

Химические элементы в организме человека

Введение

Многим химикам известны крылатые слова, сказанные в 40-х годах текущего столетия немецкими учеными Вальтером и Идой Ноддак, что в каждом булыжнике на мостовой присутствуют все элементы Периодической системы. Вначале эти слова были встречены далеко не с единодушным одобрением. Однако, по мере того как разрабатывались всё более точные методы аналитического определения химических элементов, учёные всё

больше убеждал

ись в справе дливости этих слов.

Если согласится с тем, что в каждом булыжнике содержатся все элементы, то это должно быть справедливо и для

Химический элемент	Суточное поступление, мг	
	взрослые	дети
K	2000-5500	530
Na	1100-3300	260
Ca	800-1200	420
Mg	300-400	60
Zn	15	5
Fe	10-15	7,0
Mn	2,0-5,0	1,3
Cu	1,5-3,0	1,0
Mo	0,075-0,250	0,06
Cr	0,05-0,2	0,04
Co	Около 0,2 (витамин B ₁₂)	0,001
Cl	3200	470
PO ₄ ³⁻	800-1200	210
SO ₄ ²⁻	10	—
I	0,15	0,07
Se	0,05-0,07	—
F	1,5-4,0	0,6

живого организма. Все живые организмы на Земле, в том числе и человек, находятся в тесном контакте с окружающей средой. Жизнь требует постоянного обмена веществ в организме. Поступлению в организм химических элементов способствуют питание и потребляемая вода. В соответствии с рекомендацией диетологической комиссии Национальной академии США ежедневное поступление химических элементов с пищей должно находиться на определённом уровне (табл. 1). Столько же химических элементов должно ежедневно выводиться из организма, поскольку их содержания находятся в относительном постоянстве.

Предположения некоторых учёных идут дальше. Они считают, что в живом организме не только присутствуют все химические элементы, но каждый из них выполняет определённую биологическую функцию. Вполне возможно, что эта гипотеза не подтвердится. Однако, по мере того как развиваются исследования в данном направлении, выявляется биологическая роль всё большего числа химических элементов.

Организм человека состоит на 60% из воды, 34% приходится на органические вещества и 6% — на неорганические. Основными компонентами органических веществ являются

углерод, водород, кислород, в их состав входят также азот, фосфор и сера. В неорганических веществах организма человека обязательно присутствуют 22 химических элемента: Ca, P, O, Na, Mg, S, B, Cl, K, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cr, Si, I, F, Se. Например, если вес человека составляет 70 кг, то в нём содержится (в граммах): кальция — 1700, калия — 250, натрия — 70, магния — 42, железа — 5, цинка — 3. Учёные договорились, что если массовая доля элемента в организме превышает $10^{-2}\%$, то его следует считать макроэлементом. Доля микроэлементов в организме составляет $10^{-3} - 10^{-5}\%$. Если содержание элемента ниже $10^{-5}\%$, его считают ультрамикроэлементом. Конечно, такая градация условна. По ней магний попадает в промежуточную область между макро- и микроэлементами.

Жизненно необходимые элементы

Несомненно, время внесёт коррективы в современные представления о числе и биологической роли определённых химических элементов в организме человека. В данной статье мы будем исходить из того, что уже достоверно известно. Роль макроэлементов, входящих в состав неорганических веществ, очевидна. Например, основное количество кальция и фосфора входит в кости (гидроксифосфат кальция $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{22}$), а хлор в виде соляной кислоты содержится в желудочном соке.

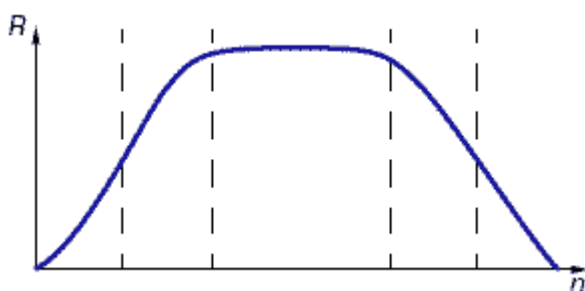


Рис. 1. Зависимость ответной реакции (R) от дозы (n) для жизненно необходимых элементов.

Микроэлементы вошли в отмеченный выше ряд 22 элементов, обязательно присутствующих в организме человека. Заметим, что большинство из них — металлы, а из металлов больше половины являются d-элементами. Последние в организме образуют координационные соединения со сложными органическими молекулами. Так, установлено, что многие биологические катализаторы — ферменты содержат ионы переходных металлов (d-элементов). Например, известно, что марганец входит в состав 12 различных

ферментов, железо — в 70, медь — в 30, а цинк — более чем в 100. Микроэлементы называют жизненно необходимыми, если при их отсутствии или недостатке нарушается нормальная жизнедеятельность организма. Характерным признаком необходимого элемента является колоколообразный вид кривой доза (n) — ответная реакция (R , эффект) (**рис. 1**).

При малом поступлении данного элемента организму наносится существенный ущерб. Он функционирует на грани выживания. В основном это объясняется снижением активности ферментов, в состав которых входит данный элемент. При повышении дозы элемента ответная реакция возрастает и достигает нормы (плато). При дальнейшем увеличении дозы проявляется токсическое действие избытка данного элемента, в результате чего не исключается и летальный исход. Кривую на **рис. 1** можно трактовать так: всё должно быть в меру и очень мало и очень много вредно. Например, недостаток в организме железа приводит к анемии, так как оно входит в состав гемоглобина крови, а точнее, его составной части — гема. У взрослого человека в крови содержится около 2,6 г железа. В процессе жизнедеятельности в организме происходят постоянный распад и синтез гемоглобина. Для восполнения железа, потерянного с распадом гемоглобина, человеку необходимо суточное поступление в организм с пищей в среднем около 12 мг этого элемента. Связь анемии с недостатком железа была известна врачам давно, так как

ещё в XVII веке в некоторых европейских странах при малокровии прописывали настой железных опилок в красном вине. Однако избыток железа в организме тоже вреден. С ним связан сидероз глаз и лёгких — заболевания, вызываемые отложением соединений железа в тканях этих органов. Главный регулятор содержания железа в крови — печень.

Недостаток в организме меди приводит к деструкции кровеносных сосудов, патологическому росту костей, дефектам в соединительных тканях. Кроме того, считают, что дефицит меди служит одной из причин раковых заболеваний. В некоторых случаях поражение лёгких раком у людей пожилого возраста врачи связывают с возрастным снижением содержания меди в организме. Однако избыток меди в организме приводит к нарушению психики и параличу некоторых органов (болезнь Вильсона). Человеку причиняют вред лишь относительно большие количества соединений меди. В малых дозах их используют в медицине как вяжущее и бактериостатное (задерживающее рост и размножение бактерий) средство. Так, например, сульфат меди (II) применяют при лечении конъюнктивитов в виде глазных капель (25%-ный раствор), а также для прижиганий при трахоме в виде глазных карандашей (сплав сульфата меди(II), нитрата калия, квасцов и камфоры). При ожогах кожи фосфором проводят её обильное

Таблица 2. Характерные симптомы дефицита химических элементов в организме человека

Дефицит элемента	Типичный симптом
Ca	Замедление роста скелета
Mg	Мускульные судороги
Fe	Анемия, нарушение иммунной системы
Zn	Повреждение кожи, замедление роста, замедление сексуального созревания
Cu	Слабость артерий, нарушение деятельности печени, вторичная анемия
Mn	Бесплодность, ухудшение роста скелета
Mo	Замедление клеточного роста, склонность к кариесу
Co	Злокачественная анемия
Ni	Учащение депрессий, дерматиты
Cr	Симптомы диабета
Si	Нарушение роста скелета
F	Кариес зубов
I	Нарушение работы щитовидной железы, замедление метаболизма
Se	Мускульная (в частности, сердечная) слабость

смачивание 5%-ным раствором сульфата меди (II).

Жизненно необходимые элементы натрия и калий функционируют в паре. Надёжно установлено, что всем живым организмам присуще явление ионной асимметрии — неравномерное распределение ионов внутри и вне клетки. Например, внутри клеток мышечных волокон, сердца, печени, почек имеется повышенное содержание ионов калия по сравнению с внеклеточным. Концентрация ионов натрия, наоборот, выше вне клетки, чем внутри её. Наличие градиента концентраций калия и натрия — экспериментально установленный факт. Теперь исследователей волнует вопрос о природе калий-натриевого

насоса и его функционировании (см. статьи В.А. Опритова Электричество в жизни животных и растений: Соросовский Образовательный Журнал.1996. № 9. С. 40–46; В.Ф. Антонова Биофизика мембран: Там же. 1997. № 6. С. 14–20). Интересно, что по мере старения организма градиент концентраций ионов калия и натрия на границе клеток падает. При наступлении смерти концентрации калия и натрия внутри и вне клетки сразу же выравниваются.

Биологическая функция других щелочных металлов в здоровом организме пока неясна. Однако имеются указания, что введением в организм ионов лития удаётся лечить одну из форм маниакально-депрессивного психоза. Приведём **табл. 2**, из которой видна важная роль других жизненно необходимых элементов.

Примесные элементы

Имеется большое число химических элементов, особенно среди тяжёлых, являющихся ядами для живых организмов, — они оказывают неблагоприятное биологическое воздействие. В **табл. 3** приведены эти элементы в соответствии с Периодической системой Д.И. Менделеева.

Таблица 3. Расположение токсических элементов в периодах и группах системы Д.И. Менделеева							
Период	Группа						
	VIII	I	II	III	IV	V	VI
II	—	—	Be	—	—	—	—
IV	Ni			—	—	As	Se
V	Pd	Ag	Cd	—		Sb	Te
VI	Pt	Au	Ba Hg	Tl	Pb	Bi	—

За исключением бериллия и бария, эти элементы образуют прочные сульфидные соединения. Существует мнение, что причина действия ядов связана с блокированием определённых функциональных групп (в частности, сульфгидрильных) протеина или же с вытеснением из некоторых ферментов ионов металлов, например меди и цинка. Элементы, представленные в **табл. 3**, называют примесными. Их диаграмма доза — эффект имеет другую форму по сравнению с жизненно необходимыми (**рис. 2**). До определённого содержания этих элементов организм не испытывает вредного воздействия, но при значительном увеличении концентрации они становятся ядовитыми.

Встречаются элементы, которые в относительно больших количествах являются ядами, а в низких концентрациях оказывают полезное влияние. Например, мышьяк — сильный яд, нарушающий сердечно-сосудистую систему и поражающий почки и печень, в небольших дозах полезен, и врачи прописывают его для улучшения аппетита. Кислород, необходимый человеку для дыхания, в высокой концентрации (особенно под давлением) оказывает ядовитое действие.

Из этих примеров видно, что концентрация элемента в организме играет весьма существенную, а порой и катастрофическую роль. Среди примесных элементов имеются и такие, которые в малых дозах обладают эффективными лечебными свойствами. Так, давно было замечено бактерицидное (вызывающее гибель различных бактерий) свойство серебра и его солей. Например, в медицине раствор коллоидного серебра (колларгол) применяют для промывания гнойных ран, мочевого пузыря, при хронических циститах и уретитах, а также в виде глазных капель при гнойных конъюнктивитах и бленнорее.

Карандаши из нитрата серебра применяют для прижигания бородавок, грануляций. В разбавленных растворах (0,1–0,25%) нитрат серебра используют как вяжущее и противомикробное средство для примочек, а также в качестве глазных капель. Учёные считают, что прижигающее действие нитрата серебра связано с его взаимодействием с белками тканей, что приводит к образованию белковых солей серебра — альбуминатов. Серебро пока не относят к жизненно необходимым элементам, однако уже экспериментально установлено его повышенное содержание в мозгу человека, в железах внутренней секреции, печени. В организм серебро поступает с растительной пищей, например с огурцами и капустой.

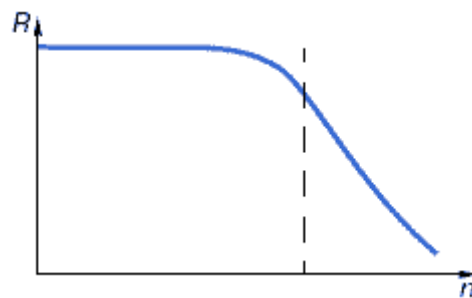


Рис. 2. Зависимость ответной реакции (R) от дозы (n) для примесных химических элементов.

В табл. 4 приведена Периодическая система, в которой охарактеризована биоактивность отдельных элементов [1]. Оценка основана на проявлении симптомов дефицита или избытка определённого элемента. Она учитывает следующие симптомы (в порядке возрастания эффекта): 1 — снижение аппетита; 2 — потребность в изменении диеты; 3 — значительные изменения состава тканей; 4 — повышенная повреждаемость одной или нескольких биохимических систем, проявляющаяся в специальных условиях; 5 — недееспособность этих систем в специальных условиях; 6 — субклинические признаки недееспособности; 7 — клинические симптомы недееспособности и повышенная повреждаемость; 8 — заторможенный рост; 9 — отсутствие репродуктивной функции. Крайней формой проявления дефицита или избытка элемента в организме является смертельный исход. Оценка биоактивности элемента сделана по девятибальной шкале в зависимости от характера симптома, для которого выявлена специфичность.

При такой оценке наиболее высоким баллом характеризуются жизненно необходимые элементы.

Таблица 4. Суточное поступление химических элементов в организм человека																	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
A	A	B	B	B	B	B				B	B	A	A	A	A	A	IA
H 9																	He
L i 4	B e											B 9	C 9	N 9	O 9	F 6	Ne
N	M											Al	Si	P	S	Cl	Ar

a 9	g 9												7	9	9	9	
K 9	C a 9	Sc 3	Ti 1	V 8	Cr 8	Mn 9	Fe 9	Co 9	Ni 8	Cu 9	Zn 9	Ga 1	Ge 1	As 2	Se 8	Br	Kr
R b 2	Sr 5	Y 1	Zr	Nb 3	Mo 9	Te	Ru	Rh	Pd	Ag 1	Cd 1	In	Sn 6	Sb 1	Te	I 9	Xe
C s	Ba 2	La 3	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au 1	Hg 1	Tl 1	Pb 1	Bi	Po	At	Rn
F r	Ra	Ac															
				Ce 1	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy 1	Ho 1	Er	Tm	Yb	Lu
				Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lo

Заклучение

Выявление биологической роли отдельных химических элементов в функционировании живых организмов (человека, животных, растений) — важная и увлекательная задача. Минеральные вещества, как и витамины, часто действуют как коферменты при катализе химических реакций, происходящих всё время в организме.

Усилия специалистов направлены на раскрытие механизмов проявления биоактивности отдельных элементов на молекулярном уровне (см. статьи Н.А. Улахновича Комплексы металлов в живых организмах: Соросовский Образовательный Журнал. 1997. № 8. С. 27–32; Д.А. Леменовского Соединения металлов в живой природе: Тамже. № 9. С. 48–53). Нет сомнения, что в живых организмах ионы металлов находятся в основном в виде координационных соединений с биологическими молекулами, которые выполняют роль лигандов. В статье из-за ограниченности объёма приведён материал, относящийся главным образом к организму человека. Выяснение роли металлов в жизнедеятельности растений, несомненно, окажется полезным для сельского хозяйства. Работы в этом направлении широко ведутся в лабораториях различных стран.

Весьма интересен вопрос о принципах отбора природой химических элементов для функционирования живых организмов. Не вызывает сомнения, что их распространённость не является решающим фактором. Здоровый организм сам способен регулировать содержание отдельных элементов. При наличии выбора (пищи и воды) животные инстинктивно могут вносить лепту в это регулирование. Возможности растений в данном процессе ограничены. Сознательное регулирование человеком содержания микроэлементов в почве сельскохозяйственных угодий также одна из важных

задач, стоящих перед исследователями. Знания, полученные учёными в этом направлении, уже оформились в новую отрасль химической науки — бионеорганическую химию. Поэтому уместно напомнить слова выдающегося учёного XIX века А. Ампера: Счастливы те, кто развивает науку в годы, когда она не завершена, но когда в ней уже назрел решительный поворот. Эти слова могут быть особенно полезны тем, кто стоит перед выбором профессии.

Литература

1. *Ершов Ю.А., Плетенёва Т.В.* Механизмы токсического действия неорганических соединений. М.: Медицина, 1989.
2. *Кукушкин Ю.Н.* Соединения высшего порядка. Л.:Химия, 1991.
3. *Кукушкин Ю.Н.* Химия вокруг нас. М.: Высш. шк.,1992.
4. *Лазарев Н.В.* Эволюция фармакологии. Л.: Изд-во Воен.-мед. акад., 1947.
5. Неорганическая биохимия. М.: Мир, 1978. Т. 1, 2 /Под ред. Г. Эйхгорна.
6. Химия окружающей среды / Под ред. Дж.О. Бокриса. М.: Химия, 1982.
7. *Яцимирский К.Б.* Введение в бионеорганическую химию. Киев: Наук. думка, 1973.
8. *Kaim W., Schwederski B.* Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life. Chichester: JohnWile and Sons, 1994. 401 p.