

УДК 543.53

ПРИМЕНЕНИЕ ГАММА-АКТИВАЦИОННОГО МЕТОДА К ИССЛЕДОВАНИЮ ВОЗРАСТНОЙ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ ДЕТЕЙ

И.И. Залюбовский¹, Н.П. Дикий², Е.П. Медведева², И.Д. Федорец¹, Т.В. Фролова³,
С.П. Шкляр³

¹Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61077, Украина

²Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
ул. Академическая 1, г. Харьков, 61108, Украина

³Харьковский государственный медицинский университет, просп. Ленина, 4, г. Харьков, 61022, Украина

Поступила в редакцию 16 ноября 2007 г.

Представляются результаты применения гамма-активационного метода к исследованию содержания элементов в волосах детей в зависимости от возраста, пола и некоторых соматических заболеваний. Образцы волос, весом около 1 г каждый, собранные у 203 школьника (93 мальчика и 110 девочек, возрастом от 9 до 16 лет) одной из пригородных школ, облучались тормозным гамма-излучением, вызываемым пучком электронов с энергий 25 МэВ и током до 700 мкА из мощного электронного ускорителя. Предел детектирования составлял от 10^{-5} %масс (для Са и Рb) до 10^{-7} %масс (для I) Особое внимание уделялось исследованию аналитических возможностей метода. Показано, что с помощью соответствующего усовершенствования экспериментальной методики, гамма-активационный метод может с успехом применяться не только для многоэлементного анализа биологических материалов, но и для исследования предпатологических состояний биологических систем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гамма-активационный метод, элементный анализ, тормозное излучение, образцы волос, предел детектирования.

В основе существования живых систем находится большое разнообразие элементов, которые содержатся в этих системах в очень малых количествах. Элементы, входя в состав металлоэнзимов, витаминов и других высокоактивных биополимеров, играют важную интегрирующую роль в регуляции обменных процессов на различных уровнях организации – организма в целом, отдельного органа, тканевом и молекулярном. Поэтому определение механизмов нарушения функционирования как отдельной клетки, так и организма в целом, выявление возможного экологического происхождения тех или иных заболеваний, а также раннее выявление предпосылок к возможным хроническим заболеваниям невозможны без исследования элементного состава биологических объектов. Известно, например, что наряду с гормональными, возрастными и другими факторами риска, недостаток или избыток таких микроэлементов, как фтор, марганец, медь, стронций свинец и др., может приводить к остеопорозу. Это системное заболевание скелета, характеризующееся уменьшением костной массы и нарушением микроархитектоники костной ткани, ведущими к повышению хрупкости кости и появлению переломов, занимает четвертое место по значимости среди неинфекционных заболеваний после сердечно-сосудистых, онкологических заболеваний и сахарного диабета. Значительная часть заболеваний, в том числе и костно-мышечной системы, у взрослых зарождается еще в детском возрасте [1-3]. Длющийся до 30-40 лет процесс накопления необходимой величины массы костной ткани находится под воздействием большого количества факторов риска. Многофакторная природа возникновения костных патологий, индивидуальный характер заболевания и, как правило, позднее его выявление сильно затрудняют разработку обобщенных диагностических критериев, необходимых для предупреждения дальнейшего развития патологии.

Чтобы полнее представить весь комплекс сложных взаимоотношений микроэлементов с теми биологическими процессами, которые протекают в условиях той или иной патологии, прежде всего, необходимо определить количественные соотношения между содержанием этих элементов в общей массе исследуемых проб, а затем попытаться установить какую роль они играют при наблюдаемых патологических состояниях и выяснить связь их содержания с морфологическими изменениями в отдельных частях тела. При исследовании костных патологий чаще всего в качестве проб используется костная ткань, полученная в результате операции или аутопсии [4]. Для анализа биологических объектов все более широкое применение находят ядерно-физические методы, поскольку они могут обеспечить одновременный многокомпонентный анализ с чувствительностью на уровне мкг/г. Ядерно-физические методы анализа отличаются как типом действующих на вещество излучений, так и способом регистрации эффектов, являющихся следствием этого воздействия. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, а значит и определенные ограничения в применении к решению задач элементного анализа.

Целью настоящей работы является применение гамма-активационного метода для изучения содержания элементов в волосах детей в зависимости от возраста, пола и наличия соматических нарушений. Поскольку свойства электромагнитных взаимодействий хорошо изучены, при использовании гамма-активационного

метода можно избавиться от целого ряда неопределенностей, присущих ядерным реакциям под действием нуклонов. Существенная разница в энергиях испускаемых излучений, периодах полураспада, пороговых энергиях фотоядерных реакций и функциях возбуждения должны обеспечить более высокую селективность определения отдельных элементов и их соединений, чем в случае применения других методов. Выбор волос в качестве анализируемых проб основывается на предположении, что измеренную концентрацию элементов в волосах можно использовать как количественный индикатор содержания элементов в других частях тела [5-7].

Предварительные результаты данных исследований были представлены в работе [8].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Гамма-активационный анализ основывается на использовании в качестве возбуждающего излучения потоков фотонов достаточно высокой энергии [9-10]. Зависимость сечений (γ, n) -реакции, вклад которой в полные сечения фотоядерных реакций на ядрах $Z \geq 15$ является преобладающим, от энергии фотонов имеет похожий для всех ядер резонансоподобный вид, называемый гигантским дипольным резонансом (ГДР). В соответствии с современными данными энергия E_R максимума этого гигантского резонанса плавно зависит от массового числа A поглощающего гамма-квант ядра [11]:

$$E_R \approx 31,2A^{-1/3} + 20,6A^{-1/6} \text{ МэВ}, \quad (1)$$

а его ширина меняется от 4 МэВ в ^{208}Pb до 15 МэВ в ^{23}Na .

Каждый из нуклидов характеризуется определенными значениями пороговой энергии фотоядерной реакции, энергии и сечения реакции в максимуме гигантского резонанса. Значения сечений быстро растут с увеличением атомного номера нуклида для реакций с вылетом нуклонов. Для легких ядер сечения реакций (γ, n) и (γ, p) становятся близкими по величине. Высокая избирательность этого метода анализа, в котором регистрируется гамма-излучение радионуклидов, являющихся продуктами фотоядерных реакций, обеспечивается разнообразием измеряемых величин, а также большой дифференциацией радионуклидов по каждому из измеряемых параметров (энергии гамма-квантов, периодов полураспада и т.п.). Как и в любом другом виде активационного анализа в методе гамма-активационного анализа образцы сначала облучают, выдерживают и регистрируют наведенную активность. Разработка методики гамма-активационного анализа, ориентированной на определенную группу элементов, заключается в выборе оптимальных временных режимов облучения и анализа, оптимальной энергии активационного излучения (или набора энергий), оптимизации геометрии облучения образца и измерения его наведенной активности, оптимизации режимов работы ускорителя электронов (формирование спектра тормозного излучения, выбор оптимальной толщины и конструкции мишени), определения тока ускоренных электронов, необходимого для обеспечения необходимой чувствительности и точности. К тому же, необходимо выбрать радионуклид и γ -линии, по которым будет осуществляться идентификация и количественное определение исследуемого элемента, разработать алгоритм обработки результатов, и оценить влияние мешающих факторов. Анализ функции возбуждения фотоядерных реакций показывает, что активационный эффект зависит от максимальной энергии тормозного излучения. Изменение энергии тормозного излучения всего на 50-70 кэВ (в диапазоне энергий от пороговой до ГДР) может вызвать изменение выхода продукта фотоядерной реакции до 10%. Поэтому в гамма-активационных измерениях значительное внимание уделяется стабильности энергии и энергетическому разбросу пучка ускоренных электронов, как источника тормозного излучения.

В работе для активации образцов использовалось тормозное излучение, которое генерировалось пучком электронов с энергией 25 МэВ и током до 700 мкА при прохождении через танталовый конвертор. Одновременно при этом возникали нейтроны из реакции (γ, n) на тантале. Электронная и нейтронная составляющая потока гамма-квантов поглощалась расположенной за конвертором системой фильтров из алюминия и парафина. Спектры γ -излучения образцов после их активации измерялись в строго контролируемой геометрии Ge(Li)-детектором объемом 50 см³ и энергетическим разрешением 2,8 кэВ при энергии 1333 кэВ. Для калибровки абсолютной эффективности спектрометра использовались спектрометрические гамма-источники ОСГИ-3-1, аттестованные с погрешностью 1 – 2,5%. Эффективность повторно проверялась при любых изменениях в геометрии. Время измерения отдельно взятого спектра составляло от 10 минут до 5 часов в зависимости от активности образца. Типичный спектр гамма-излучения анализируемого образца волос, измеренный после его активации на линейном ускорителе электронов ННЦ ХФТИ показан на рис. 1. В спектре наблюдаются линии, соответствующие излучению радионуклидов, которые образовались в результате следующих реакций: $^{48}\text{Ca}(\gamma, n)^{47}\text{Ca} \rightarrow ^{47}\text{Sc}$, $^{68}\text{Zn}(\gamma, p)^{67}\text{Cu}$, $^{204}\text{Pb}(\gamma, n)^{203}\text{Pb}$, $^{44}\text{Ca}(\gamma, p)^{43}\text{K}$, $^{127}\text{I}(\gamma, n)^{126}\text{I}$, $^{90}\text{Zr}(\gamma, n)^{89}\text{Zr}$, $^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$. На линию 389 кэВ, относящуюся к радионуклиду ^{126}I , накладывается линия, соответствующая гамма-излучению радионуклида $^{87\text{m}}\text{Sr}$, образовавшегося в результате реакции $^{88}\text{Sr}(\gamma, n)^{87\text{m}}\text{Sr}$. В спектре присутствуют также гамма-линии, относящиеся к радионуклидам, образовавшимся в результате взаимодействия с алюминиевым контейнером и присутствующими в нем примесями: $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ и $^{55}\text{Mn}(n, \gamma)^{56}\text{Mn}$. Следует отметить, что происхождение идентифицированного по реакции $^{90}\text{Zr}(\gamma, n)^{89}\text{Zr}$ циркония однозначно установить не удалось. Накапливаемые как функция времени спектры гамма-лучей

анализировались с помощью реализованных на персональном компьютере программ Baltispectr-3, SAMPO [12] и АСТИВ[13]. Конечной целью анализа был перевод сложных спектров γ -лучей, измеренных в результате γ -спектроскопии облученных образцов, в совокупность данных о выходах исследуемых нуклидов. Идентификация радионуклидов производилась по характерным γ -линиям и периодам полураспада ядер.

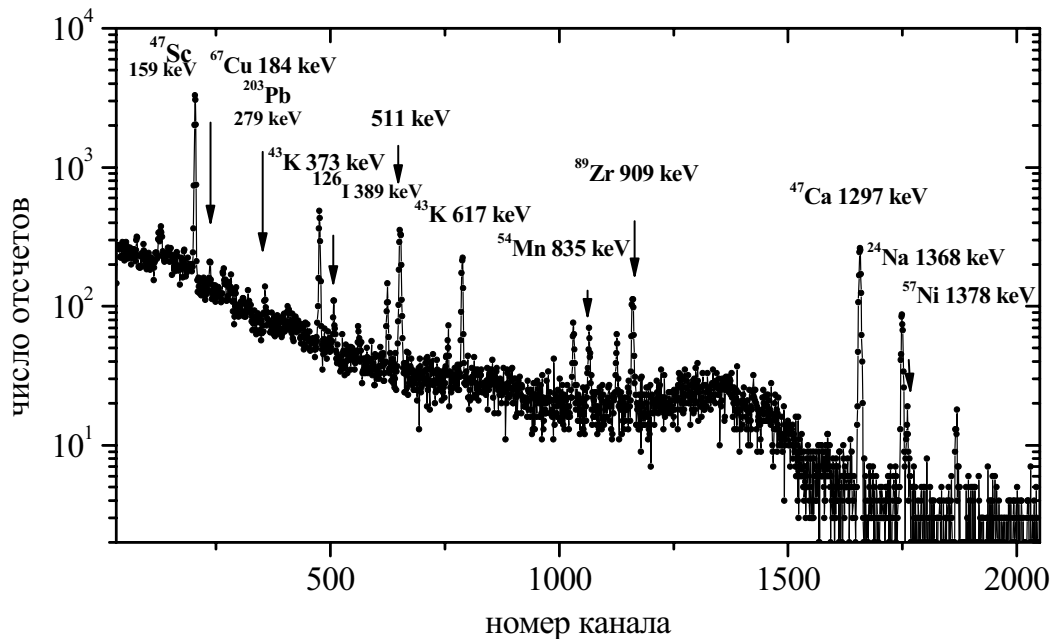


Рис. 1. Пример спектра гамма-излучения одного из образцов волос, измеренного после его активации на линейном ускорителе электронов.

Количество ядер данного типа в образце определялось из уравнения активации:

$$N_d = \frac{1}{\lambda} K \sigma(E_\gamma) (1 - e^{-\lambda t_1}) e^{-\lambda t_2} (1 - e^{-\lambda t_3}), \quad (2)$$

в котором N_d – количество зарегистрированных за конечный промежуток времени распадов; K – коэффициент, в который входит количество ядер в облученной мишени, поток налетающих фотонов, эффективность детектора и коэффициент ветвления в схеме распада конечного в распаде ядра; $\sigma(E_\gamma)$ – сечение образования нуклида для налетающих γ -квантов с энергией E_γ ; t_1 , t_2 , t_3 – времена облучения, выдержки и измерения соответственно. В процессе количественного определения содержания элементов в пробе использовались специально подготовленные эталонные образцы или метод внешнего монитора, если таковым мог служить один из хорошо известных компонентов пробы.

Подготовка проб волос проводилась в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [14]. Всего было обследовано 203 школьника (93 мальчика и 110 девочек в возрасте от 9 до 16 лет) одного из пригородов г. Харькова. В данной работе приведены результаты исследования возрастной динамики содержания изотопа кальция ^{44}Ca , йода и свинца. Изотоп кальция ^{44}Ca можно рассматривать как легкую фракцию кальция. Наиболее информативным является показатель соотношения изотопов ^{44}Ca и ^{48}Ca , который позволяет судить о трансмембранной циркуляции кальция. Кальций присутствует во всех тканях и жидкостях биологических объектов, его ионы влияют практически на все процессы, происходящие в клетке, активируют действие многих ферментов, способствуют сворачиванию крови, регулируют проницаемость мембран, стимулируют передачу нервных импульсов и являются основными участниками мышечных сокращений. Определенный уровень ионов кальция поддерживается особыми гормонами, которые выделяются щитовидной и паращитовидной железами. Щитовидная железа существенно влияет на обмен веществ в костной системе в период роста, развития и непрерывной физиологической возрастной перестройки [15]. Деятельность щитовидной железы критически зависит от содержания йода. В организме свинец присутствует в качестве нормального компонента органов и тканей животных и человека. Дисбаланс содержания свинца в биообъектах приводит либо к токсикологическим последствиям, либо к остеопорозу, так как свинец тесно связан с обменными процессами в костной ткани. На этом основывался выбор элементов для исследования. Предел их обнаружения в работе составлял от 10^{-5} (для Ca и Pb) до $10^{-7}\%$ масс (для I) при весе каждой пробы около 1 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Среди 93 обследованных мальчиков средний показатель абсолютного содержания кальция (M_{Ca}) в волосах колебался в пределах $(2,88 \pm 3,07)$ мг/г и зависел от возраста (табл.1). Наибольшим он был у 13-14 летних, а наименьшим – у 9 летних мальчиков (соответственно $(3,07 \pm 0,22)$ мг/г и $(2,78 \pm 0,44)$ мг/г; $p < 0,001$). При этом вариации показателя M_{Ca} в зависимости от возраста находятся в пределах $(0,72 \div 3,31)\%$, что соответствует низкому уровню изменчивости ($Cv \leq 3,31$) показателя.

Анализ динамики изменений среднего показателя M_{Ca} показал, что его популяционная модель имеет нелинейный характер и с высокой точностью отражает ($R^2 = 0,98$) возрастные закономерности его изменений у мальчиков и выражается следующим полиномом: $M_{CaM} = 3,021 - 0,264x + 0,147x^2 - 0,025x^3 + 0,001x^4$.

В возрасте 9-16 лет ежегодный темп прироста показателя M_{Ca} в волосах мальчиков колеблется от $-0,04\%$ в возрасте 15 лет до $+2,79\%$ в возрасте 11 лет. В интервале (9÷16) лет содержание кальция в волосах мальчиков в целом увеличивается на $7,47\%$, но этот процесс характеризуется неравномерностью, что проявляется в достоверном увеличении прироста показателя M_{Ca} в волосах 11 летних мальчиков ($t = 1,02$; $p > 0,05$) и его достоверным увеличением в 13 летнем возрасте ($t = 3,47$; $p < 0,001$) с дальнейшей стабилизацией этого показателя.

Таблица 1. Минеральный состав волос детей разного возраста и пола: кальций (Ca^{44} , мг/г)

Показатели		Возраст детей (лет)							
		9	10	11	12	13	14	15	16
мальчики (n=93)	количество особ	5	6	13	20	16	8	9	16
	M_{Ca} мг/г	2,878	2,907 ^a	2,988	3,04 ^a	3,07 ^a	3,07 ^a	2,95	3,00 ^a
	SD_{Ca} , мг/г	0,044	0,044	0,099	0,076	0,033	0,022	0,085	0,044
	$\pm \Delta M_{Ca}$, %	-	+1,01	+2,79	+1,74	+0,95	0,00	-0,04	+1,02
	Cv , %	1,53	1,51	3,31	2,50	1,08	0,72	2,88	1,47
	t	-	0,47	1,02	1,84	3,47	0,13	1,27	1,25
девочки (n=110)	количество особ	7	12	15	19	13	18	16	10
	M_{Ca} мг/г	2,803	2,575 ^b	2,61 ^b	2,66 ^b	2,799	2,87	2,87	2,78
	SD_{Ca} , мг/г	0,062	0,114	0,108	0,113	0,066	0,053	0,09	0,148
	$\pm \Delta M_{Ca}$, %	-	-8,13	+1,44	+1,84	+5,23	-0,03	0,00	+0,97
	Cv , %	2,21	4,43	4,13	4,25	2,36	1,85	3,26	5,32
	t	-	1,76	1,53	0,73	1,72	2,24	0,10	0,57

M_{Ca} – среднее значение содержания элемента (мг/г волос); SD_{Ca} – среднее квадратичное отклонение (мг/г волос); Cv – коэффициент вариации относительно показателя; t – параметрический критерий Стьюдента; $\pm \Delta M$ – ежегодный темп прироста; ^a – $p < 0,05$ в сравнении с девочками; ^b – $p < 0,05$ в сравнении с предыдущей возрастной группой относительно пола.

Средний показатель абсолютного содержания кальция (M_{Ca}) в волосах 110 обследованных девочек (табл.1) колебался в пределах $(2,61 \pm 2,87)$ мг/г и зависел от возраста девочек: наибольшим он был у 14-15-летних, а наименьшим – у 11-летних (соответственно $(2,87 \pm 0,09)$ мг/г и $(2,61 \pm 0,108)$ г/г; ($p < 0,05$). Анализ динамики изменений среднего показателя M_{Ca} в волосах девочек показал, что его популяционная модель имеет нелинейный характер и с достаточно высокой точностью воспроизведения ($R^2 = 0,93$) возрастной закономерности у девочек отображается следующим полиномом: $M_{CaD} = 3,49 - 1,003x + 0,353x^2 - 0,047x^3 + 0,002x^4$ (мг/г). В возрасте 9-16 лет ежегодный темп прироста показателя M_{Ca} в волосах девочек колеблется от $-8,13\%$ в возрасте 10 лет до $+5,23\%$ в 11 лет. С 9 до 16 лет содержание кальция в волосах девочек в целом увеличивается на $1,32\%$, но этот процесс характеризуется неравномерностью, что проявляется резким уменьшением содержания кальция у 10-летних девочек и достоверным увеличением M_{Ca} у 14-летних девочек ($t = 2,24$; $p > 0,05$) с дальнейшей стабилизацией M_{Ca} в волосах девочек старшей возрастной группы.

Средний показатель абсолютного содержания свинца (M_{Pb}) среди 93 обследованных мальчиков (табл.2) колебался в пределах $(3,98 \div 4,36)$ мкг/г и зависел от возраста: наибольшим он был у 9-летних, а наименьшим – у 13-летних (соответственно $(4,36 \pm 0,16)$ мкг/г и $(3,98 \pm 0,33)$ мкг/г; $p < 0,05$). При этом вариации показателя M_{Pb} в зависимости от возраста находятся в пределах $(3,61 \div 11,1)\%$, что соответствует среднему уровню изменчивости ($Cv \leq 11,1\%$). Анализ динамики изменений среднего показателя абсолютного содержания свинца (M_{Pb}) показал, что его популяционная модель имеет нелинейный характер и с высокой точностью отражает ($R^2 = 0,99$) возрастную закономерность его изменений у мальчиков и выражается полиномом: $M_{PbM} = 9,6 - 11,2x + 8,6x^2 - 3,2x^3 + 0,6x^4 - 0,06x^5$. В возрасте 9-16 лет ежегодный темп прироста показателя абсолютного содержания свинца в волосах мальчиков колеблется от $-7,8\%$ в возрасте 13 лет до $+3,85\%$ в возрасте 12 лет.

Средний показатель содержания свинца (M_{Pb}) среди 110 обследованных девочек (табл.2) колебался в пределах $(2,95 \div 4,10)$ мкг/г и зависел от возраста девочек; наибольшим он был у 9-летних, а наименьшим – у 10 и 14-летних

девочек (соответственно $(4,10 \pm 0,29)$ мкг/г та $(2,96 \pm 0,22)$ мкг/г; $p < 0,05$). Вариации показателя содержания свинца в зависимости от возраста девочек составляют $(6,28 \div 8,78)\%$, что соответствует низкому урону изменчивости ($Cv \leq 8,78\%$).

Таблица 2. Содержание свинца в волосах детей разного возраста и пола (Pb, мкг/г)

Показатели		Возраст детей (лет)							
		9	10	11	12	13	14	15	16
мальчики (n=93)	Количество	5	6	13	20	16	8	9	16
	M_{Pb} , мкг/г	4,36	4,12 ^a	4,16 ^a	4,32 ^a	3,98	4,16 ^a	3,95 ^a	4,10 ^a
	SD_{Pb} , мкг/г	0,16	0,34	0,15	0,17	0,33	0,38	0,44	0,23
	$\pm \Delta M_{Pb}$, %	-	-5,50	+0,97	+3,85	-7,87	+4,52	-5,05	+3,80
	Cv , %	3,67	8,25	3,61	3,94	8,29	9,13	11,14	5,61
	t	-	0,64	0,11	0,71	1,04	0,36	0,36	0,30
девочки (n=110)	Количество	7	12	15	19	13	18	16	10
	M_{Pb} , мкг/г	4,10	2,96 ^b	3,13	3,66	3,51	2,95 ^b	3,16	3,12
	SD_{Pb} , мкг/г	0,29	0,26	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21	0,28
	$\pm \Delta M_{Pb}$, %	-	-27,8	+5,74	+16,9	-4,10	-0,16	+0,07	-0,99
	Cv , %	7,07	8,78	9,90	6,28	7,12	7,46	6,65	8,97
	t	-	2,93	0,42	1,82	0,44	2,23	0,69	0,11

M_{Pb} – среднее значение содержания элемента (мкг/г волос); SD_{Pb} – среднее квадратичное отклонение (мкг/г волос); Cv – коэффициент вариации соответствующего показателя; t – критерий Стьюдента; $\pm \Delta M$ – ежегодный темп прироста; ^a – $p < 0,05$ в сравнении с девочками; ^b – $p < 0,05$ в сравнении с предыдущей возрастной группой относительно пола

Популяционная модель изменений среднего показателя абсолютного содержания свинца в волосах девочек имеет нелинейный характер и с точностью $R^2 = 0,94$ возрастной закономерности у девочек может быть описана следующим полиномом: $M_{Pbд} = 10,8 - 11,3x + 5,8x^2 - 1,32x^3 + 0,14x^4 + 0,005x^5$ (мкг/г).

В возрасте 9-16 лет ежегодный темп прироста показателя абсолютного содержания свинца в волосах мальчиков колеблется от -27,8% в возрасте 10 лет до +16,9% в 12 лет. С 9 до 16 лет содержание свинца в волосах девочек увеличивается на -10,34%; этот процесс характеризуется неравномерностью, что проявляется в уменьшении содержания свинца в волосах 10-летних ($t = 2,93$; $p < 0,05$) и достоверном уменьшении абсолютного его содержания в волосах 15-летних девочек ($t = 2,23$; $p < 0,05$).

Средний показатель абсолютного содержания йода (M_I) в волосах 93 обследуемых мальчиков (табл.3) колебался в пределах $(13,2 \div 17,6)$ мкг/г и зависел от возраста: наибольшим он был у 15-летних, а наименьшим – у 9-летних (соответственно $(17,6 \pm 0,63)$ мкг/г та $(13,2 \pm 0,27)$ мкг/г; $p < 0,05$). Вариации показателя содержания йода в зависимости от возраста у мальчиков составляют $(1,14 \div 4,41)\%$, что соответствует низкому уровню изменчивости ($Cv \leq 4,41\%$). Популяционная модель изменений показателя M_I в волосах мальчиков имеет нелинейный характер и выражается полиномом: $M_{IM} = 13,47 - 3,9x + 5,32x^2 - 2,0x^3 + 0,3x^4$ (мкг/г).

В возрасте 9-16 лет ежегодный темп прироста показателя абсолютного содержания йода в волосах мальчиков колеблется от -10,1% в возрасте 16 лет до +15,7% в 15 лет. За период (9÷16) лет содержание йода в волосах мальчиков в целом увеличивается на 22,6%. Этот процесс характеризуется неравномерностью, что проявляется резким увеличением содержания йода в волосах 10, 11, 12-летних мальчиков (соответственно $t=2,5$; $p < 0,05$ и $t=2,1$; $p < 0,05$ и $t=3,9$; $p < 0,001$) с дальнейшим увеличением йода в волосах мальчиков в 15 лет ($p < 0,05$) и его уменьшение в 16 лет ($p < 0,05$).

Средний показатель содержания йода (M_I) среди 110 обследованных девочек (табл.3) колебался в пределах $(15,3 \div 20,6)$ мкг/г и также зависел от возраста девочек. Его наибольший показатель отмечался у девочек 12 летних, а наименьший – у девочек в 9 лет (соответственно $(20,6 \pm 0,96)$ мкг/г и $(15,3 \pm 0,40)$ мкг/г; $p < 0,05$). Вариации показателя содержания йода в волосах зависят от возраста девочек и составляют $(2,61 \div 4,83)\%$, что отвечает низкому уровню изменчивости ($Cv \leq 4,83\%$). Популяционная модель изменений среднего показателя абсолютного содержания йода в волосах девочек имеет нелинейный характер и с точностью $R^2 = 0,96$ отображается полиномом: $M_{Id} = -0,49 + 22,8x - 7,87x^2 + 1,06x^3 - 0,05x^4$ (мкг/г).

В возрасте 9-16 лет ежегодный темп прироста показателя абсолютного содержания йода в волосах девочек колеблется от -7,67% в 13 лет до +45,1% в 10 лет. С 9 до 16 лет содержание йода в целом возрастает на 33,9%. Этот процесс характеризуется неравномерностью, что проявляется резким увеличением содержания йода у 10-летних девочек ($t=6,7$; $p < 0,0001$) с дальнейшим отсутствием достоверной динамики этого показателя ($p > 0,05$).

Среди представленных выше результатов обследования практически здоровых детей были выявлены 16 детей с отклонениями от нормы по данным денситометрии и содержания элементов в волосах, измеренных гамма-активационным методом.

Таблица 3. Минеральный состав волос детей разного возраста и пола: (I, мкг/г)

Показатели		Возраст детей (лет)							
		9	10	11	12	13	14	15	16
мальчики (n=93)	Количество	5	6	13	20	16	8	9	16
	M_I , мкг/г	13,2 ^a	14,9 ^a	16,3 ^a	14,5 ^a	14,8 ^a	15,2 ^a	17,6 ^a	15,8 ^a
	SD_I , мкг/г	0,27	0,66	0,65	0,19	0,17	0,40	0,63	0,54
	$\pm \Delta M_I$, %	-	+13,5	+12,15	-13,7	+2,41	+2,63	+15,7	-10,1
	Cv , %	2,05	4,41	3,33	1,31	1,14	2,62	3,57	3,41
	t	-	2,5	2,1	3,9	1,4	1,7	3,2	2,1
Девочки (n=110)	Количество	7	12	15	19	13	18	16	10
	M_I , мкг/г	15,3	22,2 ^b	20,34	20,6 ^b	19,02	18,14	19,1 ^b	19,4 ^b
	SD_I , мкг/г	0,40	0,95	0,96	0,96	0,77	0,55	0,62	0,94
	$\pm \Delta M_I$, %	-	+45,1	-8,38	+1,28	-7,67	-4,63	+5,35	+1,83
	Cv , %	2,61	4,28	4,72	4,66	4,05	3,03	3,24	4,83
	t	-	6,7	1,4	0,2	1,3	0,9	1,1	0,3

M_I – среднее значение содержания (мкг/г волос); SD_I – среднеквадратичное отклонение средней величины (мкг/г волос); Cv – коэффициент вариации показателя; t – критерий Стьюдента; $\pm \Delta M$ – ежегодный темп прироста; ^a – $p < 0,05$ по сравнению с девочками; ^b – $p < 0,05$ в сравнении с предыдущей возрастной группой относительно пола

На рис.2 представлена зависимость содержания свинца от содержания йода в волосах детей, с обнаруженными отклонениями по данным денситометрии.

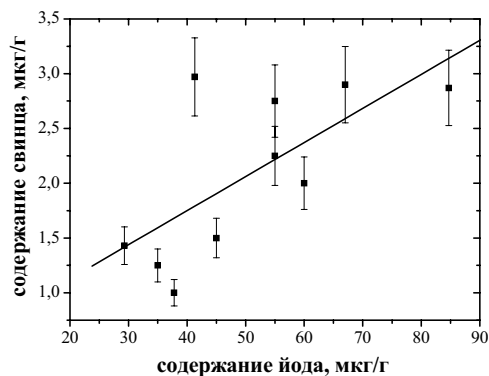


Рис. 2. Содержание свинца в зависимости от содержания йода в волосах детей

На рис. 3 и 4 приведены зависимости содержания свинца от содержания кальция и содержания кальция от содержания йода.

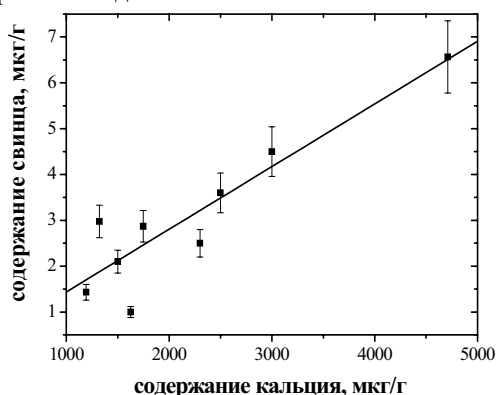


Рис. 3. Содержание свинца в зависимости от содержания кальция в волосах детей

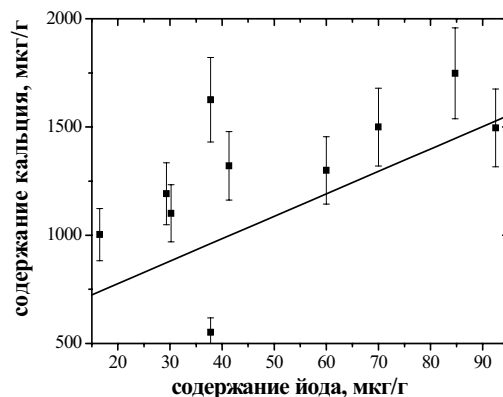


Рис. 4. Содержание кальция в зависимости от содержания йода в волосах детей

Из приведенных рисунков видно, насколько содержание этих трех элементов (Ca, Pb, I) в волосах детей взаимосвязано: выведение любого из этих элементов приводит к дефициту двух других, что, по-видимому, является одной из причин, которая способствует развитию патологии костной ткани.

Известно [1,16], что йод является незаменимым компонентом гормонов щитовидной железы, которые ускоряют костное ремоделирование и таким образом влияют на состояние костной ткани. Обмен микроэлементом свинца во многом подобен обмену кальция, в результате чего происходит замещение Ca в костной ткани, что ведет к деминерализации кости.

ВЫВОДЫ

Представлены результаты разработки и применения гамма-активационного метода для определения содержания элементов в волосах детей в зависимости от возраста и пола. Показано, что метод гамма-активационного анализа с активацией образцов тормозным излучением от электронного ускорителя может быть эффективно использован в исследованиях метаболических нарушений, в том числе и связанных со структурно-функциональным состоянием костной ткани, в популяционных группах детей Харьковского региона.

Полученные результаты указывают на диагностическую ценность и прогностическое значение определения содержания и изучения взаимосвязи кальция, свинца, йода в волосах детей для раннего выявления формирующихся патологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Остеопороз: эпидемиология, клиника, диагностика, профилактика и лечение /Под ред. Корж Н.А., Поворознюк В.В., Дедух Н.В., Зупанец И.А. – Х.: Золотые страницы, 2002. – 648с.
2. Fehily A.M., Coles R., Evans R.J. et al. Factors affecting bone density in young adults //Am. J. Clin. Nutr. – 1992. – Vol.52. – P.579-586.
3. Крысь-Пугач А.П., Кинчая-Полищук Т.А., Гайко О.Г. Остеопороз у детей и подростков. Остеопороз: эпидемиология, клиника, диагностика, профилактика и лечение. – Х.: Золотые страницы, 2002. – С.162-188.
4. Zhang Y.X., Wang Y.S., Zhang Y.P. et al. Investigation of elemental distribution in human femoral head by PIXE and SRXRF microprobe // Nucl. Instr. and Meth. – 2007. – Vol.B 260. – P.178-183.
5. Valkovic V. Trace Elements in Human Hair. – New York and London: Garland STPM Press, 1977. – 194p.
6. Peereboom J.W.C. (ed.). Trace Element, Health and Hair Analysis // Proc. Int. Symp., Amsterdam. – 1982.
7. Zeng X., Yao H., Mu M. et al. PIXE analysis of scalp hair from carcinoma patients //Nucl. Instr. and Meth. – 1987. – Vol.B 22. – P.172-175.
8. Dikiy N.P., Dovbnya A.N., Fedorets I.D. et al. // Books of abstracts of the LVII Intern. Conference on nuclear physics “Nucleus – 2007”. Voronezh, 2007. – Saint-Petersburg. – 2007. – P.285.
9. Бурмистренко Ю.Н. Фотоядерный анализ состава вещества. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 200с.
10. Segebade C., Weise H.-D., Lutz G.J. Photon Activation Analysis. – Berlin, New York. De Gruyter. – 1988.
11. Handbook for calculations of nuclear reaction data, RIPL-2. Final report of a coordinated research project. – 2005. <http://www.nds.iaea.or.at/ripl2>
12. Koskelo M.J., Aarino P.A., Routti J.T. SAMPO 80: an accurate gamma spectrum analysis method for minicomputer //Nucl. Instr. Methods. – 1981. – Vol. 190. – P.98-99.
13. Злокозов В.Б. АСТИV-программа автоматической обработки γ -спектров: Препринт / ОИЯИ P10-82-105. – Дубна, 1982. – 18с.
14. International Atomic Energy Agency, Reference Methods for Marine Pollution Studies, N46 (IAEA-MEL), Vienna, 1987.
15. Спужак М.І., Тяжолова О.В. Стан структури кісток при захворюванні щитоподібної залози за даними променевих методів дослідження //Український радіологічний журнал. – 2006. – Т.14. – С.285-290.
16. Дедух Н.В., Шевченко Н.С., Ермак Т.А., Шевченко С.Д. Содержание минералов в кости и минеральная плотность костной ткани у детей и подростков //Проблемы остеологии. – 1998. – Т.1, №2-3. – С.29-31.

APPLICATION OF PHOTON ACTIVATION METHOD TO THE INVESTIGATION OF AGE TREND IN ELEMENT CONTENT OF CHILD'S HAIR

I.I. Zalyubovsky¹, N.P. Dikiy², E.P. Medvedeva², I.D. Fedorets¹, T.V. Frolova³, S.P. Shklyar³

¹N.V.Karasin Kharkiv National University, Svobody sq. 4, Kharkov, Ukraine, 61077

²National Scientific Center “Kharkov Institute of Physics and Technology”, Akademicheskaya st. 1, Kharkov, Ukraine, 61108

³Kharkiv State Medical University, Kharkov, Lenin's av, 4, Ukraine, 61022

Results of the application of photon activation method to the determination of element content in child's hair depending on age, sex and some somatic diseases are presented. The hair samples by weight about 1g each of have been collected from 203 pupils (93 male and 110 female, age range 9-16 y) from one of the suburban schools and were irradiated by the bremsstrahlung using the 700 mA, 25 MeV electron beam from the high-power electron accelerator. The detection limit was ranged from 10^{-5} % mass (for Ca and Pb) to 10^{-7} % mass (for I). Within the present context, serious consideration has been paid to studies of the analytical scope of this method. It has been shown that with suitable development of experimental techniques, photon activation method can be applied with advantage not only for analysis of biological materials but also and for revealing and research of prepatological conditions of biological systems.

KEY WORDS: photon activation method, element analysis, bremsstrahlung, hair samples, detection limit.