УДК 616.43/45:616.71-001.5-007.234

ГЕНДЕРНЫЕ РАЗЛИЧИЯ МАССЫ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В КОСТЯХ СКЕЛЕТА В ВОЗРАСТНОМ АСПЕКТЕ

Свешников К.А., Свешников А.А.

ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова Минздравсоцразвития РФ», Курган, e-mail: www.ilizarov.ru

На рентгеновском двухэнергетическом костном денситометре фирмы «GE/Lunar Corp.» (США) обследовали 14141 здоровых людей в возрасте от 3 до 85 лет, из них женщин — 9179, мужчин — 4962. Построены гендерные ряды и в возрастном аспекте проанализированы изменения массы минералов в крупных сегментах скелета. Показано, что наименьшие возрастные изменения массы минералов происходят в костях верхних конечностей. Затем следуют кости нижних конечностей. Существенный вклад в проявление остеопении и остеопороза вносит туловище, где сосредоточена основная масса трабекулярной кости. Сравнение гендерных рядов показало, что остеопения и остеопороз раньше выявляются и степень изменений большая у женщин. Основными факторами, оказывающими влияние на размер и массивность скелета, являются: генетическая код, механическая нагрузка, гормональный статус и питание, недостаточное или длительное (более 10 лет) употребление кальция ниже нормы. Клеточным механизмом, который лежит в основе истончения трабекул, является связанное с возрастом снижение массы матрикса, синтезируемого остеобластами. Это приводит к уменьшению толщины степки остеона губчатой кости в каждом цикле ремоделирования и, как следствие, к отрицательному костному балансу.

Ключевые слова: минералы кости, гендерные различия, остеопения, остеопороз

GENDER DIFFERENCES OF MASS MINERALS IN BONES IN AGE ASPECT Sveshnikov K.A., Sveshnikov A.A.

Federal state institution «Russian Ilizarov Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopaedics», Kurgan, e-mail: www.ilizarov.ru

On the X-ray two-energy bone densitometer of firm «GE/Lunar Of corp.» (USA) inspected 14141 healthy people at the age from 3 to 85 years, of them women – 9179, men – 4962. Are built numbers and in the aspect dependent on age are analyzed changes of the mass of minerals in the large segments of skeleton. It is shown that the smallest changes in the mass of minerals dependent on age occur in the bones of upper extremities. Then they follow the bone of lower extremities. The significant contribution to the manifestation of osteopenii and osteoporosis introduces the body, where it is concentrated bulk of trabecular bone. The comparison of gendernykh numbers showed osteopeniya and osteoporosis earlier they are revealed and the degree of changes large in women. Basic factors, that render influence on the size and massiveness of skeleton are: genetic is the code, mechanical load, hormonal status and nourishment, the insufficient or prolonged (more than 10 years) use of calcium lower than standard. The cellular mechanism, which is the basis of thinning trabeculas, is the decrease in the mass of the matrix, connected with the age, synthesized by osteoblasts. This leads to the decrease of the thickness of the wall of the osteon of spongy bone in each cycle of remodelirovaniya and, as a result, to the negative bone balance.

Keywords: bone minerals, gender differences, osteopeniâ, osteoporosis

По вопросу о гендерных (половых) различиях минеральной плотности костей (ПМК) в настоящее время есть всего лишь одна публикация [4]. Малочисленность данных обусловлена тем, что задача изучения остеопороза у мужчин в ближайшие 10 лет поставлена II Российским конгрессом по остеопорозу только в 2005 году. В определенной мере сказывалось и недостаточное число костных денситометров. Нами МПК систематически изучается у здоровых людей уже 33 года. Первая база данных была опубликована в «Физиологии человека» в 1987–1989 гг. [1, 2], а вторая – выполнена по проекту РФФИ в 2006 г. на рентгеновском двухэнергетическом денситометре [3].

Изучение вопроса о гендерных различиях стало возможным благодаря неинвазивному методу — рентгеновской двухэнергетической абсорбциометрии, которая применяется в ФГУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова Росмедтехнологий» с 2002 года.

Цель работы состояла в изучении вопроса о гендерных различиях МПК в возрасте 3–85 лет.

Материал и методы исследования

Нами обследовано 14141 здоровых людей в возрасте от 3 до 85 лет, из них женщин — 9179, мужчин — 4962. Все обследованные были здоровыми людьми, проживающими на территории Уральского региона. Это была случайная выборка людей. В исследование не включались те, кто имел заболевания скелета или применял препараты, влияющие на минеральный обмен.

Измерение МПК проводили на рентгеновском двухэнергетическом костном денситометре фирмы «GE/Lunar Corp.» (США) в стандартных точках: поясничном отделе позвоночника, шейках бедренных костей и во всем теле. В позвоночнике, наряду с МПК (г/см²), определяли суммарное содержание минералов в граммах во всем позвонке и в их сочетаниях.

Сравнение полученных результатов осуществляли с учетом методических рекомендаций Международного общества клинической денситометрии (ISCD, 2003, 2005, 2007 гг.).

В качестве инструмента вычислений использованы пакет статистического анализа и встроенные формулы расчетов данных компьютерной программы Microsoft ® Excel (2007).

Результаты исследования и их обсуждение

Темп накопления минеральной массы в 5–7 лет одинаковый у мальчиков и девочек несмотря на то, что у мальчиков в 5–5,5 лет отмечен первый скачок роста, а у девочек он происходил в 6–6,5 лет (табл. 1).

Во время второго скачка роста увеличение МПК у мальчиков отличается от такового у девочек по двум причинам: у мальчиков на два года больше предпубертатный рост из-за более позднего наступления половой зрелости (возраст 14 лет по сравнению с 12 годами у девочек), и длится скачок роста в периоде полового созревания около 4 лет, по сравнению с таковым у девочек, составляющим 3 года. Эти отличия предопределяют более высокие показатели пиковой костной массы у мальчиков.

Различия в увеличении массы минеральных веществ (г) у детей в возрасте 5–19 лет ($M\pm SD$)

Пол	Возраст (годы)				
Пол	5–7	8–10	11–13	14–16	17–19
Женский	$199,22 \pm 13,93$	$298,14 \pm 23,84$	$426,09 \pm 29,82$	$524,11 \pm 41,92$	$172,09 \pm 13,77$
Мужской	$190,44 \pm 13,17$	$352,31 \pm 21,12$	$615,31 \pm 36,9$	$753,20 \pm 52,71$	$517,05 \pm 31,02$
Различие: р	> 0,5	< 0.05	< 0,05	< 0.05	< 0,05

Наибольшая величина прироста минералов у девушек и юношей наблюдалась в 14–16 лет. В 17–19 лет прирост МПК у девушек уменьшался в 3 раза, а у юношей на значительно меньшую величину — в 1,5 раза, что связано с тем, что кости у них имеют генетически больший размер, массивность, а также большее количество кальция в кортикальной кости. Пик костной массы наблюдали в 21–25 лет.

В основе возрастной физиологической атрофии костной ткани лежит снижение интенсивности ремоделирования, которая происходит у лиц обоего пола, хотя и существуют различия между мужчинами и женщинами в потере костной ткани,

В возрасте 40–60 лет величина потери за год выше у женщин. В 61–75 лет – процент снижения одинаковый, а в 76–85 – несколько меньший у мужчин.

Отчетливо выраженная остеопения во всем теле у мужчин наблюдалась нами в 66—70 лет (Т-критерий был равен -1,2SD), а остеопороз — в 81—85 лет (Т-критерий составил -3,0SD; табл. 3). У женщин остеопения отмечена в 56—60 лет (Т-критерий равен -1,5SD), остеопороз в 71—75 лет (-2,7SD).

В туловище убыль минералов выявлена раньше, чем во всем скелете, и выражена в большей мере (табл. 2). Остеопения у мужчин отмечена в 66–70 лет (–1,6SD), остеопороз – в 81–85 лет –3,7SD. У женщин остеопения появлялась раньше (56–60 лет), а остеопороз был выражен более значительно (–4,7SD).

Во всем позвоночнике у мужчин признаки остеопении были отмечены в 66—70 лет, у женщин в 56—60 лет (табл. 3).

В 81–85 лет деминерализация у мужчин составила –3,4SD, у женщин — –4,5SD. В поясничном отделе позвоночника, где позвонки имеют наибольшие размеры и массу минералов, Т-критерий у мужчин в возрасте 71–75 лет был равен –1,2SD, а в 81–85 лет –2,0 SD (табл. 4). У женщин остеопения наблюдалась уже 56–60 лет, а в 81–85 лет Т-критерий был равен –2,7 SD.

В проксимальной трети бедренной кости и шейке у мужчин изменения происходили однонаправленно – появлялись в 66–70 лет, остеопороз впервые констатировался в возрасте 76-80 лет, а в возрасте 81-85 лет T-критерий был равен –3,5–3,8SD (табл. 4). У женщин остеопения в проксимальной трети бедренной кости обнаружена в 56-60 лет, но проявления остеопороза были большими, чем у мужчин (табл. 4). В шейке бедренной кости у женщин снижение минеральной плотности происходило раньше, чем у мужчин – в 56–60 лет. Остеопороз развивался однонаправленно, только в 81-85 лет Т-критерий был большим у женщин (–4,1SD), у мужчин составил (-3,5SD).

Из всех костей скелета наименьшая деминерализация была в костях верхней конечности: у мужчин остеопения констатировалась в 76–80 лет (табл. 5), а остеопороз (–2,6 SD) – в 81–85 лет. У женщин остеопения раньше появлялась (в 66–70 лет), а остеопороз в 81–85 лет был более выражен (–3,8SD).

В нижних конечностях у мужчин и женщин остеопения обнаружена в 66-70 лет (табл. 5). Остеопороз развивался в 76-80 лет (Т-критерий у мужчин составлял -3,1 SD, у женщин -3,3SD), а в 81-85 лет критерии был соответственно -3,7 SD и -4,5SD.

Таблица 2 Гендерные различия массы минеральных веществ (г, $M \pm SD$) во всем скелете и туловище в возрастном аспекте

Возраст, годы	Мужчины	Т-критерий	Женщины	Т-критерий	
	E	Во всем скелете			
21–25	$3290,3 \pm 230,25$	_	$2618,1 \pm 183,27$	_	
36–40	$3273,8 \pm 184,26$	_	$2560,5 \pm 179,24$	_	
56–60	$3158,7 \pm 252,70$	_	$2233,2 \pm 133,99$	-1,5	
66–70	$2954,7 \pm 177,28$	-1,2	$2158,5 \pm 170,28$	-1,9	
71–75	$2819,8 \pm 197,39$	-1,4	$1916,4 \pm 134,15$	-2,7	
76–80	$2550,0 \pm 153,00$	-2,3	$1767,2 \pm 109,32$	-3,3	
81–85	$2309,8 \pm 115,49$	-3,0	$1573,5 \pm 110,14$	-4,0	
Во всем туловище					
21–25	$1100,4 \pm 77,00$	_	$877,4 \pm 52,64$	_	
36–40	$1090,1 \pm 76,31$	_	$852,0 \pm 59,64$	_	
56–60	$1011,3 \pm 60,68$	-0,8	$723,0 \pm 43,38$	-1,8	
66–70	$922,9 \pm 73,82$	-1,6	$664,2 \pm 46,49$	-2,4	
71–75	$800,8 \pm 48,05$	-2,7	566,8 ±	-3,5	
76–80	$732,9 \pm 36,65$	-3,3	511,5 ±	-4,2	
81–85	$694,5 \pm 33,76$	-3,7	463,3 ±	-4,7	

Таблица 3 Гендерные различия массы минеральных веществ (г, $M \pm SD$) во всем позвоночнике и его поясничном отделе в возрастном аспекте

Возраст, годы	Мужчины	Т-критерий	Женщины	Т-критерий	
Во всем позвоночнике					
21–25	294.8 ± 20.64	_	$247,4 \pm 23,58$	_	
36–40	$300,7 \pm 21,05$	_	$245,42 \pm 19,63$	_	
56–60	$291,0 \pm 17,46$	_	$215,97 \pm 15,12$	-1,2	
66–70	$256,0 \pm 20,48$	-1,3	$195,94 \pm 15,68$	2,1	
71–75	$217,0 \pm 13,02$	-2,6	$165,26 \pm 11,57$	-3,3	
76–80	294.8 ± 17.69	2,9	$146,46 \pm 8,79$	-4,1	
81–85	$143,4 \pm 10,04$	-3,4	$131,37 \pm 9,20$	-4,5	
В поясничном отделе позвоночника (L2–L4)					
21–25	$63,4 \pm 5,07$	_	$51,8 \pm 4,14$	_	
36–40	62.8 ± 4.40	_	$51,2 \pm 3,58$	_	
56–60	$61,6 \pm 4,31$	_	$46,3 \pm 2,32$	-1,1	
66–70	$57,2 \pm 3,46$	-0,9	$43,5 \pm 2,61$	-1,6	
71–75	$55,7 \pm 3,90$	-1,2	$42,3 \pm 2,96$	-18	
76–80	$53,3 \pm 3,73$	-1,6	$41,3 \pm 2,07$	-2,0	
81–85	50.9 ± 3.56	-2,0	37.8 ± 3.02	-2,7	

Сравнительно небольшое число сведений о возрастных изменениях массы минералов в различных в костях скелета мужчины не позволяло построить гендерные ряды данных и провести сравнительный анализ. В данной работе на достаточном материале впервые проведено такое исследование. Нами убедительно показано, что наименьшие изменения массы минералов происходят в костях верхних конечностей. Затем следуют кости нижних конечностей. Существенный вклад в проявления остеопении и остеопороза вносит туловище, где сосредоточены основная масса трабекулярной кости. Сравнение гендерных рядов показало, что остеопения и остеопороз раньше выявляются и большая степень изменений у женщин.

Масса минералов прежде всего уменьшалась в трабекулярной кости пропорционально возрасту. Убыль минералов является главной, хотя и не единственной причиной медленного истончения трабекулярных пластин. Клеточным механизмом, который лежит в основе истончения трабекул, считается связанное с возрастом снижение массы матрикса, синтезируемого остеобластами. Это приводит к уменьшению толщины стенки остеона губчатой кости в каждом цикле ремоделирования и, как следствие, к отрицательному костному балансу. Толщина стенки остеона является отражением сочетанной деятельности всех остеобластов, которые присутствовали в фазе формирования цикла ремоделирования. Полости резорбции, созданные остеокластами,

остеобласты заполняют значительно хуже. Недостаточная пьезоэлектрическая стимуляция ведет к торможению и уменьшению количества остеобластов, а также к усиленной деятельности остеокластов, в результате чего развивается остеопороз.

 Таблица 4

 Гендерные различия массы минеральных веществ (г, $M \pm SD$) в проксимальной трети бедренной кости и ее шейке в возрастном аспекте

	1				
Возраст, годы	Мужчины	Т-критерий	Женщины	Т-критерий	
Во всей проксимальной трети бедра					
21–25	43.0 ± 3.01	_	$33,6 \pm 2,69$	_	
36–40	43.9 ± 2.63	_	$33,9 \pm 2,37$	_	
56–60	41.8 ± 2.91	_	$28,3 \pm 2,58$	-1,6	
66–70	$36,3 \pm 1,82$	-1,6	$25,6 \pm 1,78$	-2,4	
71–75	$32,9 \pm 2,30$	-2,4	$23,6 \pm 1,65$	-3,0	
76–80	$29,7 \pm 1,78$	-3,1	20.8 ± 1.46	-3,8	
81–85	$26,7 \pm 2,14$	-3,8	$18,5 \pm 1,36$	-4,5	
В шейке бедренной кости					
21–25	$6,5 \pm 0,46$	_	$5,1 \pm 0,41$	_	
36–40	$6,6 \pm 0,53$	_	$5,3 \pm 0,32$	_	
56–60	$6,2 \pm 0,39$	_	$4,50 \pm 0,27$	-1,2	
66–70	$5,4 \pm 0,43$	-1,7	$4,2 \pm 0,25$	-1,6	
71–75	$5,0 \pm 0,35$	-2,3	$5,1 \pm 0,36$	-2,3	
76–80	$4,7 \pm 0,38$	-2,8	$3,9 \pm 0,31$	-2,9	
81–85	4.2 ± 0.29	-3,5	3.0 ± 0.21	-4,1	

Таблица 5 Гендерные различия массы минеральных веществ (г, $M \pm SD$) в верхних и нижних конечностях в возрастном аспекте

Возраст, годы	Мужчины	Т-критерий	Женщины	Т-критерий	
В обеих верхних конечностях					
21–25	$450,5 \pm 31,54$		$302,6 \pm 18,16$		
36–40	$487,4 \pm 38,99$	_	$318,3 \pm 22,28$	_	
56–60	$475,7 \pm 28,54$	_	$292,6 \pm 23,41$	_	
66–70	$450,5 \pm 31,54$	_	$259,3 \pm 15,56$	1,4	
71–75	$440,6 \pm 24,03$	-0,6	$242,4 \pm 16,97$	-2,0	
76–80	$398,2 \pm 27,84$	-1,2	$236,3 \pm 14,18$	-2,0 -2,2	
81–85	$334,3 \pm 20,60$	-2,6	$188,2 \pm 13,17$	-3,8	
В обеих нижних конечностях					
21–25	$1192,3 \pm 83,5$		$920,5 \pm 64,43$		
36–40	$1215,8 \pm 72,94$	_	$923,3 \pm 64,63$	_	
56–60	$1155,3 \pm 69,32$	_	$852,4 \pm 68,27$	-0,7	
66–70	$1065,9 \pm 74,61$	-1,1	$775,1 \pm 46,51$	-1,6	
71–75	$1025,4 \pm 73,86$	-1,4	$729,0 \pm 51,03$	-2,1	
76–80	$822,7 \pm 53,75$	-3,1	$617,6 \pm 30,88$	-3,3	
81–85	$751,1 \pm 42,98$	-3,7	$503,5 \pm 30,21$	-4,5	

В процессе трудовой деятельности на конечности приходятся наибольшие нагрузки и поэтому в них больше минеральных веществ.

У женщин быстрее теряются минералы трабекулярной кости, а после 60 лет присоединяется и медленная убыль кортикальной кости. Уменьшение ее объема является результатом двух процессов: истончение кортикального слоя и увеличение кортикальной порозности. Порозность усиливается в результате изменений, связанных с возрастом. Оба процесса приводят к уменьшению радиальной

скорости заполнения остеонов и снижению толщины стенки остеона, увеличению диаметра гаверсова канала и увеличению числа единиц ремоделирования, которые прекращают свое развитие после фазы реверсии, что приводит к образованию пустых лакун резорбции. Все эти изменения можно объяснить прогрессирующей с возрастом несостоятельностью остеобластов вследствие как уменьшения образования новых клеток, так и снижения способности образовывать матрикс.

Выявить гендерные различия удалось потому, что основными факторами, оказы-

вающими влияние на размер и массивность скелета, являются:

- 1) генетический код, реализуемый во время роста;
 - 2) механическая нагрузка;
 - 3) гормональный статус и питание;

4) недостаточное или длительное (более 10 лет) употребление кальция ниже нормы.

Большое количество факторов питания определяет, насколько эффективно будет заложена основа и реализована генетическая программа построения кости. Эти факторы включают в себя источники калорий, белки, витамины и минеральные вещества. Дефицит любого из этих веществ приводит к уменьшению либо размера кости, либо ее массивности и, таким образом, уменьшает величину пиковой костной массы, которую способен достигнуть индивидуум. Кроме того, в отличие от других элементов питания, таких как белок, количество удержанного в организме кальция всегда существенно ниже количества, поступившего с пищей. Это происходит из-за относительно низкой эффективности абсорбции даже в период роста, а также из-за ежедневных потерь кальция с частицами кожи, ногтей, волосами, с потом, с мочой, а также с нереабсорбируемыми пищеварительными ферментами [5]. Низкое потребление кальция не ограничивает рост кости в длину и ширину. Это объясняется тем, что формирующие кость участки не «видят» диету. Они находятся под влиянием только уровней циркулирующего кальция, фосфора и кальциотропных гормонов. Несколько меньшее потребление кальция женщинами может приводить к образованию кости с более тонким кортикальным слоем и с меньшим числом тонких трабекул [6]. Если количество требуемого кальция меньше оптимального, то эндостально-трабекулярная резорбция усиливается, а баланс между костеобразованием и резорбцией, в норме положительный во время роста, снижается в направлении нулевого значения. Это приводит к формироанию скелета с низкой массой при нормальной форме и размере. Эндостальное расширение может возрастать в условиях недостаточного потребления кальция, выходя за пределы требований генетической программы. Необходимо также учитывать и тот факт, что МПК – разная у представителей каждой популяции, исходя из географических факторов, образа жизни, включая подверженность стрессам и степень изменения психологического состояния, физической активности и вредных факторов окружающей среды. У мужчин причиной снижения МПК может быть уменьшенная концентрация свободного тестостерона в крови, а также эстрадиола, недостаточный уровень 25-гидроксивитамина D в крови, нарушение всасывания

кальция в кишечнике (мальабсорбция), конституциональные факторы (астеническое телосложение), при этом замедляется интенсивность костеобразования и ускоряется резорбция кости, то есть стимулируется развитие остеопороза.

Заключение

В результате обследования 14141 здоровых людей в возрасте от 3 до 85 лет, из них женщин – 9179, мужчин – 4962 удалось построить гендерные ряды и в возрастном аспекте проанализировать изменения массы минералов в крупных сегментах скелета. Показано, что наименьшее возрастное снижение массы минералов происходит в костях верхних конечностей. Затем следуют кости нижних конечностей. Существенный вклад в проявление остеопении и остеопороза вносит туловище, где сосредоточена основная масса трабекулярной кости. Сравнение гендерных рядов показало, что остеопения и остеопороз раньше выявляются и степень изменений большая у женщин.

Список литературы

1. Свешников, А.А. Уральская база данных о возрастных изменениях минеральной плотности костей скелета // Современные аспекты реабилитации в медицине: первая Междун, научн. конф. – Ереван, 2005. – С. 190–191. 2. Свешников А.А. Возрастные изменения содержания

минеральных веществ в костях нижней конечности здорового человека // Физиология человека. – 1989. – № 1. – С. 148–153.

- 3. Свешников, К.А. Гендерные различия минеральной плотности костей скелета в возрастном аспекте // Материалы III Российского конгресса по остеопорозу. -Екатеринбург, 2008. -С. 121-122
- 4. Fractures, physical activity, and growth velocity in adolescent Belgian boys / C.J.R. Blimkie et al. // Med. Sci. Sports Exerc. 1993. Vol. 25. P. 801–808.

 5. Ilich J.Z., Brownbill R.A., Tamborini L. Bone and
- nutrition in elderly women: protein, energy, and calcium as main determinants of bone mineral density // Eur. J. Clin. Nutr. 2003. – Vol. 57, № 4. – P. 554–565.

References

1. Sveshnikov A.A. Uralskaya baza dannikh o vozrastnikh izmeneniyakh mineralnoy plotnosti kostei skeleta – Pervaya Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Sovremennye aspecti reabilitatsii v medicine». Erevan, 2005. pp. 190–191.
2. Sveshnikov A.A. Vozrastniya izmeneniya mineralnikh

veschestv v kostyakh nignei konechnosti zdorovogo cheloveka

Fiziologiya cheloveka. 1989. no. 1. pp. 148–153. 3. Sveshnikov A.A. Gendernie razlichiya mineralnoy plotnosti kostei skeleta v vozrastnom aspekte – Materiali III Rossiiscogo kongressa po osteoporozu. Ekaterinburg. 2008. pp. 121-122

4. Fraktures, fizikel activity, end grous velositi in adolescent Belgien boys / C.J.R. Blimkie [et al.] – Med. Sci Sports Exerc. 1993. V. 25. pp. 801–808.

5. Ilikh J.Z., R.A. Brovnbill, L. Tamborini. Bone end nutrithion in elderly women: protein, energy, end kalthium es mein determinants of bone mineral density – Eur. J. Klin. Nutr. 2003. V. 57. no. 4. pp. 554–565.

Рецензенты:

Колпаков В.В., д.м.н., профессор, зав. кафедрой нормальной физиологии, ГОУ ВПО «Тюменская госмедакадемия» Минздравсоцразвития РФ, г. Тюмень;

Кузнецов А.П., д.б.н., профессор, зав. кафедрой анатомии и физиологии ГОУ ВПО «Курганский государственный университет», г. Курган.

Работа поступила в редакцию 20.02.2012.