

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

Нагорная Н. В., Дубовая А. В., Гончаренко И. П., Морозова И. А.**

Донецкий Национальный медицинский университет им. М. Горького

**Лечебно-диагностический центр «Биотическая медицина», г. Донецк*

*Медик без довольного познания химии
совершенен быть не может*

М. В. Ломоносов

В обзоре представлены сведения о значении минеральных веществ в жизнедеятельности организма человека, элементном гомеостазе. Приведены методы количественного определения содержания макро- и микроэлементов в различных биосубстратах. Представлены преимущества использования волос в качестве биосубстрата для оценки элементного гомеостаза человека. Рассмотрены наиболее информативные методы для диагностики нарушений элементного гомеостаза и оценки эффективности профилактических и лечебно-реабилитационных мероприятий: атомно-абсорбционная спектрометрия (AAS), атомно-эмиссионная спектрометрия в индуктивно-связанной плазме (ICP AES), ионометрия.

Ключевые слова: элементный гомеостаз, спектральный анализ волос, атомно-абсорбционная спектрометрия (AAS), атомно-эмиссионная спектрометрия в индуктивно-связанной плазме (ICP AES), ионометрия.

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 не-

активном 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 (металлотioneинами) 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 саморегуляции. 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]. Многие заболевания 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 0,000000000001%). В организме здорового человека присутствуют 4 структурных элемента (C, H, O, 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 (B, Co, 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); токсичные 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 концентрациях, 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 с точным количественным определением элементов в индикаторных биосубстратах человека, когда необходимо проведение многоэлементного анализа, по-

зволяющего 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 является их содержание в волосах. 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 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, γ -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, тефлоновых 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 волны происходит идентификация определяемого элемента, а по степени поглощения судят о количестве элемента в пробе [11, 17]. Достоинствами метода являются 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; метод непригоден для определения эссенциального элемента йода (и других галогенов – фтора, хлора) [12].

При **атомно-эмиссионной спектрометрии в индуктивно-связанной аргоновой плазме (ICP AES)** пробу распыляют в индуктивно-связанную аргоновую плазму (температура 6000–9700 °С), 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 две минуты одновременно определить все элементы, находящиеся в исследуемой пробе, если их концентрации выше чувствительности прибора. Достоинствами ICP AES являются 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 10–7% 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, высокой точностью и скоростью исследовать в различных биосубстратах 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 [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 твердые 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 используются соответствующие антагонисты и комплексоны [4, 17]. Контроль за эффективностью коррекции нарушений элементного

гомеостаза проводиться в динаміці лічення і після його завершення з використанням даних стандартних і спеціальних клініко-лабораторних обстежень і визначення рівней макро- і мікроелементів в досліджуваному біосубстраті [3, 12].

На кафедрі педіатрії факультета інтернатури і последипломного освіти Донецького Національного медичного університету ім. М. Горького і в лікувально-діагностичному центрі «Біотическа медичина» в нинішнє час знаходяться під наглядом 123 дитина в віці від 6 міс. до 18 років (63 хлопчиків і 60 дівчаток) з алергічними захворюваннями, хронічною патологією шлунково-кишкового тракту, дихальною і серцево-судинною системою, дисплазією з'єднаної тканини, очима хронічної інфекції, синдромом імунного дисбаланса, вегетативної дисфункції і іншої патології.

Поводом для звернення стало хронічне перебіг захворювання, торпидність до проводимим лікувально-реабілітаційним впливам згідно сучасним протоколам ведення. При проведенні спектрального аналізу волос на вміст 33 елементів (токсичних, потенційно токсичних і життєво необхідних) відповідності фізіологічним нормам макро- і мікроелементів у дітей не виявлено. У 85 досліджуваних (69,1%) констатовано наявність токсичних елементів, при цьому у 50 дітей (40,7%) кадмія, у 16 осіб (13,0%) – свинцю, у 10 (8,1%) – алюмінію, у 5 (4,1%) – ртуті, у 3 (2,4%) – висмуту, у 1 дослідженого (0,8%) – барія. У 92 дітей (74,8%) виявлено перевищення концентрації потенційно токсичних мікроелементів: кремнію – у 47 осіб (38,2%), стронцію – у 19 осіб (15,5%), літію – у 14 осіб (11,4%), нікелю – у 10 осіб (8,1%), міді – у 1 осіб (0,8%), барія – у 1 осіб (0,8%),

ванадію – у 1 осіб (0,8%). Констатовано дефіцит життєво важливих елементів: хрому – у 78 осіб (63,4%), йоду – у 75 осіб (61,0%), кобальту – у 75 осіб (56,9%), кальцію – у 73 осіб (59,3%), заліза – у 70 осіб (56,9%), фосфору – у 70 осіб (61,0%), селену – у 63 осіб (51,2%), марганцю – у 52 осіб (42,3%), сірки – у 51 осіб (41,5%), калію – у 48 осіб (39,0%), натрію – у 36 осіб (29,3%), магнію – у 30 осіб (24,4%), цинку – у 25 осіб (20,3%), міді – у 24 осіб (19,5%), молибдену – у 7 осіб (5,7%), ванадію – у 3 осіб (2,4%). Отримані результати дозволили провести індивідуальну коррекцію виявлених порушень елементного гомеостаза, що привело до покращення самопочуття і стану 117 дітей (95,1%), а контрольний спектральний аналіз волос забезпечив чіткий контроль ефективності лікування.

Таким чином, найважливіші процеси життєдіяльності організму людини – реалізація генетичної інформації, формування клітинних і субклітинних структур, метаболічні процеси, вироблення енергії, функціонування всіх органів і систем – мають залежність від якості і кількості вмісту елементів в організмі мінеральних речовин. Елементний гомеостаз може бути порушений при недостатньому надходженні есенціальних і/або надлишковому надходженні в організм токсичних елементів. Для діагностики порушень елементного гомеостаза і оцінки ефективності профілактичних і лікувально-реабілітаційних заходів в нинішнє час найбільш інформативні методи атомно-абсорбційної спектроскопії (ААС), атомно-емісійної спектроскопії в індуктивно-зв'язаній плазмі (ІСР АЕС), іонометрії. Найбільш надійним показником концентрації мінеральних речовин в тканинах є волосся.

Література

- Абатуров А. Е. Мікроелементний баланс і протиінфекційна захиста у дітей // Здоров'я дитини. – 2008. – № 1 (10). – С. 47 – 50.
- Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А. Мікроелементозы человека: этиология, классификация, органопатология. – М.: Медицина, 1991. – 46 с.
- Агаджанян Н. А., Скальный А. В. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. – М.: изд-во КМК, 2001. – 83 с.
- Бабенко Г. А. Мікроелементозы человека: патогенез, профилактика, лечение // Мікроелементозы в медицине. – 2001. – № 2 (1). – С. 2 – 5.
- Башкірова Л., Руденко А. Біологічна роль деяких есенціальних макро- та мікроелементів (огляд) // Ліки України. – 2004. – № 10. – С. 59 – 65.
- Бут Г. Мікроелементи і їх роль в забезпеченні імунного відповіді // Новини медицини і фармації. – 2008. – № 4 (235). – С. 13.
- Громова О. А. Школа по вітамінам і мікроелементам. – М., 2004. – 59 с.
- Громова О. А., Кудрин А. В. Нейрохімія макро- і мікроелементів. Нові підходи до фармакотерапії. – М.: Алев-В., 2001. – 272 с.
- Коровина Н. А., Захарова І. Н., Заплатников А. Л. Профілактика дефіциту вітамінів і мікроелементів у дітей: Справочное пособие для врачей. – М., 2000. – 74 с.
- Кудрин А. В., Скальный А. В., Жаворонков А. А., Скальная М. Г., Громова О. А. Иммунофармакология микроэлементов. – М.: изд-во КМК, 2000. – 537 с.
- Металлы при остеоартрозе / Под ред. О. В. Синяченко. – Д: Норд-Пресс, 2008. – 404 с.
- Нарушения минерального обмена у человека (методическое пособие для врачей). – Д., 2006. – 82 с.
- Радучич О. Азбука здоровья // Здоров'я України. – 2007. – № 5. – С. 57.
- Ребров В. Т., Громова О. А. Витамины и микроэлементы. – М., 2003. – С. 9 – 19.
- Роль микро- и макроэлементов в жизнедеятельности организма // Medicus Amicus, 2004. – № 4. – С. 18 – 23.
- Серебровская Н. Микроэлементы и здоровье // НУВЕЛЬ ЭСТЕТИК, 2004. – № 6. – С. 11 – 16.
- 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.
- 21 Failla M. Trace Elements and Host Defense: Recent Advances and Continuing Challenges // *J. Nutr.* – 2003. – Vol. 133. – P. 1443S – 1447S.
- 22 <http://www.biomed.dn.ua>

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

Нагорна Н. В., Дубова Г. В., Гончаренко І. П., Морозова І. О.

В огляді представлені відомості про значення мінеральних речовин у життєдіяльності організму людини, елементний гомеостаз. Наведені методи кількісного визначення вмісту макро- та мікроелементів у різних біосубстратах. Представлені переваги використання волосся в якості біосубстрату для оцінки елементного гомеостазу людини. Розглянуто найбільш інформативні методи для діагностики порушень елементного гомеостазу та оцінки ефективності профілактичних і лікувально-реабілітаційних заходів: атомно-абсорбційна спектрометрія (AAS), атомно-емісійна спектрометрія в індуктивно-зв'язаній плазмі (ICP AES), іонометрія.

Ключові слова: елементний гомеостаз, спектральний аналіз волосся, атомно-абсорбційна спектрометрія (AAS), атомно-емісійна спектрометрія в індуктивно-зв'язаній плазмі (ICP AES), іонометрія.

VALUE OF THE SPECTRAL ANALYSIS OF HAIR IN DIAGNOSTICS OF INFRINGEMENTS OF AN ELEMENT HOMEOSTASIS AND AN ESTIMATION OF EFFICIENCY OF PREVENTIVE AND MEDICAL-REHABILITATION ACTIONS

Nagornaya N., Dubova G., Goncharenko I., Morozova I.

In the review data on value of mineral substances in ability to live of an organism of the person, an element homeostasis are presented. Methods of quantitative definition the maintenance macro- and microelements in various biosubstrata are resulted. Advantages of use of hair as a biosubstratum for an estimation of an element homeostasis of the person are presented. The most informative methods for diagnostics of infringements of an element homeostasis and an estimation of efficiency of preventive and medical-rehabilitation actions are considered: atomic-absorption spectrometry (AAS), atomic-issue spectrometry in the inductive-connected plasma (ICP AES), ionometry.

Key words: element homeostasis, the spectral analysis of hair, atomic-absorption spectrometry (AAS), atomic-issue spectrometry in the inductive-connected plasma (ICP AES), ionometry.