- und Spurenelemente* 19. P.85-94.
- Goyer R.A. 1994. Toxic effects of metals. // Casarett J., Klaasen C.D., Amdur M.O., Duoll J. (eds.) *Casarett and Doull's Toxicology: The basic Science of Poisons.* Nc Graw-Hill Companies Inc. 5th ed. P.715-716.
- Groppel B., Köhler B., Scholz E. 1989. Methodik der Jodanalyse. // Bauch K. (eds.) 2. Symposium, interdisziplinäre Probleme des Iodmangels, der Iodprophylaxe, des Iodexzesses und antithyreoidaler Substanzen, Berlin Chemie. P.69-73.
- Groppel B. 1986. Iodmangelerscheinungen, Iodversorgung und Iodstatus des Wiederkäuers (Rind, Schaf, Ziege), Habilitationsschrift, Universität Leipzig, Sektion Tierproduktion und Veterinärmedizin, Deutschland.
- Harris E.D. 1997. Copper. // O'Dell B.L., Sunde R. (eds.) *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements.* Marcel Dekker Inc. P.231-273.
- Kroupova V., Travnicek J., Kursá J. 1996. Der Iodgehalt in der Milch und im Harn beim Rind: Mengen- und Spurenelemente 16. P.365-368.
- Kumpulainen J., Tahvonen R. 1990. Characterization of a total diet reference material (ARC/CL HDP) for contents of essential and toxic elements. // *Fresenius. J. Anal. Chem.* No.338. P.461-465.
- Kursá J., Travnicek J., Rambeck W.A., Kroupova V., Vitovec J. 2000. Goitrogenic effects of extracted rapeseed meal and nitrates in sheep and their progeny. // *Vet.Med.* No.45. P.129-140.
- Langer P. 1993. Discussion to Iodine in the food chain. // Delange et. al. (eds.) *Iodine Deficiency in Europe.* Plenum Press: New York. 158 p.
- Momčilović B. 2004. Copper. // Merian E., Anke M., Ihnat M. and Stoeppler M. (eds). *Elements and their Compounds in the Environment.* Wiley-VCH Verlag GmbH and Co KGaA., P.731-750.
- Oberleas D., Harland B.F., Boblilya D.J. 1999. *Minerals, Nutrition and Metabolism.* Vantage Press: New York. P.162-167.
- Parr R.M., Crawley H., Abdulla M., Iyengar G.V., Kumpulainen J. 1992. Human dietary intakes of trace elements: a global literature survey mainly for the period 1970-1991: International Atomic Energy Agency Vienna, Austria.
- Peganova S., Eder K. 2004. Zinc. // Merian E., Anke M., Ihnat M. and Stoeppler M. (eds). *Elements and their Compounds in the Environment.* Wiley-VCH Verlag GmbH and Co KGaA. P.1203-1239.
- Peng X., Lingxia Z., Schrauzer G.N., Xiong G. 2000. Selenium, boron and germanium deficiency in the etiology of Kashin-Beck disease. // *Biol. Trace El. Res.* No.77. P.193-197.
- Röhrig B., Anke M., Drobner C., Jaritz M., Holzinger S. 1998. Zinc intake of German adults with mixed and vegetarian diets. // *Trace Elements and Electrolytes.* Vol. 15 No. 2 P.81-86.
- Rother C. 1997. Iodversorgung und Iodstatus Erwachsener in Abhängigkeit von Geschlecht, Zeit, Lebensraum, Jahreszeit, Kostform, Stillperiode, Körpergewicht, Alter und eingesetzter Iodverbindung. Thesis, Biological and Pharmaceutical Faculty, Friedrich Schiller University Jena, Germany.
- Schäfer M. 2004. Manganese. // Merian E., Anke M., Ihnat M. and Stoeppler M. (eds). *Elements and their Compounds in the Environment.* Wiley-VCH Verlag GmbH and Co KGaA. P.901-930.
- Schrauzer G.N. 2004. Selenium. // *Elements and their Compounds in the Environment,* edited by Merian E., Anke M., Ihnat M., Stoeppler M. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. P.1365-1406.
- Schumann K., Elsenhans B. 2004. Iron. // *Elements and their Compounds in the Environment.* edited by Merian E., Anke M., Ihnat M., Stoeppler M. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. P.811-824.
- Seffner W., Schiller F., Lippold U., Heinze R., Dieter H. 1992. Eignet sich das Meerschweinchen als Modelltier für die frühkindliche Leberzirrhose (chronische Kupferintoxikation). *Mengen- und Spurenelemente* 12. P.89-93.
- Thiel C., Heinemann L., Do Minh Thai 1996. Die Ernährungssituation der Erwachsenen Bevölkerung nach der Wende in den neuen Bundesländern. // *Ernährungsforschung* Vol.41. P.239-248.