

УДК 616-07:611.781

## ЗНАЧЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВОЛОС В ДИАГНОСТИКЕ НАРУШЕНИЙ ЭЛЕМЕНТНОГО ГОМЕОСТАЗА И В ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ И ЛЕЧЕБНО-РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

*Нагорная Н.В.<sup>1</sup>, Дубовая А.В.<sup>1</sup>, Гончаренко И.П.<sup>2</sup>, Морозова И.А.<sup>2</sup>,  
Цуркан М.А.<sup>2</sup>, Алфёров В.В.<sup>2</sup>, Пиклун В.Л.<sup>2</sup>*

*Донецкий Национальный медицинский университет им. М. Горького (1)  
Лечебно-диагностический центр «Биотическая медицина», г. Донецк (2)*

**Ключевые слова:** элементный гомеостаз, анализ волос, ICP AES

*«Медик без довольного познания химии совершенен быть не может».*

*М.В. Ломоносов*

Из 92 имеющихся в природе химических элементов 81 присутствует в организме человека [3]. Минеральные вещества входят в состав всех жидкостей и тканей. Регулируя более 50 000 биохимических процессов [4, 6, 18], они необходимы для функционирования мышечной, сердечно-сосудистой, иммунной, нервной и других систем; принимают участие в синтезе жизненно важных соединений, обменных процессах, кроветворении, пищеварении, нейтрализации продуктов обмена; входят в состав ферментов и гормонов, влияют на их активность [14, 19].

Наличие ряда минеральных веществ в организме в строго определенных количествах – неперемное условие для сохранения жизни и здоровья человека. Важно помнить, что макро- и микроэлементы не синтезируются в организме. Они поступают с пищевыми продуктами, водой, воздухом [7, 16]. Степень их усвоения зависит от состояния органов дыхания и пищеварения. Обмен минеральных веществ и воды, в которой они растворены, неразделимы. Элементы способны депонироваться в тканях, а по мере необходимости извлекаться в кровь. Совокупность процессов всасывания, усвоения и выделения веществ, находящихся в организме в виде неорганических соединений составляет минеральный обмен [17].

В организм человека минеральные вещества поступают в основном алиментарным путем в неактивном состоянии и активизируются, образуя различные соединения с высокомолекулярными белками. Содержание минеральных веществ изменяется в зависимости от времени года. Весной уровень макро- и микроэлементов понижается, а в начале осени увеличивается [13]. Считается, что пусковым механизмом уменьшения степени всасывания минеральных веществ в желудочно-кишечном тракте является снижение их концентрации в тканевых депо. Описаны и другие регуляторные процессы, вызванные нарушением соотношения между макро- и микроэлементами или биологическими веществами (гормонами, цитокинами, факторами роста, ферментами) [7, 9, 10]. Путь передачи информации от тканей к клеткам кишечника до конца не изучен. Предполагается, что этот процесс контролируется геном-регулятором и осуществляется низкомолекулярными белками (металлотионеинами) через клетки нервной, иммунной и эндокринной систем [1, 8, 10]. Выведение макро- и микроэлементов из организма осуществляется с мочой, желчью, потом, калом [3].

Организм здорового человека обладает достаточно четкой системой са-

морегуляции. При избыточном поступлении макро- и микроэлементов начинает работать система элиминации. В желудочно-кишечном тракте блокируется всасывание элементов и они выводятся с калом. Дефект какого-либо звена является причиной избытка или недостатка элемента, либо дисбаланса других биологически активных веществ (гормонов, витаминов, ферментов), участвующих в сложных процессах регуляции, и проявляется различными клиническими симптомами [2, 4, 21]. Большую часть заболеваний можно отнести к патологии химического происхождения – дисэлементозу [11].

Минеральные вещества в зависимости от их количества в организме человека подразделяются на структурные, макро- и микроэлементы [17]: структурные – на 96% формируют элементный состав организма человека; макроэлементы – вещества, содержание которых превышает 0,01% массы тела; микроэлементы – вещества, концентрация которых в организме равна или менее 0,01% массы тела (от 0,01 до 0,00000000000001%). В организме здорового человека присутствуют 4 структурных элемента (С, Н, О, N), 7 макроэлементов (Ca, Cl, K, Mg, Na, P, S) и более 69 микроэлементов [12].

По степени значимости для организма человека макро- и микроэлементы делят на следующие группы [3, 17]:

- жизненно важные (эссенциальные) элементы – это все макроэлементы (Ca, Cl, K, Mg, Na, P, S) и 9 микроэлементов (Cr, Cu, Fe, I, Mn, Mo, Se, F, Zn);
- жизненно важные, но способные вызвать патологические изменения в организме, находясь в дозах, превышающих норму (условно эссенциальные) микроэлементы (В, Со, Ge, Li, Si, V);
- потенциально токсичные микроэлементы и ультрамикроэлементы (Ag, As, Au, Br, Ce, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd,

Hf, Ho, In, Ir, La, Lu, Nb, Nd, Ni, Os, Pd, Pr, Pt, Rb, Re, Rh, Ru, Sb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tm, U, W, Y, Yb, Zr);

- токсические элементы (Al, Cd, Pb, Hg, Be, Ba, Tl, Bi).

О биологической роли элемента недостаточно судить только по его содержанию в тканях. Дефицит ряда микроэлементов (Cr, Cu, Fe, I, Mn, Mo, Se, Zn) способен нарушить баланс практически всех обменных процессов в организме. Биологическая активность вещества может сохраняться и в очень низких его концентрациях, в то время как в повышенных относительно нормы даже незаменимые микроэлементы способны проявлять токсическое действие [4, 17].

Элементный гомеостаз может нарушаться при недостаточном поступлении эссенциальных и/или избыточном поступлении в организм токсических элементов. При этом, с учетом сложных антагонистических и синергических взаимовлияний и отношений между элементами, клиническая картина интоксикации или возникновения патологического состояния и заболевания может быть очень сложной и трудной для интерпретации [11, 20]. В этих случаях очень важна адекватная диагностика элементного гомеостаза, связанная, в первую очередь, с точным количественным определением элементов в индикаторных биосубстратах человека. При этом необходимо проведение многоэлементного анализа, позволяющего дать более обоснованное заключение о состоянии функциональных систем организма и повысить эффективность их коррекции [17].

Концентрацию макро- и микроэлементов в организме можно определить по их содержанию в крови, волосах, ногтях, слюне, желудочном соке, моче, грудном молоке, зубном дентине и костной ткани [3, 12]. Исследование минеральных веществ в биологических

жидкостях имеет свои ограничения. Так, определение содержания многих макро- и микроэлементов в крови часто не отражает истинные показатели их концентрации в тканях ввиду деятельности эндокринной, вегетативной и других систем организма, обеспечивающих гомеостаз. В то же время определение токсичных элементов в крови важно в диагностике интоксикации, имеющейся в момент анализа крови. Содержание элементов в суточной моче отражает их выведение в течение текущих суток [17]. Наиболее достоверным показателем концентрации минеральных веществ в тканях являются волосы. В основании волоса находятся клетки, которые постоянно делятся и вырабатывают кератин. Они как бы выталкивают из фолликула стержень волоса, состоящий из кератина. Растущая часть волоса «записывает» информацию о химическом составе организма. Кератин – белок, уступающий по прочности только зубной эмали, поэтому состав стержня волоса очень стабилен. Прикорневая часть волоса длиной 3-4 см содержит информацию о химическом составе организма за период от 1 до 3 месяцев [3]. Взятие данного биоматериала безболезненно и просто в осуществлении, для хранения волос не требуется специального оборудования, они не портятся и сохраняются без ограничения во времени. Очень перспективным является использование проб волос как архивного материала в историческом биомониторинге, что при постоянном совершенствовании аналитической базы открывает новые возможности для этого вида контроля уровня элементов в организме человека, в том числе и как одного из критериев оценки загрязнения окружающей среды [4, 17].

Следует помнить о различии уровня содержания макро- и микроэлементов в зависимости от пола, возраста, длительности проживания в регионах, профессии [2, 3, 21].

Для определения уровней содержания различных макро- и микроэлементов в организме человека приняты методы их количественного анализа в биосубстратах [12, 17, 22]: нейтронно-активационный, лазерный спектрографический, рентгенофлуоресцентный *in vivo* (при определении в живых костных тканях), инверсионная вольтамперометрия, масс-спектрометрия, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, i-резонансная спектрометрия, газовая хроматография с масс-спектрометрией, атомно-абсорбционная спектрометрия (AAS), атомно-эмиссионная спектрометрия в индуктивно-связанной плазме (ICP AES), ионометрия [3, 11]. Процедура количественного выделения элементов из всех типов биологических проб (за исключением рентгенофлуоресцентного *in vivo*), как правило, выполняется методом «мокрого озоления» (в растворе азотной или азотной 4-хлорной кислоты) в открытой посуде или под давлением (в автоклавах, тefлоновых бомбах, установках микроволнового разложения) [11, 17]. Одна из главных сложностей анализа заключается в том, что большинство элементов содержится в биосубстратах в очень низких концентрациях, а определять их надо с высокой точностью. В последнее десятилетие получили широкое распространение и подтвердили высокую точность определения методы атомно-абсорбционной спектрометрии (AAS), атомно-эмиссионной спектрометрии в индуктивно-связанной плазме (ICP AES) [3, 12].

Метод **атомно-абсорбционной спектрометрии (AAS)** основан на регистрации спектра света, поглощаемого возбужденными ионами. Пробу исследуемого образца в течение нескольких секунд нагревают до 2000-3000 °С и при испарении атомы переходят в возбужденное состояние. В процессе прохождения света определенной длины волны возбужденные атомы поглощают часть этого света. По длине вол-

ны происходит идентификация определяемого элемента, а по степени поглощения судят о количестве элемента в пробе [11, 17]. Достоинствами метода являются также и чрезвычайно высокая чувствительность и специфичность при соблюдении технических деталей анализа. Важно отметить, что данный метод позволяет анализировать содержание порядка 70 элементов. Недостатками метода считают определение при проведении одного анализа одного элемента; продолжительность одного анализа – 12-15 минут; непригодность метода для определения эссенциального элемента йода (и других галогенов – фтора, хлора) [12].

При **атомно-эмиссионной спектрометрии в индуктивно-связанной аргонной плазме (ICP AES)** пробу распыляют в индуктивно-связанную аргонную плазму (температура 6000-9700°C), при этом возбужденные атомы начинают излучать свет. Для каждого атома характерен индивидуальный спектр излучения, по которому происходит идентификация элемента, а по интенсивности излучения определяют концентрацию элемента [3, 12]. Метод позволяет за 2 минуты одновременно определить все элементы, находящиеся в исследуемой пробе, если их концентрации выше чувствительности прибора. Достоинствами ICP AES являются также низкие пределы обнаружения (0,1-1 мкг/л); широкий диапазон определяемых концентраций (от 0,0000001 до 100% массы); минимальная погрешность измерения (0,5-5%); небольшие матричные эффекты (эффект влияния спектров углеродной матрицы биологических объектов на спектр определяемых элементов); возможность определять 73 элемента (не определяет только фтор, инертные газы, многие актиноиды). Недостатками метода считают высокую стоимость прибора и расходных материалов, невозможность определения ионов. Помимо указанного, наличие спектров излучения (эмиссии) у

каждого элемента в десятки-сотни раз больше, чем спектров поглощения (абсорбции), они могут перекрываться, что предъявляет особые требования к профессионализму химика-аналитика. Чувствительность ICP AES примерно в 10 раз ниже, чем AAS, поэтому ряд элементов в биосубстратах определить нельзя [11, 17].

**Ионометрия** позволяет с помощью ион-селективных электродов определять концентрацию электролитов. Чувствительность метода составляет до 10<sup>-7</sup>% массы [12].

В Украине единственным сертифицированным учреждением, использующим для определения элементного гомеостаза организма методы атомно-абсорбционной спектрометрии (AAS), атомно-эмиссионной спектрометрии в индуктивно-связанной плазме (ICP AES), ионометрии является лечебно-диагностический центр «Биотическая медицина» (г. Донецк). Основное количество элементов определяется методом ICP AES. Для определения тех элементов, которые не позволяет определить ICP AES, используется AAS, для определения ионов – ионометрия. Подобранный комбинация аппаратуры ведущих мировых производителей (THERMO ELECTRON, США; METTLER TOLEDO, Швейцария; СЕМ, США) позволяет с минимальными затратами для больного, высокой точностью и скоростью исследовать такие химические элементы, как Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Cl, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Tl, V, Zn в различных биосубстратах [22].

Наиболее информативными для донозологической диагностики являются биосубстраты, которые вовлечены в процесс депонирования химических элементов (волосы, ногти, кости). Кратковременные по экспозиции и значительные по степени отклонения элементного гомеостаза отражены в жидких средах организма, тогда как твер-

дые ткани характеризуют состав макро- и микроэлементов, формирующийся в течение длительного времени [3, 11].

Методами коррекции нарушений элементного гомеостаза являются выведение токсических веществ из организма путем назначения сорбентов; определение среди дефицитного комплекса 2-3 ключевых эссенциальных элементов и назначение соответствующих препаратов для восстановления их уровня до физиологических значений; при наличии избытка элементов в токсической концентрации, кроме указанного, используются соответствующие антагонисты и комплексоны [4, 17]. Контроль за эффективностью коррекции нарушений элементного гомеостаза проводится в динамике лечения и после его завершения с использованием данных стандартных и специальных клинико-лабораторных обследований и определения уровней макро- и микроэлементов в исследуемом биосубстрате [3, 12].

Под наблюдением сотрудников кафедры педиатрии факультета интернатуры и последипломного образования Донецкого Национального медицинского университета им. М. Горького и лечебно-диагностического центра «Биотическая медицина» в настоящее время находятся 123 ребенка (63 мальчика и 60 девочек) в возрасте от 6 мес. до 18 лет, имеющие аллергические заболевания, хроническую патологию желудочно-кишечного тракта, дыхательной и сердечно-сосудистой системы, дисплазию соединительной ткани, очаги хронической инфекции, синдром иммунного дисбаланса, вегетативную дисфункцию и др. Поводом для обращения явилось хроническое течение заболеваний, торпидность к проводимым лечебно-реабилитационным воздействиям согласно современным протоколам ведения больных. При проведении спектрального анализа волос на содержание 33 элементов (токсичных, потенциально токсичных и жизненно

необходимых) соответствия физиологическим нормам макро- и микроэлементов у детей не выявлено. У 85 обследованных (69,1%) констатировано наличие токсичных элементов, при этом у 50 чел. (40,7%) кадмия, у 16 чел. (13,0%) – свинца, у 10 чел. (8,1%) – алюминия, у 5 чел. (4,1%) – ртути, у 3 чел. (2,4%) – висмута, у 1 чел. (0,8%) – бария. У 92 чел. (74,8%) выявлено превышение концентрации потенциально токсичных микроэлементов: кремния – у 47 чел. (38,2%), стронция – у 19 чел. (15,5%), лития – у 14 чел. (11,4%), никеля – у 10 чел. (8,1%), мышьяка – у 1 чел. (0,8%), бария – у 1 чел. (0,8%), ванадия – у 1 чел. (0,8%). Констатирован дефицит жизненно важных элементов: хрома – у 78 чел. (63,4%), йода – у 75 чел. (61,0%), кобальта – у 75 чел. (56,9%), кальция – у 73 чел. (59,3%), железа – у 70 чел. (56,9%), фосфора – у 70 чел. (61,0%), селена – у 63 чел. (51,2%), марганца – у 52 чел. (42,3%), серы – у 51 чел. (41,5%), калия – у 48 чел. (39,0%), натрия – у 36 чел. (29,3%), магния – у 30 чел. (24,4%), цинка – у 25 чел. (20,3%), меди – у 24 чел. (19,5%), молибдена – у 7 чел. (5,7%), ванадия – у 3 чел. (2,4%). Полученные результаты позволили провести индивидуальную коррекцию выявленных нарушений элементного гомеостаза, что привело к улучшению самочувствия и состояния 117 детей (95,1%), а контрольный спектральный анализ волос обеспечил четкий контроль эффективности лечения.

#### Вывод

Таким образом, важнейшие процессы жизнедеятельности организма человека – реализация генетической информации, образование клеточных и субклеточных структур, метаболические процессы, выработка энергии, функционирование всех органов и систем – имеют зависимость от качественного и количественного содержания в организме минеральных веществ. Элементный гомеостаз может быть нарушен при недостаточном поступлении эссен-

циальных и/или избыточном поступлении в организм токсических элементов. Для диагностики нарушений элементного гомеостаза и оценки эффективности профилактических и лечебно-реабилитационных мероприятий в настоящее время наиболее информативны методы атомно-абсорбционной спектрометрии (AAS), атомно-эмиссионной спектрометрии в индуктивно-связанной плазме (ICP AES), ионометрии. Наиболее достоверным показателем концентрации минеральных веществ в тканях являются волосы.

### Литература

1. Абатуров А. Е. Микроэлементный баланс и противoinфекционная защита у детей // *Здоровье ребенка*. – 2008. – № 1 (10). – С. 47 – 50.
2. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. – М.: Медицина, 1991. – 46 с.
3. Агаджанян Н. А., Скальный А. В. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. – М.: изд-во КМК, 2001. – 83 с.
4. Бабенко Г. А. Микроэлементозы человека: патогенез, профилактика, лечение // *Микроэлементозы в медицине*. – 2001. – № 2 (1). – С. 2 – 5.
5. Башкірова Л., Руденко А. Біологічна роль деяких есенційних макро-та мікроелементів (огляд) // *Ліки України*. – 2004. – № 10. – С. 59 – 65.
6. Бут Г. Микроэлементы и их роль в обеспечении иммунного ответа // *Новости медицины и фармации*. – 2008. – № 4 (235). – С. 13.
7. Громова О. А. Школа по витаминам и микроэлементам. – М., 2004. – 59 с.
8. Громова О. А., Кудрин А. В. Нейрохимия макро- и микроэлементов. Новые подходы к фармакотерапии. – М.: Алев-В., 2001. – 272 с.
9. Коровина Н. А., Захарова И. Н., Заплатников А. Л. Профилактика дефицита витаминов и микроэлементов у детей: Справочное пособие для врачей. – М., 2000. – 74 с.
10. Кудрин А. В., Скальный А. В., Жаворонков А. А., Скальная М. Г., Громова О. А. Иммунофармакология микроэлементов. – М.: изд-во КМК, 2000. – 537 с.
11. *Металлы при остеоартрозе* / Под ред. О. В. Синяченко. – Д: Норд-Пресс, 2008. – 404 с.
12. *Нарушения минерального обмена у человека (методическое пособие для врачей)*. – Д., 2006. – 82 с.
13. Радучич О. Азбука здоровья // *Здоров'я України*. – 2007. – № 5. – С. 57.
14. Ребров В. Т., Громова О. А. Витамины и микроэлементы. – М., 2003. – С. 9 – 19.
15. Роль микро- и макроэлементов в жизнедеятельности организма // *Medicus Amicus*, 2004. – №4. – С.18 – 23.
16. Серебровская Н. Микроэлементы и здоровье // *НУВЕЛЬ ЭСТЕТИК*, 2004. – № 6. – С. 11 – 16.
17. Скальный А. В. Микроэлементозы человека (диагностика и лечение): Практическое руководство для врачей и студентов медицинских вузов. – М.: изд-во КМК, 2001. – 96 с.
18. Benes B., Sladka J., Spevackova V., Smid J. Determination of normal concentration levels of Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Se and Zn in hair of the child population in the Czech Republic // *Centr. Eur. J. Public Health*. – 2003. – Vol. 11, №4. – P. 184 – 186.
19. Campbell J. D. Lifestyle, minerals and health // *Med. Hypotheses*. – 2001. – Vol. 57, № 5. – P. 521 – 531.
20. Cavill I., Auerbach M., Bailie G. R. Iron and the anaemia of chronic disease: a review and strategic recommendations // *Curr. Med. Res. Opin.* – 2006. – Vol. 22, №4. – P. 731 – 737.

**Резюме**

ЗНАЧЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ВОЛОССЯ В ДІАГНОСТИЦІ ПОРУШЕНЬ ЕЛЕМЕНТНОГО ГОМЕОСТАЗУ І В ОЦІНЦІ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОФІЛАКТИЧНИХ І ЛІКУВАЛЬНО-РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ

*Нагорная Н.В., Дубовая А.В., Гончаренко І.П., Морозова І.А., Цуркан М.А., Алферов В.В., Піклун В.Л.*

Елементний гомеостаз може бути порушений при недостатньому надходженні есенціальних і/або надмірному надходженні в організм токсичних елементів. Найбільш достовірним показником концентрації мінеральних речовин в тканинах є волосся. Підібрана комбінація апаратури провідних світових виробників (THERMO ELECTRON, США; METTLER TOLEDO, Швейцарія; СЕМ, США) дозволяє з мінімальними витратами для хворого, високою точністю і швидкістю досліджувати такі хімічні елементи, як Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Cl, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Tl, V, Zn в різних біосубстратах. Отримані результати дозволили провести індивідуальну корекцію виявлених порушень елементного гомеостазу, що привело до поліпшення самопочуття і стану 117 дітей (95,1%), а контрольний спектральний аналіз волосся забезпечив чіткий контроль ефективності лікування.

**Ключові слова:** елементний гомеостаз, аналіз волосся, ICP AES

**Resume**

VALUE OF HAIRS SPECTROLOGY IN DIAGNOSTICS OF ELEMENT HOMOEOSTASIS VIOLATIONS AND IN THE ESTIMATION OF EFFICIENCY OF PROPHYLACTIC AND MEDIATE REHABILITATION MEASURES

*Nagornaya N.V., Dubovaya A.V., Goncharenko I.P., Morozova I.A., Curkan M.A., Alferov V.V., Piklun V.L.*

An element homoeostasis can be broken at the insufficient entering of essential and surplus entering of toxic elements to organism. The most reliable index of concentration of minerals are hairs. Combination of apparatus of leading world producers (THERMO ELECTRON, the USA; METTLER TOLEDO, Switzerland; СЕМ, the USA) to probe such chemical elements (Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Cl, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Tl, V, Zn) in different biosubstrates. The got results allowed to conduct the individual correction of found out violations of element homoeostasis, that resulted in the improvement of feel and state 117 children (95,1%), and the control spectrology of hairs provided clear control of efficiency of therapy.

**Keywords:** *element homoeostasis, analysis of hairs, ICP AES*

*Впервые поступила в редакцию 16.06.2010 г. Рекомендована к печати на заседании редакционной коллегии после рецензирования*