

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**О ВЛИЯНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТАКТА С ТОКСИЧНЫМИ
МЕТАЛЛАМИ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОЛОС**

**INFLUENCE OF INDUSTRIAL CONTACT TO TOXIC METALS
ON HAIR MINERAL PROFILE**

Е.В. Лакарова

E. V. Lakarova

ГОУ ВПО Оренбургский государственный университет, Оренбург
Orenburg State University, Orenburg, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: токсичные элементы, скрининг, волосы, элементный анализ

KEY WORDS: toxic metals, medical screening, hair, multielement analysis

РЕЗЮМЕ: Проведено исследование элементного состава волос 263 работников химического предприятия и сопоставление результатов с действием неблагоприятных производственных факторов. Показано, что волосы достоверно отражают повышенную профессиональную нагрузку свинцом, никелем, марганцем, хромом, бериллием и их соединениями. Таким образом, использование волос в качестве биосубстрата для неинвазивного скрининга и мониторинга носительства химических элементов у работников вредных производств представляется адекватным и целесообразным.

ABSTRACT: Hair mineral profile of 263 chemical plant workers was studied in comparison with occupational exposure to toxic metals. It was found that hair reflect the increased professional exposure to lead, nickel, manganese, chrome, beryllium and their compounds. Thus, use of hair as a biological sample for noninvasive screening and monitoring of toxic metal carrying by workers of harmful industries seems adequate and expedient.

ВВЕДЕНИЕ

В России последние десятилетия характеризуются повышенным риском ухудшения состояния здоровья населения. В первую очередь это касается работников промышленных предприятий и жителей индустриальных регионов вследствие высокой степени износа промышленного оборудования и повышенного риска производственных аварий. Сочетание этих факторов с неблагоприятными социально-экономическими условиями жизни и трудовой деятельности, ухудшением питания, социального обеспечения и медицинской помощи населению в депрессивных регионах и так называемых «моногородах», по всей видимости, является одной из важнейших причин ухудшения показателей здоровья, в

том числе высокой смертности среди трудоспособного мужского населения. Хорошо известно, что одним из факторов, снижающих уровень функциональных резервов организма человека, является избыточное накопление токсичных химических элементов, в том числе тяжелых металлов, и дефицит жизненно важных макро- и микроэлементов (Некрасов, Скальный, 2006; Чадова, 2008). При этом нарушается нормальное течение многих биохимических процессов, отрицательно отражающееся на состоянии иммунной, нервной, эндокринной и сердечно-сосудистой систем (Авцын и др., 1991; Кудрин и др., 2000; Оберлис и др., 2008).

Раннее выявление метаболических расстройств и связанных с ними лечебных мероприятий требуют использования в практике различных служб здравоохранения современных, чувствительных и, желательно, нетравматичных методов диагностики. Одним из таких методов является оценка минерального баланса в организме человека путем количественного определения элементного состава различных биосубстратов, отбираемых неинвазивно: волос, ногтей, мочи, слюны и др. Известно, что содержание и соотношение элементов в биосубстратах может служить индикатором состояния минерального гомеостаза. Нарушение метаболизма минеральных элементов является одним из наиболее чувствительных и рано диагностируемых признаков «сбоя» механизмов адаптации. Первоначальное избыточное накопление химических элементов в тканях организма и последующее нарушение обмена химических элементов, вызванное воздействием отдельных или комплекса неблагоприятных факторов, включая воздействие повышенных количеств токсичных химических элементов в производственных условиях, при-

водит к каскаду патологических процессов и возникновению заболеваний (Скальный и др., 2003).

С этой точки зрения носительство токсичных химических элементов является важным патогенетическим фактором снижения функциональных резервов организма и, соответственно, отрицательно влияет на профессиональное долголетие. Кроме того, оно может ухудшать состояние здоровья населения прилегающих территорий.

Согласно данным мировой и отечественной научной литературы (Скальный, 2000; Павловская, 2002; Любченко и др., 1989), уже на стадии изменения элементного состава тканей организма можно проводить скрининговые исследования, которые направлены на раннее выявление и предупреждение развития патологических процессов (стадия метаболической декомпенсации и клинических изменений) и позволяют сформировать группы повышенного риска по контакту с токсичными химическими элементами и их соединениями и снизить риск возникновения профессиональных заболеваний.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения влияния производственного контакта с токсичными металлами на уровне воздействия малой интенсивности было обследовано 263 человека, постоянно работающих на ОАО «Химпром» (г. Новочебоксарск, Республика Чувашия) и проживающих на территории г. Новочебоксарска. Все обследованные были мужчинами; распределение по возрастным интервалам было следующим: от 18 до 34 лет — 76 человек, от 35 до 49 лет — 74 человека, старше 50 лет — 113 человек.

Основную массу из числа обследованных работников ОАО «Химпром» составляли слесари (26,2% контингента), аппаратчики (19,7%), мастера (12,1%), котельщики (7,2%), электрогазосварщики (5,0%), токари (5,4%), гуммировщики (4,6%) и фрезеровщики (2,3%). В основном были обследованы работники из цехов № 21 (46% контингента), № 2 (16%), № 114 (16%) и № 58 (11,8%).

Профессиональная вредность у обследованных была постоянной (79% — рабочие специальности) или периодической (21% — ИТР, вспомогательный персонал). Лица с постоянной профессиональной вредностью рассматривались нами как основная группа, лица с периодической профессиональной вредностью — как группа сравнения. Данные по производственной вредности были получены из индивидуальных профессиональных карт.

В рамках обследования у работников был проведен анализ образцов волос на содержание 25 химических элементов: Al, As, B, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, Zn. Определение проводилось комбинацией методов атомной эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой в лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (Москва).

Математическая обработка полученных данных проводилась при помощи программных пакетов Microsoft Excel XP (Microsoft Corp., США) и

Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США). Парное сравнение групп проводили с использованием t-критерия Стьюдента; множественное сравнение — с применением однофакторного дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее распространенная на ОАО «Химпром» профессиональная вредность по избыточному контакту с химическими элементами и их соединениями — контакт с гидроксидом натрия (21,3% работников), комплексом марганец-никель-хром-бериллий-свинец-цирконий-германий-титан (20,2% работников), натрий-фосфор (8,8% работников), натрий-фосфор-цинк (8,4% работников), свинец (2,3% работников).

В таблице 1 приведены абсолютные значения содержания химических элементов в волосах обследованных.

Как видно из полученных результатов, в волосах лиц, постоянно контактирующих с токсичными химическими элементами и их соединениями, по сравнению с группой сравнения (периодический контакт) достоверно повышено содержание кальция ($p < 0,05$), магния ($p < 0,01$), кобальта ($p < 0,01$), марганца, хрома, меди, лития ($p < 0,05$), а также наблюдается тенденция к повышению содержания натрия, ванадия, железа и снижению — фосфора.

Сравнение содержания химических элементов в волосах в зависимости от работы в различных цехах приведено в таблице 2.

Для цеха № 21, в котором обследовано максимальное количество работников, в волосах максимально для ОАО «Химпром» повышено содержание бериллия, кобальта, хрома, а также выше контроля уровень мышьяка, меди, железа, калия, никеля, фосфора, селена, ванадия. В цехе № 2 ($n = 42$) обнаружено максимальное содержание ванадия, выше контроля — содержание мышьяка, бериллия, кобальта, хрома, меди, железа, калия, никеля, фосфора, селена. В цехе № 114 ($n = 42$) превышения в содержании химических элементов в волосах носят умеренный характер и касаются мышьяка, бериллия, кобальта, хрома, меди, железа, калия, никеля, фосфора, селена и ванадия. Максимально отличаются от среднего уровня по предпритию показатели содержания в волосах мышьяка, меди, железа, калия, никеля, фосфора, селена, в меньшей степени ванадия в цехе № 58. В цехе № 19 элементный состав волос отличается максимальным содержанием ванадия, а также повышенным уровнем мышьяка, бериллия, кобальта, хрома, меди, железа, калия, никеля, фосфора. Данные по цехам № 75 и № 127 не анализировались из-за недостаточного объема выборки.

Следует отметить, что вне зависимости от работы в том или ином цехе предприятия комплекс накапливаемых химических элементов один и тот же, то есть в целом все работники предприятия в большей или меньшей степени подвергаются негативному воздействию комплекса токсичных и условно токсичных химических элементов и испытывают риск техногенного полигиперэлементоза (ванадий, никель, мышьяк, фосфор — все цеха; бе-

*Таблица 1. Содержание химических элементов в волосах работников
ОАО «Химпром» в зависимости от характера вредности (мг/кг)*

Элемент	Периодическая			Постоянная			Отличие (р)
	n	Среднее содержание	Стандартная ошибка	n	Стандартная ошибка	Стандартная ошибка	
Al	56	14,1	1,3	206	14,2	0,5	0,936
As	56	0,0766	0,0067	206	0,0963	0,0062	0,115
B	56	0,811	0,089	206	3,253	2,049	0,536
Be	56	0,0059	0,0005	206	0,0069	0,0003	0,158
Ca	56	537,6	41,5	206	650,0	25,3	0,035*
Cd	56	0,137	0,025	206	0,329	0,085	0,246
Co	56	0,0122	0,0011	206	0,0286	0,0030	0,005*
Cr	56	0,322	0,022	206	0,417	0,020	0,020*
Cu	56	10,1	0,2	206	11,2	0,2	0,023*
Fe	56	21,8	2,1	206	28,6	1,8	0,055
Hg	56	0,526	0,049	206	0,557	0,036	0,670
I	56	0,861	0,126	206	7,663	4,085	0,387
K	56	268,8	66,7	206	366,7	32,1	0,167
Li	56	0,0312	0,0033	206	0,0433	0,0029	0,038*
Mg	56	45,2	3,7	206	62,5	2,9	0,003*
Mn	56	0,714	0,077	206	1,111	0,080	0,013*
Na	56	455,6	98,1	206	684,7	58,1	0,063
Ni	56	0,329	0,046	206	0,398	0,029	0,270
P	56	141,1	2,9	206	148,1	1,9	0,080
Pb	56	1,89	0,33	206	2,55	0,22	0,155
Se	56	0,400	0,026	206	0,446	0,014	0,140
Si	56	30,6	6,7	206	22,5	3,1	0,240
Sn	56	0,129	0,024	206	0,156	0,021	0,544
V	56	0,0552	0,0055	206	0,0682	0,0035	0,079
Zn	56	181,5	8,1	206	176,7	3,4	0,535

Примечание: * различие статистически достоверно.

рилий — №№ 21, 19, 2; кобальт — № 21, хром — №№ 21, 58, 2; медь, железо — № 58; фосфор — №№ 58, 21, 2, 127). Грубые изменения в содержании калия в волосах у работников цеха № 58 отражают, вероятно, риск вторичных изменений в обмене этого важнейшего макроэлемента в результате максимального для предприятия воздействия комплекса неблагоприятных производственных факторов, включая нагрузку в результате контакта с NaOH.

В таблице 3 показано содержание химических элементов в волосах обследованных работников

безотносительно к их цеховой принадлежности, но в зависимости от наличия производственной вредности по соответствующему химическому элементу. Видно, что наличие металлов свинца, марганца, хрома, бериллия в качестве компонентов профессиональной вредности достоверно влияет на накопление их в организме работников ОАО «Химпром». Для никеля это отмечается на уровне тенденции.

В то же время наличие вредности по натрию, фосфору, бору, цинку и кремнию не отражается на

Таблица 2. Содержание химических элементов в волосах у работников ОАО «Химпром» по цехам (мг/кг, М ± m)

Элемент	Цех 2	Цех 19	Цех 21	Цех 58	Цех 75	Цех 114	Цех 127
Al	12,6 ± 1,0	13,3 ± 1,6	14,1 ± 0,7	14,9 ± 1,3	7,8 ± 0	16,1 ± 1,7	14,4 ± 2,7
As	0,074 ± 0,0052	0,0716 ± 0,0101	0,0906 ± 0,0076	0,1439 ± 0,0199*	0,0607 ± 0	0,0882 ± 0,0148	0,104 ± 0,0508
B	10,9 ± 1,0	1,1 ± 0,3	1,4 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,5 ± 0	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,1
Be	0,0056 ± 0,0006	0,007 ± 0,001	0,0089 ± 0,0004*	0,0019 ± 0,0002*	0,0015 ± 0	0,0049 ± 0,0005	0,0045 ± 0,0018
Ca	635,1 ± 61,0	495,2 ± 61,0	619,0 ± 34,7	715,4 ± 45,1	542 ± 0	655,8 ± 52,7	527,8 ± 20,0
Cd	0,217 ± 0,076	0,312 ± 0,12	0,368 ± 0,142	0,298 ± 0,068	0,011 ± 0	0,136 ± 0,018	0,062 ± 0,044
Co	0,0164 ± 0,0016	0,013 ± 0,0017	0,0356 ± 0,0049*	0,0189 ± 0,0026	0,0048 ± 0	0,0147 ± 0,0014	0,0338 ± 0,0244
Cr	0,401 ± 0,025	0,175 ± 0,036*	0,465 ± 0,03	0,462 ± 0,036	0,169 ± 0	0,283 ± 0,021	0,334 ± 0,157
Cu	10,9 ± 0,4	10,5 ± 0,6	10,9 ± 0,3	12,8 ± 0,7	10,0 ± 0	10,4 ± 0,3	10,0 ± 1,0
Fe	20,2 ± 1,7	17,5 ± 2,0	30,0 ± 2,2	34,0 ± 6,9	6,5 ± 0	28,0 ± 3,2	14,3 ± 6,0
Hg	0,575 ± 0,061	0,529 ± 0,079	0,572 ± 0,05	0,553 ± 0,071	0,385 ± 0	0,498 ± 0,081	0,322 ± 0,087
I	3,22 ± 2,02	1,6 ± 0,8	11,16 ± 6,97	1,18 ± 0,54	0,64 ± 0	1,8 ± 0,46	0,93 ± 0,62
K	331,7 ± 69,6	240,1 ± 67,7	319,3 ± 32,3	841,2 ± 144,1*	24,7 ± 0	175,7 ± 52,2	45,5 ± 19,7
Li	0,0319 ± 0,0051	0,0399 ± 0,0055	0,0473 ± 0,0045	0,0298 ± 0,0027	0,0243 ± 0	0,0382 ± 0,0042	0,0531 ± 0,0075
Mg	50,0 ± 5,1	47,5 ± 4,3	67,3 ± 4,3	54,1 ± 4,6	41,3 ± 0	55,0 ± 5,0	41,3 ± 3,8
Mn	0,738 ± 0,111	0,674 ± 0,102	1,23 ± 0,124	1,088 ± 0,145	0,242 ± 0	0,95 ± 0,108	0,489 ± 0,229
Na	514,0 ± 87,3	390,7 ± 106,7	740,5 ± 81,7	860,8 ± 182	26,7 ± 0	499,4 ± 119,1	78,8 ± 24,8
Ni	0,267 ± 0,032	0,451 ± 0,13	0,401 ± 0,041	0,571 ± 0,083	0,113 ± 0	0,296 ± 0,031	0,244 ± 0,115
P	148,3 ± 3,6	127,6 ± 3,4*	150,6 ± 2,4	156,6 ± 6,9	124,7 ± 0	137,1 ± 2,8	148,9 ± 4,6
Pb	1,88 ± 0,38	1,83 ± 0,66	2,95 ± 0,32	2,68 ± 0,53	0,04 ± 0	1,43 ± 0,17	3,9 ± 2,14
Se	0,286 ± 0,034*	0,416 ± 0,022	0,472 ± 0,018	0,595 ± 0,025*	0,221 ± 0	0,371 ± 0,029	0,573 ± 0,086
Si	38,3 ± 10,9	18,5 ± 3,3	18,3 ± 1,6	31,7 ± 15,7	2,3 ± 0	25,6 ± 6,0	23,1 ± 3,7
Sn	0,0957 ± 0,0126	0,141 ± 0,039	0,208 ± 0,036	0,109 ± 0,02	0,02 ± 0	0,078 ± 0,007	0,136 ± 0,049
V	0,0805 ± 0,0043	0,0159 ± 0,0029*	0,074 ± 0,0053	0,0765 ± 0,0048	0,0015 ± 0	0,0475 ± 0,0052	0,0535 ± 0,0425
Zn	181,7 ± 8,8	187,5 ± 8	169,1 ± 4,9	196,5 ± 10,0	189,2 ± 0	178,3 ± 6,6	189,5 ± 9,1

Примечание: * отличие от значений в других цехах статистически достоверно.

Таблица 3. Зависимость содержания химических элементов в волосах работников ОАО «Химпром» от наличия вредности по соответствующему элементу

Элемент	Профессиональный контакт отсутствует		Профессиональный контакт имеет место		Отличие (р)
	n	M ± m (мг/кг)	n	M ± m (мг/кг)	
B	228	2,98 ± 1,85	34	1,04 ± 0,19	0,686
Be	203	0,0058 ± 0,0003	59	0,0096 ± 0,0007	* 0,000
Cr	202	0,369 ± 0,017	60	0,487 ± 0,043	* 0,003
Mn	202	0,934 ± 0,065	60	1,34 ± 0,18	* 0,010
Na	119	609,6 ± 68,1	143	657,6 ± 73,4	0,637
Ni	202	0,360 ± 0,028	60	0,459 ± 0,057	0,101
P	211	147,4 ± 1,7	51	143,5 ± 4,8	0,347
Pb	190	2,09 ± 0,19	72	3,27 ± 0,45	* 0,005
Si	227	25,0 ± 3,2	35	19,4 ± 4,2	0,497
Zn	239	176,8 ± 3,4	23	187,5 ± 8,0	0,341

Примечание: * различие статистически достоверно.

содержании этих химических элементов в волосах. Этот факт очень важен в плане оценки информативности волос в качестве индикаторного биосубстрата при нагрузке различными химическими элементами.

Таким образом, волосы являются биосубстратом, чувствительным к накоплению определенных химических элементов. Они отражают профессиональную нагрузку организма токсичными металлами — свинцом, марганцем, хромом, бериллием, никелем — тяжелыми металлами, тогда как профессиональный контакт с соединениями натрия, фосфора, бора, кремния, относящихся к макроэлементам (натрий, фосфор), неметаллам (кремний, бор), а также металлам, играющим многообразную роль в организме (цинк), не отражается на содержании этих химических элементов в волосах.

Проведенное нами исследование также показало, что умеренная субклиническая нагрузка соединениями химических элементов хорошо детектируется в диагностических биосубстратах современными методами анализа — ИСП-АЭС (макроэлементы и ряд микроэлементов) и ИСП-МС (микро- и ультрамикроэлементы, включая токсичные металлы). При этом обнаруживаются как повышенные уровни используемых на производстве химических элементов, так и дефициты химических элементов, являющихся их функциональными антагонистами (калия, селена, кальция, цинка и др.).

Определение содержания многих химических элементов в волосах, в первую очередь токсичных металлов (марганца, свинца, бериллия, ртути, олова, ванадия), а также натрия, фосфора, мышьяка и йода, скорее всего, отражает их накопление во внутренней среде организма. Поэтому использование волос в качестве биосубстрата для неинвазивного скрининга и мониторинга носительства перечис-

ленных выше химических элементов представляется целесообразным и адекватным.

ЛИТЕРАТУРА

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

Кудрин А.В., Скальный А.В., Жаворонков А.А., Скальная М.Г. Иммунофармакология микроэлементов. М.: КМК, 2000. 456 с.

Любченко П.Н., Ревич Б.А., Левченко И.И. Скрининговые методы для выявления групп повышенного риска среди рабочих, контактирующих с токсичными химическими элементами: Методические рекомендации. М., 1989. 21 с.

Некрасов В.И., Скальный А.В. Элементный статус лиц вредных и опасных профессий. Оренбург: РИК ОГУ, 2006. 230 с.

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

Павловская Н.А., Кирьяков В.А., Савельев С.И. Свинец, ртуть, никель: ранняя диагностика токсического действия на организм. Липецк, 2002. 240 с.

Скальный А.В. Эколого-физиологическое обоснование эффективности использования макро- и микроэлементов при нарушениях гомеостаза у обследуемых из различных климатогеографических регионов. Дисс. докт. мед. наук. М., 2000. 352 с.

Скальный А.В., Быков А.Т., Серебрянский Е.П., Скальная М.Г. Медико-экологическая оценка риска гипермикроэлементозов у населения мегаполиса. Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. 134 с.

Чадова Л.А. Диагностика и восстановительная коррекция элементного статуса сотрудников тепловых электростанций. Автореф. дисс. канд. мед. наук. М., 2008. 24 с.