

© Группа авторов, 2007

**Минеральная плотность позвоночника у детей и взрослых**

Е.В. Турилина, А.А. Свешников, Д.С. Астапенков

***The spine mineral density in children and adults***

E.V. Tourilina, A.A. Sveshnikov, D.S. Astapenkov

Федеральное государственное учреждение

«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова Росмедтехнологий», г. Курган (генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

Проанализированы данные о возрастных изменениях минеральной плотности (МП) позвоночника при измерении ее методом рентгеновской двухэнергетической абсорбциометрии. Рассмотрена зависимость МП от массы туловища, количества мышечной и жировой ткани, двигательной активности и количества эстрогенов. Обращено внимание на то, что тела позвонков никогда не достигают пиковой костной массы, их масса увеличивается на протяжении всей жизни. Некоторые кости (череп и бедренная) продолжают увеличиваться в диаметре, а площадь большого вертела увеличивается при возрастном уменьшении количества минералов в проксимальной трети бедренной кости.

Ключевые слова: позвоночник, возрастные изменения, минералы.

The data of age-related changes in mineral density (MD) of the spine arte analysed by its measuring method of roentgen double-energy absorptiometry. The dependence of MD on bode mass, amount of muscular and fatty tissue, motor activity and number of estrogens. The attention is drawn to the fact, that vertebral bodies never achieve peak bone mass, their mass increases throughout their life. Some bones (cranii and femoral) continue to increase in diameter, and the area of the greater trochanter increases for age-related decrease of minerals in number in the proximal third of femur.

Keywords: spine, age-related changes, minerals.

Сегодня получены убедительные данные о том, что тела позвонков никогда не достигают пиковой костной массы (их масса увеличивается на протяжении всей жизни, как и ширина - за счет периостальной реакции по крайней мере в средний период жизни) [4], кости черепа «растут» всегда, бедренная кость увеличивается в диаметре, площадь большого вертела увеличивается при начавшемся снижении минералов [1]. Эти изменения могут влиять на возрастную кривую минеральной плотности (МП) и на какое-то время относительно стабилизировать начало снижения, в частности, у женщин в постменопаузный период.

У молодых людей трабекулярная ткань позвонка несет 50 % нагрузки. У пожилых и старых людей прочность трабекул снижается на 50-60 % и это ведет к уменьшению прочности позвонка в целом на 30 %. При остеопорозе изменения возникают прежде всего в губчатом костном веществе позвонков [2].

1. МП в поясничном отделе позвоночника у детей.

В возрасте 3-6 лет мало наблюдений о динамике накопления МП в области поясничного отдела позвоночника у здоровых детей. Так, у 20 детей (10 мальчиков и 10 девочек) измерения в L<sub>2</sub>-L<sub>4</sub> (г/см<sup>2</sup>) сделаны с интервалом в 1,0 год. Для этого применяли метод рентгеновской аб-

сорбциометрии (ДХА). Чтобы свести к минимуму эффект величины позвонков на МП растущего позвоночника рассчитывали МП в г/см<sup>3</sup>. Первоначальная МП позвоночника и ее объемное значение у мальчиков составляли соответственно 0,623±0,087 г/см<sup>2</sup> и 0,270±0,034 г/см<sup>3</sup>, а у девочек - 0,620±0,082 г/см<sup>2</sup> и 0,254±0,035 г/см<sup>3</sup>. За 1 год наблюдения эти величины возрастали у мальчиков соответственно на 4,72±0,7 % (p<0,01) и на 3,53±0,5 % (p<0,05), а у девочек - на 7,25±0,3 % (p<0,01) и на 3,13±0,1 % (p<0,05). Сделано заключение о том, что на протяжении года (с 6 до 7 лет) происходит существенное повышение МП как в г/см<sup>2</sup>, так и в г/см<sup>3</sup>. Повышение МП в г/см<sup>3</sup> указывало на то, что имел место истинный прирост МП в растущем позвоночнике [5,16].

С 3-летнего возраста и до начала периода половой зрелости увеличение костной массы составляет приблизительно 20 % общей конечной величины, в период полового созревания прибавка минералов составила 30-40 % и с наступлением половой зрелости вплоть до 21 года - 20 % [7].

Установлено, что подростковый период играет основную роль в нарастании костной массы. Около половины ее у взрослых, а именно приблизительно 37 % общей МП, включая позвоночник, накапливается во время скачка

роста в подростковом периоде. Прирост костной массы в период полового созревания является главной детерминантой пиковой костной массы и переломов после этого периода. Именно в это время может быть обеспечена эффективная первичная профилактика остеопороза [14]

Для оценки у 84 здоровых детей и подростков в возрасте 6-19 лет МП в поясничном отделе позвоночника (L<sub>2-4</sub>) применена рентгеновская абсорбциометрия. МП была тесно связана с возрастом, ростом и массой тела. Когда в показателях МП делалась поправка на возраст, рост и вес, средняя МП в поясничном отделе позвоночника была выше у девочек, чем у мальчиков. Пытались также нормализовать данные по размеру (площади) костей. В этом случае корреляция между возрастом и МП (в г/см<sup>3</sup>) исчезала, указывая на то, что очевидная объёмная плотность (г/см<sup>3</sup>) в детстве и подростковом возрасте не менялась в значительной степени [12].

У детей, в отличие от взрослых, отмечается прямая связь между костной массой и ростом, которая исчезает с наступлением пубертатного периода. Несоответствие между увеличением роста и костной массы, возникающее к 11-12 годам у девочек и 13-14 годам у мальчиков, объясняет повышенную ломкость костей в этом возрасте.

Для выяснения зависимости между МП и полом, возрастом и массой тела наблюдения проведены у 266 здоровых субъектов в возрасте 4-27 лет (в среднем 13 лет). У них определяли МП всего тела, поясничного отдела позвоночника (L<sub>2-4</sub>) и шейки бедренной кости с помощью рентгеновской абсорбциометрии. МП во всех областях значительно повышалась с возрастом до 17,5 лет у лиц мужского пола и до 15,8 лет у лиц женского пола. У лиц мужского пола максимальная МП была выше, что объяснялось большим весом и меньшим количеством жира в тканях. Напротив, несмотря на более поздние сроки формирования максимальная МП L<sub>2-4</sub> у лиц мужского пола не отличалась от таковой у лиц женского пола. До достижения максимальной МП наилучшим прогностическим фактором МП во всем теле и в позвоночнике у лиц обоего пола была масса тела (г<sup>2</sup> колебался от 0,77 до 0,88). Авторы пришли к выводу о том, что у лиц каждого пола сроки максимальной МП во всём теле, поясничном отделе позвоночника и шейке бедренной кости являлись совместимыми. По всей вероятности, более ранние сроки достижения максимальной МП у лиц женского пола связаны с более ранним половым созреванием [12, 15].

У мальчиков и девочек, не достигших половой зрелости, установлены практически одинаковые величины проекционной МП (г/см<sup>2</sup>) в позвоночнике. Затем величины МП повышались в большей степени у девочек, чем у мальчиков,

в результате более раннего начала полового созревания. Увеличение роста костей у мальчиков отличается от таковой у девочек по двум причинам: у мальчиков на два года больше предпубертатный рост из-за более позднего наступления периода половой зрелости (возраст 14 лет по сравнению с 12 годами у девочек), и скачок роста в период полового созревания длится около 4 лет, по сравнению с таковым у девочек, составляющим 3 года. Эти отличия предопределяют более высокие показатели пиковой костной массы у мальчиков.

Существуют указания на различия в сроках формирования костной массы периферического и центрального (осевого) скелета [3]. Перед наступлением пубертатного периода нижние конечности растут быстрее, чем туловище. Во время пубертатного периода отмечается более резкий скачок в росте туловища. Между 7 и 17 годами содержание костного минерала в бедренной кости и позвоночнике увеличивается на 50-150 % из-за увеличения размеров костей. Объёмная МП, отражающая содержание костного минерала в г/см<sup>3</sup>, возрастала на 10-30 %.

Как у девочек, так и у мальчиков 9-19 лет, костная масса и содержание костного минерала, увеличивалась в 4-6 раз в поясничном отделе позвоночника, в проксимальном отделе бедра, но только в 2 раза в диафизе бедренной кости [19].

Чтобы определить изменения МП, происходящие в поясничном отделе позвоночника в процессе роста у 101 ребенка определяли методом количественной компьютерной томографии плотность тел позвонков и индекс кортикальной кости. Детей разделили на три группы по возрасту: предпубертатную, промежуточную и пубертатную. По сравнению с детьми предпубертатной группы у подростков пубертатной группы МП трабекулярной и компактной кости была намного выше [9].

Аналогичная цель стояла и в следующей работе. У 96 здоровых белых людей в возрасте 4-20 лет на каждой стадии полового развития были проведены отдельные измерения плотности губчатой и кортикальной костей с помощью количественной КТ. Обнаружено, что плотность кортикальной кости возрастала с возрастом, отмечалась значимая корреляция значений с антропометрическими индексами роста, массы тела и объёмом мышц. Напротив, плотность трабекулярной кости позвонков увеличивалась только на более поздних стадиях половой зрелости. В предпубертатном периоде у девочек МП была обратно пропорциональна возрасту, а также объёму и высоте тел позвонков. Результаты показали, что нагрузка и/или механические стрессы являются важными детерминантами плотности кортикальной кости, а на МП губчатой кости позвонков сильнее влияют гормо-

нальные и/или метаболические факторы, связанные с половым развитием в конце подросткового периода [20].

Интересные наблюдения сделаны при определении МП позвоночника методом QCT у 445 здоровых индивидуумов в возрасте 10-80 лет, в том числе у 190 мужчин и 255 женщин, которые были разделены по возрастным группам с интервалом в 10 лет. Максимальной величина костной массы у мужчин и женщин была в возрастной группе 10-19 лет. Ускорение потери костного вещества наблюдалось, главным образом, после 40-49 лет. Среди многих факторов, связанных с потерей костного вещества, изменения эстрогена в этой стране, возможно, играют самую важную роль [22, 23].

Пиковые значения содержания костного минерала и МП отдельных участков скелета (к примеру, позвоночника, проксимального отдела бедренной кости) достигают к 20 годам, в то время как общая масса скелета достигает пика на 6-10 лет позже; у женщин это происходит быстрее, чем у мужчин. По данным других авторов, МП поясничного отдела позвоночника и шейки бедренной кости быстро возрастает в период полового созревания и достигает плато соответственно в 15 лет у девочек и 17 – у мальчиков [17, 21].

После 17-18 лет прирост костной массы относительно невелик, некоторые исследователи предполагают отсутствие дальнейшего прироста [24]. Наряду с этим мнением в последнее время появились достаточно убедительные и проспективные работы, в которых показано продолжающееся небольшое увеличение костной массы после прекращения роста, что авторы связывают с увеличением размеров некоторых костей и продолжающейся их минерализацией.

По данным большинства авторов, 85-90 % конечной МП костей скелета взрослых приобретает к 18 годам у девушек и примерно к 20 годам у юношей [17, 24].

2. Минеральная плотность позвонков у взрослых.

К 20-летнему возрасту общее количество кальция у мужчин составляет 1200 г и 900 г у женщин. Обусловленная возрастом потеря минералов составляет 100 г у мужчин и 250 г у женщин. Следовательно, у старых людей мужского пола костная масса в среднем на 450 г больше, чем у женщин [18]. Большой прирост костной массы (следовательно, и пик ее) связан еще и с тем, что кости у мужчин имеют генетически больший размер. Однако пик костной плотности одинаков у обоих полов.

В поясничном отделе позвоночника в обеих проекциях были существенные положительные корреляции между площадью кости и содержанием костных минералов. При сравнении пациентов с большой и малой площадью тела найде-

ны существенные влияния роста и массы на МП в переднезадней и латеральной проекциях. Результаты многократной линейной регрессии показали, что главными факторами, влияющими на размер скелета и МП поясничного отдела позвоночника, были также рост и масса тела. Поэтому у женщин в менопаузе одной этнической группы и возраста чем больше площадь позвоночника, тем больше МП и более низкий процент обнаружения остеопороза, и, наоборот, чем меньше размер скелета, тем меньше МП и выше процент обнаружения остеопороза. Различия площади тела должны быть учтены при диагностике остеопороза путем измерения МП скелета. Влияние площади тела уменьшается при измерении объемной минеральной плотности [13].

По мнению ряда авторов, изучавших скорость снижения МП трабекулярной кости  $L_{II}$ ,  $L_{III}$ ,  $L_{IV}$  методом количественной компьютерной томографии у 610 женщин в возрасте от 12 до 89 лет и 451 мужчины в возрасте от 7 до 91 года, максимальные показатели МП у мужчин и женщин приходились на один и тот же возрастной период 20-29 лет. Пиковые значения МП у женщин превалировали над этими показателями у мужчин, но статистически значимых различий не обнаружено ( $p > 0,05$ ). При оценке изменений МП по десятилетиям отмечено наибольшее снижение показателей у мужчин в периоды 60-70 лет и 70-79 лет (13,1 % и 14,1 %), а у женщин – 50-59 лет, 60-69 и 70-79 лет (соответственно 22,5 %, 21,1 % и 20,8 %). При этом выявлена высокая отрицательная корреляция значений МП с возрастом (у мужчин  $r = -0,991$ , у женщин  $r = -0,968$ ,  $p < 0,001$ ). Скорость потери кальция трабекулярной костью позвонков без коррекции на возраст у мужчин ежегодно составляла 1,46 мг/см<sup>3</sup> (0,7 %) и у женщин – 2,3 мг/см<sup>3</sup> (0,9 %). Результаты исследования указывают на различную степень снижения МП в отдельные возрастные периоды как у женщин, так и у мужчин. У женщин более раннее и выраженное снижение содержания кальция в костях в пери- и постменопаузном периодах согласуется с общепринятым мнением о важной роли дефицита половых гормонов в ремоделировании костной ткани [16].

Данные А.А. Свешникова [5, 6] свидетельствуют, что быстрее (в 21-25 лет) минерализация скелета завершается у женщин и сохраняется на постоянных величинах до 45 лет. Затем появлялись первые признаки уменьшения костной массы. В возрасте 66-70 лет она уменьшалась на 8 %. В 50-60 лет основной причиной быстрого снижения минералов у женщин является изменение половой функции и ослабление двигательной активности. У мужчин максимальная суммарная величина минеральных веществ отмечена в 26-30 лет. Содержание минералов ос-

тавалась неизменным до 60 лет. После этого уменьшалось: в 61 год на 7 %, в 70 лет – на 17 % ( $p < 0,05$ ), в 80 лет – на 22 % ( $p < 0,01$ ) [1].

Аналогичные результаты получены в восьми медицинских центрах Японии у 984 здоровых японских женщин старше 17 лет (средний возраст 51,6) методом двухэнергетической рентгеновской абсорциометрии: МП позвоночника увеличивается приблизительно до 23 летнего возраста на 0,13 % в год. После 23 лет МП начинала уменьшаться на 0,045 % в год. В перименопаузе процент потери был 2,1 % в год. У женщин с естественной менопаузой процент снижения минералов уменьшался с увеличением возраста. Процент потери составлял 0,04 %/год/кг или 0,1 %/год/кг/м<sup>2</sup> при уменьшении индекса массы тела. Из этого сделан вывод, что процент изменения костной плотности позвоночника связан с возрастом у женщин до менопаузы и с годами, прошедшими с момента менопаузы, а также массой тела у женщин после наступления менопаузы [10]. Предменопаузные колебания эстрадиола отражаются в первую очередь на МП позвоночника, Т-критерий становился равным 1,5SD. К 56-60 годам при низкой концентрации эстрогенов активность остеобластов уменьшается, замедля-

ется образование кости, усиливается резорбция и деминерализация.

Изменения МП позвоночника (L<sub>1-IV</sub>), связанные с возрастом и менопаузой, изучали у 172 здоровых японских женщин в возрасте 31-69 лет методом двойной рентгеновской абсорциометрии. Это проспективное исследование показало, что не было никакого существенного уменьшения МП у женщин до менопаузы, но было существенное уменьшение (-1,59 % в год) у женщин в раннем постменопаузном периоде и в позднем постклимактерическом периоде ( $p < 0,01$ ). У тучных женщин в постменопаузе ежегодный процент уменьшения МП был значительно меньше, чем у худых женщин ( $P < 0,01$ ). Авторы предположили, что жировая ткань может задерживать потерю кости. В заключении работы они пишут: ежегодный процент уменьшения МП в позвоночнике и физиологический возраст являются наиболее значимыми факторами, чем масса тела и рост [8]. Наибольшему снижению МП в поясничном отделе позвоночника способствует постменопаузный статус [11]. Масса тела являлась основным фактором, защищающим от потери костной массы в поясничном отделе позвоночника.

## ВЫВОДЫ

1. Метод рентгеновской двухэнергетической абсорциометрии дает возможность существенно продвинуться вперед в изучении МП позвоночника. Появилась возможность точно определять ее не только у взрослых, но и у детей и тем самым констатировать низкую плотность костной ткани для данного хронологического возраста, которая может вести к появлению патологии.

2. Убедительно доказано, что тела позвонков никогда не достигают пиковой костной массы и этим могут стабилизировать начало снижения МП, в частности, у женщин в постменопаузный

период. Необходимо также отметить, что кости черепа «растут» всегда, бедренная кость увеличивается в диаметре, площадь большого вертела увеличивается при начавшемся снижении количества минералов.

3. Минеральная плотность позвоночника зависит от возраста, роста и массы тела. В подростковом возрасте для достижения максимального количества минералов во всем теле и, в частности, в позвоночнике имеет значение масса тела.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-04-96033.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Возрастные изменения минеральной плотности костей скелета / В. И. Шевцов [и др.] // Гений ортопедии. – 2004. - № 1. – С. 129-137.
2. Жигачева, А. В. Повреждение грудного и поясничного отделов позвоночника на фоне ювенильного остеопороза : автореф. дис... канд. мед. наук / А. В. Жигачева. - М. : ЦИТО, 2000. – 23 с.
3. Малинин, В. Л. Возрастные параметры минеральной плотности костной ткани подростков и юношей Санкт-Петербурга : автореф. дис... канд. мед. наук / В. Л. Малинин ; Рос. НИИТО им. Р. П. Вредена. – СПб., 2004. – 27 с.
4. Риггз, Б. Остеопороз : пер. с англ. / Б. Риггз, М. Лоренс, Ш. Л. Джозеф. - М. : БИНОМ, СПб. : Невский диалект, 2000. – 560 с.
5. Свешников, А. А. Корреляция между минеральной плотностью костей скелета и ростом, массой тела, площадью его, а также мышечной, соединительной и жировой тканями у детей / А. А. Свешников, И. В. Репина // Остеопороз и остеопатии. - 2007. - № 1. – С. 6-10.
6. Свешников, К. А. Биомеханические свойства костной ткани и механизм происхождения переломов / К. А. Свешников // Проблема остеопороза в травматологии и ортопедии : материалы II конф. с междунар. участием. – М., 2003. - С. 41-42.
7. Ballabriga, A. Morphological and physiological changes during growth : an update / A. Ballabriga // Eur. J. Clin. Nutr. - 2000. – Vol. 54, Suppl. 1. – P. 1-6.
8. Effects of age and menopause on spinal bone mineral density in Japanese women : a ten-year prospective study / H. C. Zhang [et al.] // Calcif. Tissue Int. – 2002. – Vol. 70, No 3. – P. 153-157.
9. Gilsanz, V. Vertebral bone density in children : effect of puberty / V. Gilsanz, D. T. Gibbens, T. F. Roe // Radiology. – 1988. – Vol. 166, No 3. – P. 847-850.
10. Fujiwara, S. Rates of change in spinal bone density among Japanese women / S. Fujiwara [et al.] // Calcif. Tissue Int. – 1998. – Vol. 63, No 3. – P. 202-207.
11. Hui, S. L. The contribution of bone loss to postmenopausal osteoporosis / S. L. Hui, C. W. Slemenda, C. C. Johnston // Osteoporosis Int.

- 1990. - Vol. 1. - P. 30-34.
12. Kroger, H. Bone densitometry of the spine and femur in children by dual-energy x-ray absorptiometry / H. Kroger, A. Kotaniemi, P. Vainio // *Bone Miner.* - 1992. - Vol. 17, No 1. - P. 75-85.
  13. Liao, E. Y. Effects of skeletal size of the lumbar spine on areal bone density, volumetric bone density, and the diagnosis of osteoporosis in postmenopausal women in China / E. Y. Liao, X. P. Wu, H. J. Liao // *J. Bone Miner. Metab.* - 2004. - Vol. 22, No 3. - P. 270-277.
  14. Lindsay, R. Osteoporosis : review of the evidence for prevention, diagnosis and treatment and costeffectivness analysis / R. Lindsay, P. J. Meunier // *Osteoporosis Int.* - 1998. - Vol. 8, Suppl. 4. - P. 1-88.
  15. Lu, P. W. Volumetric bone mineral density in normal subjects, aged 5-27 years / P. W. Lu, C. T. Cowell, S. A. Lloyd-Jones // *J. Clin. Endocrin. Metab.* - 1996. - Vol. 81. - P. 1586-1590.
  16. Lumbar bone mineral density in normal subjects aged 3-6 years: a prospective study / P. Arikoski [et al.] // *Acta Paediatr.* - 2002. - Vol. 91. - P. 287-291.
  17. Matkovic, V. Timing of peak bone mass in Caucasian females and its implication for the prevention of osteoporosis / V. Matkovic, T. Jelic, G. M. Wardlaw // *J. Clin. Invest.* - 1994. - Vol. 93. - P. 799-808.
  18. Mingwei, Q. Bone mineral analysis of whole body in 292 normal subjects assessed by dual X-ray absorptiometry / Q. Mingwei, Y. Wei, X. Ling // *Chin Med. Sci. J.* - 2003. - Vol. 18, No 2. - P. 97-99.
  19. Molgaard, C. Influence of weight, age and puberty on bone size and bone mineral content in healthy children and adolescents / C. Molgaard, B. L. Thomsen, K. F. Michaelsen // *Acta Paediatr.* - 1998. - Vol. 87, No 5. - P. 494-499.
  20. Mora, S. Age-related changes in cortical and cancellous vertebral bone density in girls : assessment with quantitative CT / S. Mora, W. G. Goodman, M. L. Loro // *AJR. Am. J. Roentgenol.* - 1994. - Vol. 162, No 2. - P. 405-409.
  21. Nguyen, T. V. Sex differences in bone mass acquisition during growth : the Fels Longitudinal Study / T. V. Nguyen, L. M. Maynard, B. Towne // *J. Clin. Densitom.* - 2001. - Vol. 4, No 2. - P. 147-157.
  22. Normal spinal changes of bone mineral density in 445 individuals : assessment by quantitative computed tomography / M. Qin, W. Yu, X. Meng, X. Xing // *Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao.* - 1996. - Vol. 18, No 6. - P. 439-443.
  23. Riggs, B. L. The assembly of the adult skeleton during growth and maturation : implications for senile osteoporosis / B. L. Riggs, S. Khosla, L. J. Melton // *J. Clin. Invest.* 1999. - Vol. 104. - P. 671-672.
  24. Sabatier, J. P. Evolution of lumbar bone mineral content during adolescence and adulthood : a longitudinal study in 395 healthy females 10-24 years of age and 206 premenopausal women / J. P. Sabatier, G. Guaydier-Souquieres, A. Benmalek // *Osteoporos Int.* - 1999. - Vol. 9, No 6. - P. 476-482.

Рукопись поступила 28.02.06.