

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

## СПЕЦИФИЧНОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТНОГО СПЕКТРА ВОЛОС В ДИАГНОСТИКЕ СИНДРОМА ДЕФИЦИТА КОСТНОЙ МАССЫ

### SPECIFICITY OF THE INDICES OF ELEMENTAL HAIR SPECTRUM IN THE DIAGNOSTICS OF BONE MASS DEFICIT SYNDROME

*Н.А. Гресь*<sup>1</sup>, *А.В. Скальный*<sup>2</sup>, *Э.В. Руденко*<sup>1</sup>, *Е.В. Руденко*<sup>1</sup>  
*N.A. Gres*<sup>1</sup>, *A.V. Skalny*<sup>2</sup>, *E.V. Rudenka*<sup>1</sup>, *A.V. Rudenka*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования», Минск

<sup>2</sup> Институт Биоэлементологии Оренбургского государственного университета

<sup>1</sup> State Educational Establishment «Belarusian Medical Academy of Post-Graduate Education», Minsk, Belarus

<sup>2</sup> Institute of Bioelementology at Orenburg State University, Orenburg, Russia

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** женщины, спектрометрия волос, остеотропные биоэлементы, возрастная динамика, кальцитонин, паратиреоидный гормон, дефицит костной массы.

**KEYWORDS:** women, hair spectrometry, osteotropic bioelements, age dependet dynamics, calcitonin, parathormon, bone mass deficit.

**РЕЗЮМЕ:** У 79 девушек 15–17 лет и 93 женщин 65–70 лет исследованы метаболические связи биоэлементов остеотропного действия Ca, Mg, Sr, P, K по данным спектроскопии волос в зависимости от величины показателя прочности костной ткани stf и уровня содержания кальцийрегулирующих гормонов. Констатированы статистически значимые сильные взаимные положительные связи кальция, магния, стронция волос и высокая степень корреляции с этими биоэлементами интегрального коэффициента Ca/P вне зависимости от пола и возраста, что позволяет рассматривать представленные показатели как единый диагностический комплекс. Большой диапазон колебаний индивидуальных значений содержания кальция в волосах и существенный разброс величины коэффициентов Ca/P и Ca/K свидетельствуют о выраженной нестабильности метаболизма кальция у женщин. Возрастная динамика показала у женщин пожилого возраста по отношению к лицам периода пубертата достоверное уменьшение депонирования в волосах кальция на фоне снижения кальцитонина крови и роста содержания ПТГ. В пределах каждой возрастной группы выявлен однонаправленный характер изменения показателей: при максимальных значениях stf получено снижение выделения с волосами Ca, Mg, Sr по сравнению с их уровнем в данном биосубстрате у лиц с низким значением индекса stiffnis.

**ABSTRACT.** 79 girls aged 15–17 years and 93 women aged 60–70 years were examined to investigate metabolic communications of the osteotropic bioelements Ca, Mg, Sr, P, K according to the data of hair spectrometry in dependence of the rate of the showings of bone ultrasonometry (stiffness index – stf) and levels of calcium regulating hormones. There were established statistically significant positive strong mutual relationships of the hair content of calcium, magnesium, strontium and a high degree of correlation of these bioelements with integral coefficient Ca/P, regardless of gender and age, so the presented indicators can be considered as a single diagnostic system. A wide range of variations of individual values of the calcium content in hair and levels of the coefficients Ca/P and Ca/K indicate to extreme instability of calcium metabolism in women. In older women in relation to persons in the period of puberty there was revealed a statistically significant decline of stiffness index parallel with a significant attenuation of calcium deposition in hair against decrease blood calcitonin and PTH content growth. Unidirectional changes of indicators were revealed within each age group: decreased excretion of hair content of Ca, Mg, Sr was observed at maximal values of stiffness index

in comparison with their level in this biosubstrates in persons with low stiffness index.

### ВВЕДЕНИЕ

Роль адекватного баланса макро- и микроэлементов среди многочисленных факторов рассматривается как определяющая в обеспечении нормального костеобразования. Прочность и устойчивость скелета человека гарантируется количеством пиковой костной массы (ПКМ). В детском и подростковом возрасте накапливается до 86% ПКМ, ее формирование завершается к 25–30 годам. Для данного периода развития человека характерна высокая активность усвоения организмом кальция и аккумуляция его костью. Подростковый возраст является критическим в этом процессе. Остеопороз в последующем развивается у лиц, которые в конце пубертата не набрали генетически детерминированной пиковой костной массы (Руденко, 2001; Беневоленская, 2003). В плане развития остеопороза наиболее уязвимы женщины в постменопаузе: по данным статистики эта патология регистрируется у каждой второй. В связи с этим нами выполнена сравнительная характеристика метаболических связей кальция в двух критических возрастных группах: у девушек–подростков на завершающем этапе формирования пиковой костной массы и у женщин пожилого возраста в постменопаузальном периоде.

Целью исследования является оценка диагностической чувствительности показателей спектрометрии волос в структуре «остеотропные биоэлементы Ca, Mg, P, Sr, K → кальцийрегулирующие гормоны → показатель прочности костной ткани stf» для изучения возрастной специфики формирования минерального компонента костной ткани у женщин.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве конкретного объекта исследования было взято содержание Ca, Mg, P, Sr, K в волосах. Метаболический процесс, контролируемый этими биоэлементами, определяет структурные особенности костной ткани, имеющие клиническое выражение в виде ультрасонометрического показателя – индекса прочности костной ткани stf (stiffness index). В сопоставлении с уровнем депонирования этих биоэлементов и состоянием прочности костной ткани изучена активность паратиреоидного гормона (ПТГ) и кальцитонина (КТ).

Объект наблюдения составили 172 женщины 15–70 лет:

девушки-подростки 15–17 лет I–II группы здоровья ( $n = 79$ );

женщины в возрасте 65–70 лет ( $n = 93$ ).

Учитывая данную возрастную категорию, практически все включенные в нее обследованные страдали атеросклерозом с типичной возраст-

ной патологией в стадии компенсации (ИБС, артериальная гипертензия).

Содержание Ca, Mg, P, K, Sr в волосах исследовалось методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой Vista PRO («Varian», США). Результаты измерения оценивались согласно разработанным референтным значениям (Bertram, 1992; Скальная и др., 2003; Скальный, Рудаков, 2004). В качестве стандарта использован образец волос производства Шанхайского института ядерной физики АН КНР (GBW09101).

Оценка структурно-функционального состояния пяточной кости выполнена на приборе Lunar Achilles InSight («General Electric Medical Systems», США), использующем высокочастотные звуковые волны (Sawjer et al., 2007). Ультразвуковыми параметрами являются SoS (скорость прохождения звуковой волны через область пятки, м/с) и коэффициент BUA (ослабление звуковой волны по мере ее продвижения в костной ткани, децибел/МГц). Они анализируются программой Achilles InSight с расчетом в относительных единицах клинически значимого показателя, называемого индексом прочности костной ткани – stiffness index (stf) по формуле:  $stf = (0,67 \times BUA + 0,28 \times SoS) - 420$ .

Концентрация ПТГ и КТ в сыворотке крови определялась на мультикристаллическом счетчике LB2111 («Berthold Technologies», Германия) с использованием иммунорадиометрических наборов IRMA PTH («Immunotech», Франция) и IRMA Calcitonin Aktiv (DSL, США).

Статистический анализ показателей выполнен с использованием пакетов приложений Microsoft Office XP для статистической обработки материала (Microsoft Excel, версия 7.0 и программы Statistica, версия 6.0) с учетом вычислительных методов, рекомендованных для биологии и медицины.

В основу оценки рассматриваемых показателей положены общепринятые методы параметрической, непараметрической статистики и корреляционного анализа. Учитывая характер распределения показателей, отличный от нормального, достоверность различий оценивалась по данным  $t$ -теста в сравнении с результатами медианного теста и  $U$ -критерия Манна–Уитни. Расчеты микроэлементных показателей относительно величины stf выполнены с использованием дифференциального метода крайних уровней (Закс, 1976; Гланц, 1999; Арсюткин, 2007).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

#### ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕМЕНТНОГО БАЛАНСА, СОСТОЯНИЕ КОСТНОЙ МАССЫ И УРОВЕНЬ Кальцийрегулирующих Гормонов

*Обеспеченность организма остеотропными биоэлементами по данным спектрального анализа волос.* У девушек спектр депонированных остео-

тропных биоэлементов (табл. 1) характеризуется превышающими «норму» значениями медианы кальция (2044,0 мкг/г) при наличии сниженных показателей фосфора (92,0 мкг/г) и калия (32,0 мкг/г). Уровень магния и стронция находится в референтных пределах.

В возрасте 65–70 лет у женщин медиана депонированного в волосах кальция достоверно ( $p < 0,05$ ) двукратно ниже (1217 мкг/г) по сравнению с подростками. Несмотря на сохранение у них среднего уровня показателя в пределах нормальных референтных показателей, число лиц с дефицитом этого макроэлемента (менее 550 мкг/г) в возрасте 65–70 лет составило 31% против 5% девушек. С возрастом достоверно ( $p < 0,0001$ ) снижен стронций (до 1,6 мкг/г): дефицит его имел место в 12% случаев и отсутствовал у девушек. Показатели магния соответствуют верхней границе референтных значений без достоверных различий.

Уровень калия статистически значимо ( $p < 0,01$ ) снижен у девушек (медиана 32,0 мкг/г) и соответствует нижней границе нормы у пожилых (88,0 мкг/г). Частота дефицита калия составила 63% у девушек и 45% в старшей возрастной группе. Медиана фосфора у лиц молодого возраста находится на уровне нижних референтных показателей (92,0 мкг/г), в пожилом возрасте – достоверно ( $p \leq 0,05$ ) выше (115,2 мкг/г).

Положительные показатели асимметрии (от 0,8 до 7,3) указывают на смещение распределения биоэлементов в сторону увеличенных показателей в обеих возрастных группах. Исключение состав-

ляет фосфор, характеризующийся у девушек низким отрицательным значением (–0,2).

Положительные эксцессы Ca, Sr, Mg (от 0,22 до 3,65) у обследованных в периоде пубертата свидетельствуют о лабильности элементных показателей и их чувствительности к влияниям извне. В пожилом возрасте для всех трех биоэлементов значения эксцессов возрастают (3,8–5,8). Наиболее высокий положительный эксцесс имеет калий в старшей возрастной группе: 60,8 (при значении 4,5 у девушек).

**Показатель прочности костной ткани stf.** Величина индекса stf определяется возрастной зависимостью (табл. 1). У пожилых обследованных медиана stf составляет 59,0 отн. ед., что достоверно ( $p < 0,0001$ ) ниже значения 101,0 отн. ед. в периоде пубертата. У девушек умеренное снижение ультрасонометрических показателей (значения индекса stf 63,0–79,0 отн. ед.) выявлено в 12,6% случаев. Коэффициент stf ниже предельно допустимого уровня (32,0–77,0 отн. ед.) имеет 90,1% пожилых женщин.

По сравнению с биоэлементным комплексом коэффициент stf может быть охарактеризован как более стабильный показатель. Для него характерны приближенные к нулю или отрицательные величины эксцесса (соответственно –0,59 и 1,58), низкие значения асимметрии (от –0,07 до 0,91) и близкое к единице соотношение среднее/медиана (0,99). Он в большей степени детерминирован внутренними факторами, тогда как микроэлементный баланс имеет более выраженную зависимость от внешних условий.

**Таблица 1. Индекс прочности костной ткани stf (отн.ед.), уровень кальцийрегулирующих гормонов ПТГ и КТ в крови (нг/мл) и содержание химических элементов в волосах (мкг/г) женщин**

| Показатели | 15–17 лет |                         | 65–70 лет |                         |
|------------|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|
|            | Медиана   | Межквартильный интервал | Медиана   | Межквартильный интервал |
| stf        | 101,0***  | 88,0–113,0              | 59,0***   | 52,0–67,0               |
| Ca         | 2044,0*   | 1056,0–3875,0           | 1215,0*   | 716,0–2287,0            |
| Mg         | 61,2      | 36,6–97,2               | 131,0     | 77,0–235,0              |
| P          | 92,0*     | 82,0–105,0              | 115,0*    | 103,0–131,0             |
| K          | 32,0**    | 13,0–66,0               | 88,0**    | 30,0–92,0               |
| Sr         | 5,0***    | 3,1–10,8                | 1,6***    | 0,8–2,8                 |
| ПТГ        | 17,02***  | 11,0–32,0               | 56,24***  | 27,15–72,31             |
| КТ         | 1,73***   | 0,8–2,7                 | 0,15***   | 0,02–0,92               |

Примечание: достоверность различий показателей в зависимости от возраста \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

**Уровень в крови кальцийрегулирующих гормонов ПТГ и КТ.** Медиана гормонов во всех группах (табл. 1) находится в диапазоне нормальных значений как для ПТГ (норма 10–65 пг/мл), так и для КТ (норма 0–5 пг/мл). Однако ее показатели имеют достоверные ( $p < 0,0001$ ) возрастные различия. У лиц пожилого возраста характерно преобладание ПТГ (в 3,3 раза) при более, чем 10-кратном снижении уровня кальцитонина. Эта диспропорция приводит у них к возрастанию соотношения ПТГ:КТ до значения 375:1 против 10:1 у девушек.

Период пубертата отличается также наибольшим разбросом индивидуальных значений: минимальный и максимальный уровень ПТГ у девушек составили 2,2–192,1 пг/мл при 4,5–114,1 пг/мл в пожилом возрасте. Для кальцитонина эти показатели соответственно равны 0,02–25,47 пг/мл и 0,02–0,15 пг/мл. Значение паратиреоидного гормона более 65 пг/мл в 5 раз чаще выявлено в группе пожилых женщин (25,5% против 5,1%). Превышающий «норму» уровень кальцитонина имел место только в возрастной группе 15–17 лет (13,9% случаев).

Таким образом, несмотря на сохранение нормального среднего уровня кальцийрегулирующих гормонов в крови у женщин имеет место их выраженный дисбаланс в пожилом возрасте с достоверным преобладанием ПТГ. Этому соответствует статистически значимое ( $p < 0,05$ ) снижение коэффициента  $stf$  (59,0 у пожилых при значении 101,0 в молодом возрасте) и уровня кальция в волосах (1215,0 против 2044,0 мкг/г).

#### ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ КАЛЬЦИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МИНЕРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ КОСТНОЙ ТКАНИ

**Соотношение макроэлементов кальция, фосфора и калия.** Диагностические возможности изучения метаболических связей биоэлементов остеотропного действия расширяет оценка связей химических элементов по величине их соотношений (Барашков и др., 2003; Скальный, 2004; Кгурка, Puczkowski, 2004). Эти коэффициенты следует рассматривать не просто как результат деления, а как новый фактор более высокого порядка, несущий дополнительную информацию при изучении влияния исходных показателей.

Кальций и фосфор взаимно дополняют друг друга в своей ключевой функции – формировании основ костной ткани. Значимым в этом процессе является адекватное соотношение макроэлементов. Коэффициент Са/Р рассматривается как показатель активности энергетических процессов в организме и имеет диапазон оптимальных значений, равный 2–5. Увеличение показателя расценивают как отражение недостаточного энергетического обеспечения метаболизма кальция. Процессы, сопровождающиеся фосфордефицитным состоянием, приводят к потере кальция костной тканью и нарушению образования костной массы.

У девочек-подростков медиана показателя Са/Р составила 26,3 при достоверном ( $p = 0,0001$ ) его снижении в пожилом возрасте (Са/Р = 10,4). Повышенные значения этого коэффициента у женщин мы расценили как возможное свидетельство нарушения метаболизма кальция в связи со снижением абсолютных значений содержания фосфора в волосах и усилением его относительного дефицита при обычно высоких показателях кальция, которые имеют место у женщин, особенно в молодом возрасте.

Коэффициент Са/К предложено использовать для оценки активности кальцийрегулирующих гормонов (граница оптимального соотношения 2–5). Считают, что увеличенные его значения отражают напряжение гормональной регуляции обмена кальция. У обследованных нами девушек его медиана составляет 76,6; размах индивидуальных колебаний значителен (от 1,3 до 1725,2) при высоком положительном эксцессе (13,3). У женщин пожилого возраста значения коэффициента (медиана Са/К = 18,2) ниже по сравнению с периодом пубертата, но без достоверных различий ( $p = 0,657$ ). В этом возрасте показатели соотношения кальция и калия еще более нестабильны: эксцесс равен 71,2 с диапазоном минимальных и максимальных значений от 0,30 до 5969,0. Выраженная лабильность коэффициента характеризует его высокую зависимость от влияния внешних факторов.

**Корреляционные связи остеотропных биоэлементов, кальцийрегулирующих гормонов и показателя прочности костной ткани  $stf$ .** Оценка связей рассматриваемых элементных показателей выявила в обеих возрастных группах достоверно ( $p < 0,0001$ ) высокую степень высокой взаимной положительной корреляции кальция, магния и стронция ( $r_s = 0,88–0,97$ ). Корреляционные связи индекса  $stf$  с рассматриваемой группой остеотропных биоэлементов низкие. Наиболее значимыми они были с кальцием у девушек и имели отрицательное значение ( $r_s = -0,21$ ;  $p = 0,053$ ).

Коэффициент Са/Р с высокой степенью достоверности ( $p = 0,000001$ ) положительно коррелирует в обеих возрастных группах с кальцием ( $r_s = 0,74–0,94$ ), стронцием ( $r_s = 0,69–0,89$ ) и магнием ( $r_s = 0,42–0,82$ ). Связь показателя с фосфором выражена слабо и носит отрицательный характер ( $r_s = -0,33$  и  $-0,17$ ;  $p = 0,001$ ). Показатель Са/К наиболее значимо ( $p = 0,00001$ ) связан отрицательно у девушек с калием ( $r_s = -0,44$ ) и практически отсутствует его корреляция ( $r_s$  от 0,19 до  $-0,15$ ;  $p > 0,184$ ) с остальными биоэлементами.

Между ПТГ и КТ связь слабая отрицательная ( $r_s = -0,39$  и  $-0,21$ ) без статистически значимых различий ( $p = 0,340$ ). Корреляция этих гормонов с микроэлементными показателями волос слабая или отсутствует.

**Уровень элиминации остеотропных биоэлементов с волосами в зависимости от величины показателя прочности костной ткани.** Для расчета активности выделения биоэлементов с во-

лосами относительно величины stf в каждой группе были сформированы подгруппы с минимальным и максимальным средним значением показателя прочности костной ткани (дифференциальный метод крайних уровней). Соотношения медиан характеризуют тенденции динамики химических элементов (прироста или снижения) при соответствующем изменении показателя stf (табл. 2 и 3).

В табл. 2 представлены показатели элементного баланса у девушек периода пубертата при увеличении коэффициента stf на 54,9% (от 71 до 110 отн. ед.). При росте значений stf оценка степени изменения медианы содержания биоэлементов в волосах по соотношению «медиана<sub>1</sub>:медиана<sub>2</sub>» выявила снижение выделения через волосы кальция (-15,1%), магния (-24,8%), стронция (-21,7%). Соответственно уменьшились значения коэффициентов Ca/P на 41% и Ca/K – на 34%. С клинической точки зрения уменьшение потерь через волосы данной группы элементов остеотропного действия логично соотносится с более высокими значениями показателя прочности костной ткани.

У женщин в возрасте 65–70 лет изменения медианы содержания биоэлементов в волосах при увеличении индекса stf на 93% (двукратный рост его до нормальных значений) были более выра-

жены (табл. 3). Уменьшение элиминации через волосы Ca, Mg и Sr на 50–52,2% мы расценили как их активное удержание в организме. Этому сопутствовало снижение в сыворотке крови уровня ПТГ на 36% (с 84,49 до 52,12 пг/мл).

При нормализации индекса stf у лиц пожилого возраста получено снижение коэффициентов Ca/P и Ca/K с приближением их значений к более адекватному соотношению макроэлементов. Полученное более чем двукратное увеличение содержания калия в волосах (+147%) сопровождалось снижением на 67% коэффициента Ca/K (с 54,0 до 18,0). Фосфор независимо от величины показателя плотности костной ткани сохранил практически первоначальный уровень при уменьшении соотношения Ca/P на 36% (с 11,0 до 7,0). Наблюдаемые эффекты мы расценили как выражение оптимальных адаптационных возможностей, позволивших сохранить данной группе женщин достаточную прочность костной ткани в пожилом возрасте.

Таким образом, динамика уровня остеотропных биоэлементов в волосах при увеличении прочности костной ткани имеет однонаправленный характер у женщин обеих возрастных групп и характеризуются снижением потерь через волосы Ca, Mg, Sr в соответствии с ростом значений коэффициента stf.

**Таблица 2. Показатели динамики уровня химических элементов в волосах (мкг/г) при увеличении прочности костной ткани stf (отн. ед.) у девочек в периоде пубертата (15–17 лет)**

| Анализируемые показатели                        |   | stf   | Ca     | K    | Mg    | P     | Sr    |
|---|---|-------|--------|------|-------|-------|-------|
| Минимальные значения stf                        | Медиана <sub>1</sub>                                    | 71    | 4680,0 | 56,2 | 420,3 | 110,5 | 4,6   |
| Максимальные значения stf                       | Медиана <sub>2</sub>                                    | 110   | 3970,0 | 57,1 | 316,0 | 124,0 | 3,6   |
| Степень изменения медианы ХЭ при увеличении stf | Соотношение медиана <sub>1</sub> : медиана <sub>2</sub> | 0,64  | 1,18   | 0,98 | 1,33  | 0,89  | 1,28  |
|   | Изменение медианы, %                                    | +54,9 | -15,2  | +1,6 | -24,8 | +12,2 | -21,7 |

**Таблица 3. Показатели динамики уровня химических элементов в волосах (мкг/г) при увеличении прочности костной ткани stf (отн. ед.) у женщин 65–70 лет**

| Анализируемые показатели                        |  | stf   | Ca     | K      | Mg    | P     | Sr    |
|---|--|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Минимальные значения stf                        | Медиана <sub>1</sub>                                   | 46    | 1704,0 | 28,0   | 186,0 | 115,2 | 2,0   |
| Максимальные значения stf                       | Медиана <sub>2</sub>                                   | 89    | 837,0  | 69,1   | 89,2  | 121,0 | 1,0   |
| Степень изменения медианы ХЭ при увеличении stf | Соотношение медиана <sub>1</sub> :медиана <sub>2</sub> | 0,52  | 2,0    | 0,4    | 2,1   | 0,95  | 2,0   |
|   | Изменение медианы, %                                   | +93,1 | -51,0  | +147,2 | -52,0 | +5,4  | -50,3 |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ баланса биоэлементов остеотропного действия выполнен у женщин в двух наиболее критических периодах развития костной ткани – пубертатном (формирование пиковой костной массы) и постменопаузальном (максимальная активность остеопоротического процесса).

В первую очередь, следует отметить, что проведенные исследования подтвердили диагностическую чувствительность параметров спектрального анализа волос в структуре «остеотропные биоэлементы Ca, Mg, P, Sr, K → кальцийрегулирующие гормоны ПТГ и КТ → показатель прочности костной ткани stf» при формировании синдрома дефицита костной массы:

1. Оценка возрастной динамики выявила у женщин пожилого возраста по отношению к лицам периода пубертата статистически значимое ( $p < 0,0001$ ) падение индекса прочности костной ткани stf с параллельным достоверным ( $p < 0,05$ ) уменьшением депонирования в волосах кальция на фоне снижения кальцитонина крови и роста содержания ПТГ.

2. Констатированы достоверные сильные взаимные положительные связи кальция, магния, стронция волос ( $r_s = 0,88-0,97$ ) и высокая степень корреляции с этими биоэлементами интегрального показателя Ca/P ( $r_s = 0,69-0,94$ ) вне зависимости от пола и возраста, что позволяет рассматривать представленные параметры как единый диагностический комплекс.

3. Большой диапазон колебаний индивидуальных значений содержания кальция в волосах (101,1–10272,0 мкг/г) и существенный разброс величины коэффициентов Ca/P (1,6–117,3 отн. ед.) и Ca/K (0,3–5669,0 отн. ед.) свидетельствуют о выраженной нестабильности метаболизма кальция у женщин.

Другой проблемой в практике многоэлементного анализа является оценка повышенного уровня кальция в волосах, что нередко соотносят с ускоренным выведением элемента из организма и трактуют как состояние «преддефицита». Изучая этот вопрос, в первую очередь, необходимо обратить внимание на влияние фактора пола при оценке показателей спектрометрии волос: независимо от возраста и состояния здоровья уровень кальция и магния у женщин по сравнению с мужчинами достоверно более высокий при равновеликом содержании фосфора у лиц обоего пола (Скальная и др., 2003).

Согласно предлагаемой гипотезе (Скальный, 2004; Момчилович, Ликкен, 2005), «повышенная концентрация кальция в волосах является отражением высокого обменного пула, свидетельствует о возрастании подвижности макроэлемента, усиления его кругооборота и тканевом перераспределении в организме с «неудержанием» в итоге кальция в кости у женщин», несмотря на, казалось бы, достаточный уровень его депонирования в организме.

В пользу высказанной гипотезы свидетельствуют полученные нами данные о снижении потерь через волосы кальция, магния и стронция при росте значений коэффициента прочности костной ткани stf (табл. 2 и 3). Действительно, процесс трансформации содержания в волосах остеотропных биоэлементов при изменении прочности костной ткани, согласно данным дифференциального метода крайних уровней, отличается особым характером связей. Пропорционально степени роста коэффициента stf снижаются потери через волосы кальция, магния, стронция как в молодом возрасте, так и (более интенсивно) у пожилых обследованных (табл. 2 и 3). И наоборот, увеличенному содержанию в волосах этих биоэлементов соответствует снижение индекса прочности костной ткани. В противоположность этому при росте индекса прочности костной ткани stf от минимальных значений к максимальным имеет тенденцию к увеличению уровень в волосах калия и фосфора с одновременным снижением коэффициента Ca/P и оптимальным приближением его к нормальному соотношению. Описанная направленность процесса характеризует положительные тенденции обмена макроэлементов, позволяющие сохранить последнее в организме при развитии патологии.

Согласно гипотезе, остеопороз является следствием необратимой эндогенной деминерализации, вызванной, главным образом, потерей кальция. К ускоренному выведению его из организма приводит сложность «удержания» в кости. По мнению Б. Момчиловича, простое увеличение валового употребления кальция с пищей с целью «закачать его в кость» может оказаться в лучшем случае лишь паллиативной мерой. При изучении метаболизма кальция было показано, что, если значительно увеличить поступление кальция с пищей, на следующий день его концентрация в сыворотке крови заметно возрастает. Однако еще через день она опять снижается и в дальнейшем остается на том же уровне.

Для предотвращения развития остеопороза необходимо «удержать» имеющийся в организме кальций. По данным литературы, высокие значения коэффициента Ca/P отражают уменьшение энергетического обеспечения метаболизма кальция. Считается, что процессы, сопровождающиеся фосфордефицитным состоянием, приводят к потере кальция костной тканью и нарушению образования костной массы (Скальный, Рудаков, 2004; Крупка, Puczkowski, 2004; Момчилович, Ликкен, 2005). Полученные в наших исследованиях данные могут расцениваться как подтверждение нарушения усвоения кальция костной тканью в связи с абсолютным дефицитом фосфора, усугубляемым его относительной недостаточностью при повышенном уровне кальция. Например, высокие значения коэффициента Ca/P ( $Me = 46,3$ ) у девушек в периоде пубертата с синдромом дефицита костной массы ( $Me\ stf = 71$  отн. ед.) и снижение этого соотношения ( $Me = 22,7$ ) при нормальной

величине индекса жесткости костной ткани ( $Me\ stf = 110$  отн. ед.). Аналогичные тенденции выявлены и у лиц пожилого возраста. Однако при сравнительной оценке показателей следует учитывать влияние фактора возраста на степень элементной нагрузки организма и соответственно выраженность деструктивных процессов в костной ткани обследованных (остеопороз у пожилых и синдром остеопении в молодом возрасте). Уменьшенная циркулирующая масса биоэлементов у лиц пожилого возраста сопровождается более низкими значениями показателя Са/Р в этой группе обследованных: снижение коэффициента с 14,0 до 7,0 отн. ед.

С нашей точки зрения, возможна следующая интерпретация данных элементного спектра волос: содержание кальция, магния и стронция в большей степени характеризует уровень этих биоэлементов в организме. Абсолютные величины фосфора, калия и значения коэффициента Са/Р могут рассматриваться как показатели процесса усвоения кальция костной тканью.

Таким образом, для женщин характерен следующий баланс биоэлементов остеотропного действия: высокий обменный пул с большой массой циркулирующего в организме обменного кальция; метаболическая нестабильность макроэлемента и выраженная его подвижность, приводящие к усиленному кругообороту и активному тканевому перераспределению. В итоге эти особенности обуславливают «неудержание» кальция в кости и могут рассматриваться как один из определяющих факторов частого распространения синдрома дефицита костной массы и остеопороза именно в данной группе населения.

Возможно, недостаточную эффективность использования имеющихся различных модификаций препаратов кальция для профилактики рассматриваемой патологии в известной мере можно объяснить рассматриваемыми особенностями метаболических связей кальция. Нельзя исключить, что биологически активные добавки с кальцием (например, «Кальций-Д<sub>3</sub> Никомед») обеспечивают в большей степени поступление макроэлемента в организм, чем его «удержание» в кости. Чтобы поступающий кальций активно включить в костный метаболизм (особенно у женщин), его необ-

ходимо обеспечить таким энергоносителем, как фосфор. Разработка и применение в последние годы при лечении остеопороза бисфосфонатов (синтетических аналогов содержащегося в организме пирофосфата) или их комбинации с кальцием может реально повысить эффективность проводимых терапевтических мероприятий.

## ЛИТЕРАТУРА

*Арсюткин Н.В.* Комплексный подход и экспертные методы в оценке сложных процессов, в том числе интеграционных // Новая экономика. 2007. Вып. 9–10. С. 65–72.

*Барашков Г.К., Балкаров И. М., Зайцева Л.И., Кондахчан М.А., Константинова Е.А., Деньгин В.В.* Диапазон содержания тяжелых металлов (ТМ) в цельной крови взрослых россиян центра страны // Микроэлементы в медицине. 2003. Вып. 3. С. 1–5.

*Беневоленская Л.И.* Руководство по остеопорозу. М., 2003. 524 с.

*Гланц С.* Медико-биологическая статистика. М., 1999. 459 с.

*Закс Л.* Статистические оценивания. М., 1976. 104 с.

*Момчилович Б., Ликкен Дж. И.* Многоэлементный анализ волос в раннем выявлении остеопороза и избытка тяжелых металлов в организме: преимущества динамического исследования перед одномоментным // Микроэлементы в медицине. 2005. № 4. С. 37–39.

*Руденко Э.В.* Остеопороз: диагностика, лечение и профилактика. Минск, 2001. 158 с.

*Скальная М. Г., Демидов В.А., Скальный А. В.* О пределах физиологического (нормального) содержания Са, Mg, P, Fe, Zn и Cu в волосах человека // Микроэлементы в медицине. 2003. № 2. С. 5–10.

*Скальный А.В., Рудаков И.А.* Биоэлементы в медицине. М.:ОНИКС 21 век, 2004. 271 с.

*Bertram H.P.* Spurenelemente: Analytyk, toxikologisch und medicinische. klinische Bedeutung. Munchen, Wien, Baltimore, Urban und Schwarzenberg, 1992. 207 s.

*Krupka K., Puczkowski S.* Badanie pierwiastków wlosów. Laboratorium pierwiastków nieznacznej ilosci. Lodz, 2004. 48 s.

*Sawjer J.A., Bachrach L. K., Fung E.B.* Bone Densitometry in Growing Patients. USA, New Jersey, 2007. 452 s.