

Э.Я. Журавская, К.П. Куценогий, О.В. Чанкина, Т.И. Савченко,
Н.А. Андрияшина, Л.А. Гырголькау

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

НИИ терапии СО РАМН, Новосибирск
Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск

Рентгенофлюоресцентным методом с применением синхротронного излучения (РФА СИ) исследован многоэлементный состав крови у «условно здоровых» мужчин и женщин г. Новосибирска. У мужчин в возрасте 34-54 лет обнаружен дефицит следующих элементов: калия, германия, селена, рубидия и выявлен избыток свинца, никеля, кобальта, хрома. У женщин в возрасте 30-40 лет обнаружен дефицит химических элементов: калия, кальция, железа, цинка, селена, а избыток тяжелых металлов, ртути и свинца не обнаружено. В подвыборке из открытой популяции мужчин в возрасте 45-69 лет сохраняется дефицит калия, цинка, селена и избыток: титана, хрома, никеля, меди, рубидия, свинца.

Ключевые слова: многоэлементный состав крови, популяция, Новосибирск, РФА СИ

Введение

Параметры в исследованиях о составе человека часто плохо сопоставимы, т.к. неодинаковы по методическому и аппаратно-техническому обеспечению аналитической базы данных, поэтому отличаются большой вариабельностью [1, 2]. В докладе Комитета II, 1959 [3] приводятся данные о содержании 46 естественных элементов, обнаруженных в организме взрослого человека. В то же время величины элементов, определенных для «условного человека» ни в коей мере не отражают популяционные значения, которые большинством исследователей определены как 25-75% или 10-90% значения вариационного ряда, тем более параметры отдельных индивидуумов. На процесс изменения величины влияет множество факторов (технический уровень исследований, объем выборок, экологический статус региона и др.). Многие химические элементы жизненно необходимы для выполнения основных функций человека: репродуктивной (Zn), кроветворения (Fe) и другие. Важно определение наиболее опасных, токсических для человека химических элементов, к таковым относятся, по данным ООН, Hg, Pb, Cd [2], но и другие. Так, в рамках Международной программы химической безопасности ВОЗ [4] опубликованы следующие элементы Hg, Be, Pb, Sn, Mn, As, Ti. Позже к ним добавили ряд других элементов.

Недостаточные сведения о многоэлементном составе человека предполагают дальнейшие исследования на группах людей в разных странах и регионах отдельных государств. Объединение

данных, сопоставимых по методике исследований, критериям отбора обследуемых, статистической обработке данных, позволяет выработать критерии «здоровья» и «патологии».

Целью исследования было: определение 25 химических элементов крови в группах «условно здоровых», а также подвыборке из популяционных исследований в сравнении с известными данными.

Объект и методы исследования

I группа обследованных состояла из «условно здоровых» мужчин в возрасте 34-54 лет, II группа — «условно здоровых» женщин 30-50 лет и подвыборки из популяционной выборки мужчин в возрасте в возрасте 45-69 лет жителей г. Новосибирска. Определение химических элементов проводилось с помощью рентгенофлюоресцентного метода с применением синхротронного излучения 25 химических элементов крови людей, определялись: K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Hg, Pb, Bi, Th, U и S, Cl, La.

Результаты

В группе «условно здоровых» мужчин выявлен дефицит следующих элементов: калия, селена, германия, рубидия, а также избыток свинца, ртути, мышьяка, никеля, кобальта, хрома у единичных индивидуумов (Таблица 1).

Содержание калия у мужчин г. Новосибирска колебалось от 214 до 1313 со средней 889 мкг/мл, что ниже (в 2 раза) приводимых данных (Скальный А.В. — $1622 \pm 1,5$) [5]. Содержание кальция колебалось от 34,6 до 138, со средней геометри-

Таблица 1

Многоэлементный состав крови у мужчин «условно здоровых» г. Новосибирска (n=38)

Элементы	<Xi>	σ	n	Max	Min
K	889	1,57	38	1313	214
Ca	78,5	1,3	36	138	34,6
Ti	2,81	2,24	7	12,2	1,26
Cr	0,81	2,72	6	4,62	0,23
Mn	1,44	3,73	22	13,7	0,26
Fe	467	1,18	38	729	337
Co	1,48	1,54	35	2,63	0,39
Ni	0,18	2,59	6	0,79	0,07
Cu	1,01	1,71	36	4,62	0,2
Zn	7,13	1,3	38	12,4	4,1
Ga	0,09	1,8	20	0,23	0,03
Ge	0,08	2,05	15	0,43	0,02
As	0,15	2,19	17	0,73	0,04
Se	0,09	1,74	32	0,2	0,02
Br	4,42	1,41	38	8,21	2,02
Rb	1,85	1,27	38	3,16	1,15
Sr	0,12	1,84	32	0,47	0,04
Y	0,12	4,63	18	1,75	0,01
Zr	0,03	2,06	21	0,13	0,01
Nb	0,03	1,96	13	0,14	0,01
Mo	0,04	3,23	17	0,51	0,01
Hg	0,07	1,66	24	0,22	0,03
Pb	0,28	2,45	23	1,25	0,05
Bi	0,06	1,62	21	0,16	0,03
Th	0,05	2,39	32	0,39	0,01
U	0,04	1,55	13	0,06	0,01

Примечание. <Xi> — среднее геометрическое значение концентрации, мкг/мл; σ — стандартное отклонение

ческой 78,5 мкг/мл, что ниже данных одних исследователей (Скальный А.В. — 90-100 мг/мл) [5], но близко к данным других исследователей (Эмсли Дж. — 60) [6]. Содержание титана колеблется от 1,26 до 12,2, в среднем 2,81 мкг/мл при нормативах (Эмсли, 1997 г. — 0,054 мкг/мл) [6]. Таким образом, содержание титана у мужчин г. Новосибирска не выходит за пределы нормативов. Ванадия содержится от 0,80 до 14,65, в среднем 4,20 мкг/мл (Эмсли Дж. < 0,1) [6]. Содержание хрома колеблется от 0,23 до 4,62, в среднем 0,81 мкг/мл (Эмсли Дж. 0,006-0,11 [6], Lyengar G.V. — 0,0028-0,0045 [7]), что значительно выше данных других исследователей (в 8 раз). По марганцу у мужчин г.Новосибирска значения колебались от 0,26 до 13,7 мкг/мл, со средней геометрической 1,44, по Lyengar G.V. et al. эти значения меньше от 0,2 до 4,4 [8], а у Betrama Н.Р. от 0,1 до 2,0 [9]; Bratter P. — от 7 до 10 [10], Эмсли Дж. — от 1,6 до 7,5 [6]. Т.е. у мужчин г. Новосибирска средние значения не выходят за пределы, указываемые другими исследователями [11, 12]. Средняя геометрическая содержания железа у мужчин г. Новосибирска составила 467 с колебаниями от 337 до 729 мкг/мл,

в то время как Эмсли Дж. приводит содержание в 447 [6], Lyengar G.V. et al. — 309-521 [7], т.е. данные по Новосибирску практически совпадают с данными вышеперечисленных исследователей, хотя максимальные величины у мужчин города Новосибирска несколько выше и могут отражать вероятность наличия среди мужчин гетерозигот гена гемохроматоза или заболевания печени. Низкие значения железа в 5 процентильной зоне предполагают вероятность дефицита железа среди мужчин в возрасте 34-54 лет. Соотношение Fe:Mn = 467:1,44=311. Кобальт содержится у мужчин в количествах от 0,39 до 2,63 мкг/мл, в среднем 1,48, что значительно превышает данные других авторов (Эмсли Дж. 0,002-0,04) [6]. Соотношение сопряженных элементов кобальта и никеля 1,5:0,2, в то время как это соотношение по Эмсли Дж. 0,04:0,05, т.е. 1:1 [6], причем обращает внимание однонаправленность изменения их концентрации, а именно увеличение.

Никель — химический элемент, ингибирующий ацетилхолинэстеразу, содержится в количествах от 0,07 до 0,79 мкг/мл, средняя геометрическая 0,18, что в три раза выше, чем данные, приводимые другими авторами: Lyengar G.V. — 0,0045-0,028 [7], Эмсли Дж. — 0,001-0,05 [6] и в 2 раза выше ПДК (0,1).

Медь — селеноантагонист, содержание ее у мужчин г.Новосибирска колеблется от 0,2 до 4,62 мкг/мл, среднее геометрическое значение 1,01, что совпадает с данными других исследователей (Lyengar G.V. — 0,8-1,3 [8], Эмсли Дж. — 1,01 [6], при ПДК менее 0,9). Цинк выявлен у мужчин в количестве от 4,1 до 12,4 мкг/мл, в среднем 7,13 (Lyengar G.V. — 4,4-8,6 [7], Bratter P. — 4-7,5 [10], Эмсли Дж. — 1,01 [6], при ПДК менее 3,3). Наши данные не выше приведенных другими исследователями, но выше ПДК. Соотношение медь:цинк; 1:7=0,14; соотношение медь:цинк:марганец = 1:7 :1,4. Метод РФА СИ позволил определять в крови человека Ga, Ge, Y, Rb, Nb, о роли которых известно мало. Галлий — редкий элемент, содержание его колеблется от 0,03 до 0,23, в среднем 0,09 мкг/мл (Эмсли Дж. — 0,08) [6], что не выходит за рамки нормативов, но у ряда индивидуумов его больше нормы.

Германий также редкий элемент, его содержание было от 0,02 до 0,43, со средней 0,08 мкг/мл (Эмсли Дж — 0,44) [6], что входит в границы нормы. Мышьяк обнаружен только в 17 пробах, что составляет менее 50%, содержался в количествах от 0,04 до 0,73 со средней геометрической 0,15 мкг/мл, что несколько выше данных других исследователей (Lyengar G.V. — 0,002-0,023 [7], Эмсли Дж. — 0,0017-0,09 [6]). Селен у мужчин г. Новосибирска колеблется в пределах от 0,02 до 0,2,

средняя геометрическая составила 0,09 мкг/мл, в то время как Lyengar G.V. приводит значения 0,058-0,234 [7], а Эмсли Дж. 0,171 [6], что дает основание рассматривать наши данные близкими к норме, но клинические данные (по Англии- 0,32, США — 0,26, Канаде — 0,18 и) скорее как дефицит селена. При недостатке селена может обнаруживаться токсичность небольших количеств некоторых металлов.

Бром колебался от 2,02 до 8,21, в среднем 4,42 мкг/мл. Дефицита брома у человека нет, избыток вызывает ринит, бронхит, энтерит, неврологические расстройства [13]. Избыток обнаруживается у 3%, при нормативах до 10 мг/л [5]. Рубидий у мужчин содержится в количествах от 1,15 до 3,16, в среднем 1,85 мкг/мл, что не выше приведенных нормативов (Эмсли Дж. — 2,49) [6].

Стронций колеблется в пределах от 0,04 до 0,47, в среднем 0,12 мкг/мл, что несколько выше приводимых данных (Эмсли Дж. — 0,031) [6], а у некоторых индивидуумов даже на порядок выше. Иттрий содержался в пределах от 0,01 до 1,75, в среднем 0,12 мкг/мл, что значительно выше данных других исследователей (Эмсли Дж. — 0,0047) [6]. Цирконий у мужчин г.Новосибирска был в пределах от 0,01 до 0,13, в среднем 0,03, что также выше приводимых данных (Эмсли Дж. — 0,011) [6]. Ниобий колебался в пределах от 0,01 до 0,14, в среднем 0,03 мкг/мл.

Молибден обнаружен в количестве от 0,01 до 0,51 мкг/мл, средняя геометрическая 0,04 (Эмсли Дж. приводит величины от 0,001 [6], а Lyengar G.V. — 0,0008-0,0033 [7]), что значительно выше и требует дальнейших проверок. Существуют широкие индивидуальные и географические различия в содержании этого элемента, в пределах от 0,33 до 7,2 мкг на 100 мл. Цезий — редкий элемент, колебался в пределах от 0,01 до 0,39, в среднем 0,05 мкг/мл.

Ртуть обнаружена только у 24 человек, что составило 75%, и содержалась в количествах от 0,03 до 0,22, средняя геометрическая 0,07 мкг/мл, что почти равно приводимым данным других исследователей, но превышает допустимые значения у некоторых индивидуумов (Bowen H.J.M 0,0078, от 0,003 до 0,011 [14], Иванов В.В. < 0,0001-0,002 (0,005) [15], Химия, 2000 — 0,0006-0,059 [16]).

Свинец содержался в количествах от 0,05 до 1,25 со средней геометрической равной 0,28 мкг/мл, что слегка превышает цифры, приводимые другими авторами (Эмсли Дж. — 0,21), [6] и выше предельно допустимых у отдельных индивидуумов, что может быть связано с профессиональной деятельностью (вождение автомобиля) или проживанием вблизи напряженных транспортных магистралей, где, как известно, почва загрязнена

на расстоянии до 30 метров от них, в том числе и свинцом. Кроме того, загрязнены вблизи дорог грибы и ягоды. Эти микроэлементы наиболее часто вызывают распространенные гиперэлементозы в промышленных районах России, избыток свинца появляется в результате деятельности промышленных предприятий и автомобильного транспорта [17].

Висмут содержался в количествах от 0,3 до 0,39, в среднем 0,06 мкг/мл, что меньше приводимых данных (Эмсли Дж. — <3 мг/г [6], Bertram H.P. — <3 мг/г [9]).

Уран также относится к редким элементам, радиоактивный, короткоживущий, встречался у мужчин в крайне незначительных количествах: от 0,01 до 0,06, в среднем 0,04 мкг/мл (Эмсли Дж. — 0,0005) [6], однако выше на порядок приводимых данных. В воде урана — 0,05-5 ppm. Учитывая минимальные значения вышеперечисленных элементов, чуть выше предела обнаружения, относиться к полученным данным следует с осторожностью, дополнительно проверяя их в режиме мониторинга. Особое внимание следует обращать на индивидуумов, у которых встречается сочетанное увеличение этих редких элементов, урана и цезия, для выяснения причин этого.

Таким образом, у мужчин «условно здоровых» города Новосибирска в возрасте 34-54 лет выявлен сочетанный дисбаланс химических элементов. Обнаружен дефицит следующих элементов: калия, германия, селена, рубидия. Выявлен избыток следующих элементов: свинца, никеля, кобальта, хрома.

В группе «условно здоровых» женщин (Таблица 2) обнаружен дефицит химических элементов: калия, кальция, железа, цинка, селена, а избытка тяжелых металлов; ртути и свинца не обнаружено. Достоверна разница по полу: у мужчин выше содержание хрома, марганца, железа и меди.

Третья группа обследованных — клиническая группа, подвыборка из популяционных исследований по программе «НАРПЕЕ», которая включает как здоровых, так и больных (открытая популяция), n=50 человек (Таблица 3). Сохраняется однонаправленность с I группой по следующим элементам: Са, Сг (повышение), Си (повышение), Fe (равно), калий (повышен), Mg (равно), Мо (равно), Ni (в пределах ПДК), Pb (повышен), селен (дефицит в обеих группах), Sr (в пределах ПДК), Zn (одинаково повышен в 2 раза).

Полученные данные отражают в том числе и неблагоприятную экологическую обстановку в крупном промышленном городе — Новосибирске [18]. Состояние микроэлементного статуса как в закрытой популяции, так и открытой, отражает дисбаланс химических элементов, в том числе

Таблица 2
Микроэлементы женщин, «здоровые»,
Новосибирск (n=7)

	X	<X>	σ	±m	min	max	n
S	39,43	37,83	10,59	4,01	19,00	49,00	7
Cl	355,57	352,37	51,05	19,29	298,00	413,00	7
K	1223,57	1213,87	162,95	61,59	968,00	1426,00	7
Ca	73,71	69,16	22,87	8,65	27,00	96,00	7
Ti	3,91	3,65	1,46	0,55	1,80	5,80	7
Cr	0,20	0,13	0,19	1,98	0,04	0,51	7
Mn	0,86	0,82	0,28	0,51	0,46	1,26	7
Fe	380,71	379,44	33,31	12,59	326	427,00	7
Co	1,69	1,68	0,20	0,08	1,40	2,00	7
Ni	0,80						1
Cu	2,26	2,04	0,81	0,31	0,59	3,20	7
Zn	6,37	6,24	1,38	0,52	4,38	8,00	7
Ga							
Ge							
As							
Se	0,08	0,07	0,02	0,008	0,05	0,1	6
Br	2,66	1,29	1,89	0,71	0,10	4,80	7
Rb	1,47	1,43	0,31	0,12	0,80	1,70	7
Sr	0,08	0,06	0,05	0,02	0,02	0,14	6
Y	0,23	0,22	0,01	0,005	0,21	0,24	6
Zr	0,03	0,02	0,02	0,009	0,01	0,06	5
Nb							
Mo	0,01	0,01	0,008	0,004	0	0,02	5
Hg							
Pb							
Bi							
Th							
U							

Примечание. X — средняя арифметическая, ±m — ошибка среднеарифметической; <X> — среднее геометрическое значение концентрации, мкг/мл; σ — стандартное отклонение.

токсических элементов — Cr, Cu, Pb и др., что создает неблагоприятный фон для развития сердечно-сосудистых заболеваний, в генезе которых эти элементы играют важную роль, в том числе в формировании дисфункции эндотелия.

Таким образом, в подвыборке из популяции мужчин (где есть больные и здоровые) сохраняется дефицит калия, цинка, селена и избыток титана, хрома, никеля, меди, рубидия, свинца. В первый фактор по значимости входят следующие элементы: калий, медь, цинк, во II фактор — галлий, а в III — рубидий.

Выводы:

1. Элементный состав крови «условно здоровых» мужчин и женщин отличается дисбалансом, у мужчин дефицит калия, селена, цинка, германия, рубидия, у женщин этот дисбаланс сложнее — дефицит калия, кальция, железа, селена, цинка.

2. У мужчин обнаружен избыток свинца, никеля, кобальта, хрома, у женщин в крови тяжелые металлы не обнаружены.

Таблица 3
Микроэлементы мужчин, по программе НАПЕЕ,
Новосибирск (n=50)

	X	<X>	σ	±m	min	max	n
S	36,68	35,78	8,01	1,13	22,00	53,00	50
Cl	290,02	286,83	41,96	5,93	189,00	370,00	50
K	1194,78	1178,84	192,50	27,22	770,00	1594,00	50
Ca	44,78	40,04	23,60	3,34	15,00	135,00	50
Ti	1,73	1,41	1,17	0,17	0,30	6,20	49
Cr	0,14	0,09	0,10	0,02	0,01	0,38	23
Mn	0,58	0,48	0,31	0,04	0,09	1,22	50
Fe	368,58	358,49	92,41	13,07	227,00	727,00	50
Co	1,61	1,55	0,46	0,07	1,00	3,10	50
Ni	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,13	9
Cu	0,70	0,64	0,29	0,04	0,26	1,30	50
Zn	4,23	4,09	1,16	0,16	2,40	8,30	50
Ga							
Ge							
As							
Se	0,07	0,07	0,02	0,003	0,02	0,14	50
Br	3,06	2,95	0,77	0,11	1,40	4,70	50
Rb	1,36	1,32	0,38	0,05	0,78	2,20	50
Sr	0,05	0,03	0,06	0,009	0	0,35	38
Y	0,17	0,06	0,05	0,007	0,07	0,28	50
Zr	0,16	0,03	0,31	0,13	0,01	0,79	6
Nb							
Mo	0,009	0,007	0,009	0,003	0	0,03	8
Hg							
Pb	0,06	0,04	0,09	0,02	0,01	0,51	30
Bi							
Th							
U							
La	2,88	2,77	0,83	0,12	1,70	5,10	50

Примечание. X — средняя арифметическая, ±m — ошибка среднеарифметической; <X> — среднее геометрическое значение концентрации, мкг/мл; σ — стандартное отклонение

3. Средние значения редких химических элементов (галлий, рубидий, иттрий) у мужчин г. Новосибирска существенно не отличаются от данных других регионов страны.

4. Выявленный дисбаланс химических элементов в крови человека свидетельствует о неблагоприятной экологической обстановке в регионе и может отражаться на здоровье населения, поэтому целесообразно проводить мониторинг химических элементов в биологических субстратах.

SOME PARAMETERS OF HEALTH OF THE PERSON (MULTIELEMENT STRUCTURE OF BLOOD)

E.Ya. Zhuravskaya, K.P. Koutzenogii, O.V. Chankina, T.I. Savchenko, N.A. Andryushina, L.A. Gyrgol-kay

Multielement blood composition in “apparently healthy” men and women in Novosibirsk was investigated using SRXRF method. In men 34-54 years of age there was revealed K, Ge, Se, Rb deficiency

and Pb, Ni, Co, Cr were found in surplus. In women 30-50 years of age K, Ca, Fe, Zn, Se deficiency was found, and there was no a surplus of heavy metals, Pb and Hg. Men in subsample aged 45-69 had a deficiency of K, Zn, Se and a surplus of Ti, Cr, Ni, Cu, Rb, Pb.

Литература

1. Человек: медико-биологические данные (доклад рабочей группы Комитета МКРЗ по условному человеку): Пер. с англ. — М., 1977. — 495 с.
2. *Adolph E.F. Ed. Physiology of Man in the Desert.* / E.F. Adolph. — New York: Interscience Pull, 1947.
3. *Altman P.L. (Ed) Blood and other Body Fluids.* / P.L. Altman, D.S. Ditmer // Washington. Fed. Am. Soc. Exp. Biol., 1961.
4. Гигиенические критерии состояния окружающей среды / ВОЗ. — Женева, 1994.
5. *Скальный А.В. Биоэлементы в медицине* / А.В. Скальный, И.А. Рудаков. — М., 2003. — 272 с.
6. *Эмсли Дж. Элементы* / Дж. Эмсли. — М., 1993. — 256 с.
7. *Lyengar G.V. The elements composition of human tissues and body fluids* / G.V. Lyengar, W.E. Kollmer, H.J.M. Bowen. — New-York: Weinheim, 1978.
8. *Lyengar G.V. Trace elements in human Clinical Specimens: Evaluation of Literature Date to identify Reference Values* / G.V. Lyengar, J. Woittiez // Clin. Chem. — 1988. — Vol. 34/3.
9. *Bertram H.P. Spurenelemente: Analytik, okotoxikologische und medizinisch — klinische Bedeutung.* / H.P. Bertram. — Munchen, Wien, Baltimore: Urban und Schwarzenberg, 1992.
10. *Mineralstoffe und Spurenelemente* Hrsbg: Bertelsmann Stiftung / P. Bratter, W. Forth, W. Fresenius et al. — Gutersloh: Verlag Bertelsmann Stiftung, 1992.
11. *Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней* / В.Л. Сусликов // Т.1. Диалектика биосферы и ноосферы. — М. — 1999.
12. *Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней.* — Т. 2. / В.Л. Сусликов. Атомовиты. — М., 2000. — 672 с.
13. *Жаворонков А.А. Проблема микроэлементозов человека* / А.А. Жаворонков, Л.М. Михалева // Материалы 2-й Российской школы «Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы» (Москва, 25-28 января 1999). — М., 1999.
14. *Bowen H.J.M. Trace elements in biochemistry* / H.J.M. Bowen — New-York-London: Academic Press, 1966.
15. *Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник* / В.В. Иванов. — М., 1994.
16. *Химия: Справочное издание: Пер. с нем.* — 2-е изд. / В. Шретер, К.-Х. Лаутеншлегер, Х. Бибрак и др. — М., 2000.
17. *Агаджанян Н.А. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека* / Н.А. Агаджанян, А.В. Скальный. — М., 2001.
18. *Шалмина Г.Г. Безопасность жизнедеятельности* / Г.Г. Шалмина, Я.Б. Новоселов. — Новосибирск, 2002. — 433 с.