

9. Комлев В.С., Фадеева И.В., Гурин А.Н., Ковалева Е.С., Смирнов В.В., Гурин Н.А., Баринов С.М. Влияние содержания карбонат-групп в карбонатгидроксиапатитовой керамике на ее поведение in vivo. Неорганические материалы. 2009; 45: 373–8 [Komlev V.S., Fade-

eva I.V., Gurin A.N., Kovalyova E.S., Smirnov V.V., Gurin N.A., Barinov S.M. Effect of the concentration of carbonate groups in a carbonate hydroxyapatite ceramic on its in vivo behavior. Neorganicheskie materialy. 2009; 45: 373–8 (in Russian)].

Сведения об авторах: Мамонов В.Е. — канд. мед. наук, зав. научно-клиническим отделением гематологической ортопедии ГНЦ; Чемис А.Г. — канд. мед. наук, ст. науч. сотр. того же отделения ГНЦ; Дризе Н.И. — доктор биол. наук, зав. лабораторией физиологии кроветворения ГНЦ; Проскурина Н.В. — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. той же лаборатории; Кряжков И.И. — мл. науч. сотр. лаборатории керамических композиционных материалов ИМЕТ РАН; Комлев В.С. — доктор техн. наук, вед. науч. сотр. той же лаборатории.

Для контактов: Мамонов Василий Евгеньевич. Москва, Новый Зыковский пр., д. 4. Тел.: +7 (903) 165–74–44. E-mail: vasily-mamonov@yandex.ru

© Коллектив авторов, 2014

СТРУКТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА БЕДРЕННОЙ КОСТИ В ОЦЕНКЕ ЕЕ ПРОЧНОСТИ

С.С. Родионова, А.Н. Торгашин, Э.И. Солод, Н.С. Морозова, А.К. Морозов, С.В. Лапкина

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова»
Минздрава России, Москва, РФ

Проведена сравнительная оценка использования программного обеспечения HSA software, прилагаемого к денситометру Hologic, в двух группах больных остеопорозом (средний возраст 60,4 года) с и без перелома проксимального отдела бедренной кости. В трех зонах проксимального отдела бедренной кости (узкая часть шейки, межвертельная область, область диафиза бедренной кости) оценивали площадь поперечного сечения, момент инерции поперечного сечения, осевой момент сопротивления сечения, толщину кортикальной кости и коэффициент изгиба. Результаты линейного дискриминантного анализа показали, что совокупность 9 из 15 геометрических параметров, оцениваемых данной программой, позволяет со 100% вероятностью отличить пациентов с переломом от пациентов без переломов, что дает основание рекомендовать метод для внедрения в широкую клиническую практику для своевременного выявления больных с высоким риском перелома проксимального отдела бедренной кости.

Ключевые слова: перелом бедренной кости, толщина кортикального слоя, системный остеопороз, прогнозирование, порог нестабильности.

Structural Parameters of Proximal Femur in Evaluation of Its Strength

S.S. Rodionova, A.N. Torgashin, E.I. Solod, N.S. Morozova, A.K. Morozov, S.V. Lapkina

Central Institute of Traumatology and Orthopaedics named after N.N. Priorov, Moscow, Russia

Comparative assessment of software HAS for Hologic densitometer was performed in two groups of osteoporotic patients (mean age 60.4 years) with and without proximal femur fractures. The area of cross-section, cross-section moment of inertia, axial moment of section resistance, cortical bone thickness and coefficient of bending were assessed in three zones of the femur (narrow part of the neck, intertrochanteric and diaphyseal zones). Results of linear discriminant analysis showed that totality of 9 out of 15 geometric parameters assessed by that program enabled with 100% probability to differentiate patients with and without fractures and gave the background to introduce that method into clinical practice for timely detection of patients with high risk of proximal femur fracture.

Key words: femur fracture, cortical layer thickness, systemic osteoporosis, prognostication, instability threshold.

Поиск метода неинвазивной оценки прочности проксимального отдела бедренной кости для раннего выявления пациентов с риском перелома этой локализации при системном остеопорозе по-прежнему актуален. Свидетельством значимости проблемы служат данные о сохранении высокой частоты переломов шейки бедра при низкоэнергети-

ческой травме и больших экономических затрат на их лечение [1].

Возлагаемые надежды на использование для прогнозирования перелома показателя массы кости (минеральной плотности кости — МПК) с помощью рентгеновской денситометрии не оправдались: переломы часто возникают при относи-

тельно высоких значениях МПК и отсутствуют при низких [2].

Как показали исследования последних лет, способность проксимального отдела бедренной кости выдерживать нагрузки определяется не только массой кости, оцениваемой по содержанию минералов. Значительная роль в обеспечении прочности отводится геометрии проксимального отдела бедра [3], включая толщину кортикального слоя [4], диаметр и площадь поперечного сечения на разных уровнях шейки бедра. Оказалось, что для оценки этих параметров [5] можно использовать сканированное изображение проксимального отдела бедренной кости, получаемое при рентгеновской денситометрии. При сопоставлении результатов неинвазивных исследований и биомеханических тестов, выполненных на трупном материале [6], установлено, что геометрические параметры, рассчитанные по денситограммам или рентгенограммам [3], сильнее, чем МПК шейки бедренной кости коррелируют с прочностью проксимального отдела бедра. Авторами [6] было разработано программное обеспечение Hip Structure Analysis (HSA) к денситометру Hologic, с помощью которого, по их мнению, возможна оценка прочности и прогнозирование перелома шейки бедренной кости. Несмотря на выводы, сделанные авторами этой программы, ее практическое применение в реальной клинической практике для прогнозирования риска перелома у пациентов с системным остеопорозом обсуждается.

Цель исследования: оценить значимость параметров программного обеспечения HAS к денситометру Hologic для прогнозирования риска низкоэнергетических переломов шейки бедренной кости у пациентов с системным остеопорозом.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Проведено исследование с участием 39 пациентов. Первую группу ($n=14$) составили женщины с низкоэнергетическим переломом шейки бедренной

кости, вторую ($n=25$) — без перелома. Средний возраст в группах составил 60,4 и 60,9 года соответственно. В исследование вошли женщины с потерей МПК от $-1,5$ до $-4,5$ SD по T -критерию. Основанием для диагноза остеопороза были либо потеря МПК, превышающая $-2,5$ SD, либо наличие перелома-маркера в анамнезе (низкоэнергетический перелом лучевой кости, перелом тела позвонка).

Минеральную плотность кости исследовали на денситометре Hologic, при наличии перелома шейки бедра измерение МПК проводили на конечности без перелома.

С помощью программного обеспечения HSA software (рис. 1) оценивали следующие параметры: площадь поперечного сечения (CSA), момент инерции поперечного сечения (CSMI), осевой момент сопротивления сечения (Z), толщину кортикальной кости (Thick) и коэффициент изгиба (BR). Эти параметры измеряли в трех зонах проксимального отдела бедра: самой узкой части шейки (narrow-neck — NN), межвертельной области (intertrochanteric — IT), области диафиза бедренной кости (shaft region — FS). Таким образом, в целом было проанализировано 15 показателей.

Данные, рассчитываемые по денситограмме, имеют следующую биомеханическую интерпретацию. Так, нагрузка, оказываемая на кость при сжатии, обратно пропорциональна площади поперечного сечения кости (CSA). Нагрузка на изгиб определяется моментом инерции поперечного сечения (CSMI), который пропорционален площади поперечного сечения и квадрату расстояния от центра кости (радиуса кости) ($CSMI=CSA \cdot R^2$). Учитывая момент инерции поперечного сечения, рассчитывается максимальная нагрузка на изгиб, которую испытывает кость до наступления перелома. Данную нагрузку отображает осевой момент сопротивления сечения (Z), величина которого зависит не только от площади поперечного сечения кости, а значит, от количества костной массы (МПК), но и от расстояния от центра кости (радиуса).

Порог нестабильности кости в этой программе оценивается с помощью коэффициента изгиба (BR), который вычисляется как отношение радиуса кости к толщине кортикального слоя ($BR=r/t$).

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы SPSS. За статистически достоверное принималось значение $p<0,05$. Значение p для множественных сравнений было скорректировано с применением поправки Бонферрони. Для определения взаимосвязи между геометрическими параметрами и риском перелома шейки бедренной кости использовали линейный дискриминантный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В группе с низкоэнергетическими переломами шейки бедренной кости у 7 (50%) пациентов снижение МПК в L1–L4 не превышало $-1,5$ SD, у остальных колебалось от $-1,5$ до $-3,7$ SD.

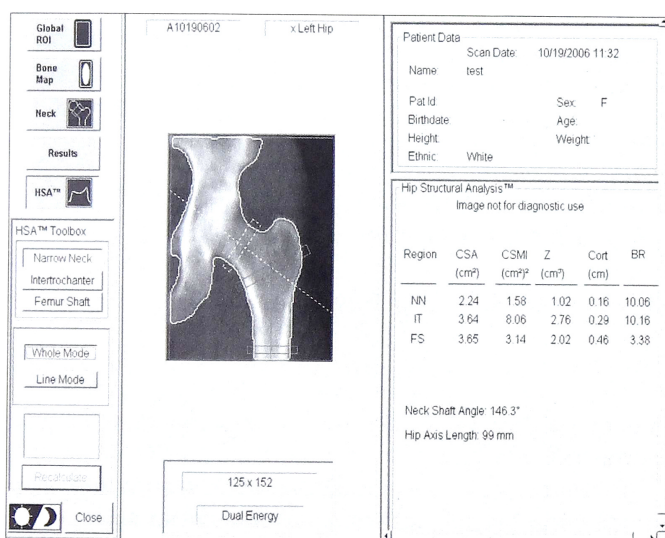


Рис. 1. Программное приложение HSA для денситометра Hologic.

В группе без перелома шейки бедра снижение МПК в этом сегменте в пределах $-1,5$ SD имело место у 12 (48%) пациенток, у 13 (52%) варьировало от $-1,5$ до $-4,5$ SD.

Минеральная плотность кости L1–L4 в абсолютных значениях в группе с переломами в среднем составила $1,022$ г/см², в группе без перелома — $0,879$ г/см² ($p < 0,05$). Минеральная плотность шейки бедренной кости в группе с переломами также оказалась достоверно больше, чем в группе без переломов — $0,797$ г/см² против $0,724$ г/см² ($p < 0,05$). Как видно из представленных в табл. 1 данных, в группе с переломом шейки бедра абсолютные значения МПК как в телах позвонков, так и в шейке бедренной кости были достоверно выше, чем в группе без перелома.

Иная картина выявлена при сравнении параметров, отражающих прочностные характеристики этого сегмента скелета. Показатели CSA, CSMI, Z оказались выше в группе пациентов без перелома шейки бедра, но достоверными различия этих показателей оказались только в межvertebral области (критерий Манна — Уитни: CSA $p = 0,008$; CSMI $p = 0,007$; Z $p = 0,013$; рис. 2). Разница указанных показателей в самой узкой части шейки бедра (NN) и области диафиза бедренной кости (FS) была близка к статистически значимой. В то же время толщина кортикального слоя (табл. 2) у пациенток без переломов оказалась достоверно выше на всех трех уровнях исследования ($p = 0,005$).

Линейный дискриминантный анализ полученных данных выявил, что для прогнозирования риска перелома большее значение, чем оценка толщины кортикального слоя имеет совокупность 9 из 15 оцененных структурных параметров. Среди них: Thick FS (4,5), Z FS (3,2), BR FS (3,2), Thick IT (3,2), BR NN (1,8), Z NN (1,77), CSA IT (1,78), Thick NN (0,78), BR IT (0,63) (В скобках даны коэффициенты

Табл. 1. Показатели МПК (в г/см²) по зонам исследования в сравниваемых группах ($M \pm m$)

Зона исследования	С переломом	Без перелома
L1–L4	$1,022 \pm 0,05^*$	$0,879 \pm 0,03$
L1	$0,938 \pm 0,05^*$	$0,839 \pm 0,02$
L2	$1,033 \pm 0,05^*$	$0,884 \pm 0,03$
L3	$1,104 \pm 0,05^*$	$0,901 \pm 0,03$
L4	$1,055 \pm 0,05^*$	$0,881 \pm 0,03$
Neck	$0,797 \pm 0,04^*$	$0,724 \pm 0,01$

* $p \leq 0,05$.

Табл. 2. Толщина (в см) кортикального слоя в группах сравнения на разных уровнях бедренной кости ($M \pm m$)

Зона исследования	С переломом	Без перелома
Thick NN	$0,165 \pm 0,006^*$	$0,170 \pm 0,004$
Thick IT	$0,327 \pm 0,013^*$	$0,409 \pm 0,014$
Thick FS	$0,500 \pm 0,026^*$	$0,532 \pm 0,018$

* $p \leq 0,05$.

регрессионного уравнения, которые свидетельствуют о величине вклада каждого фактора). Эта комбинация в 100% случаев отличала больных с переломом шейки бедренной кости от пациенток без переломов.

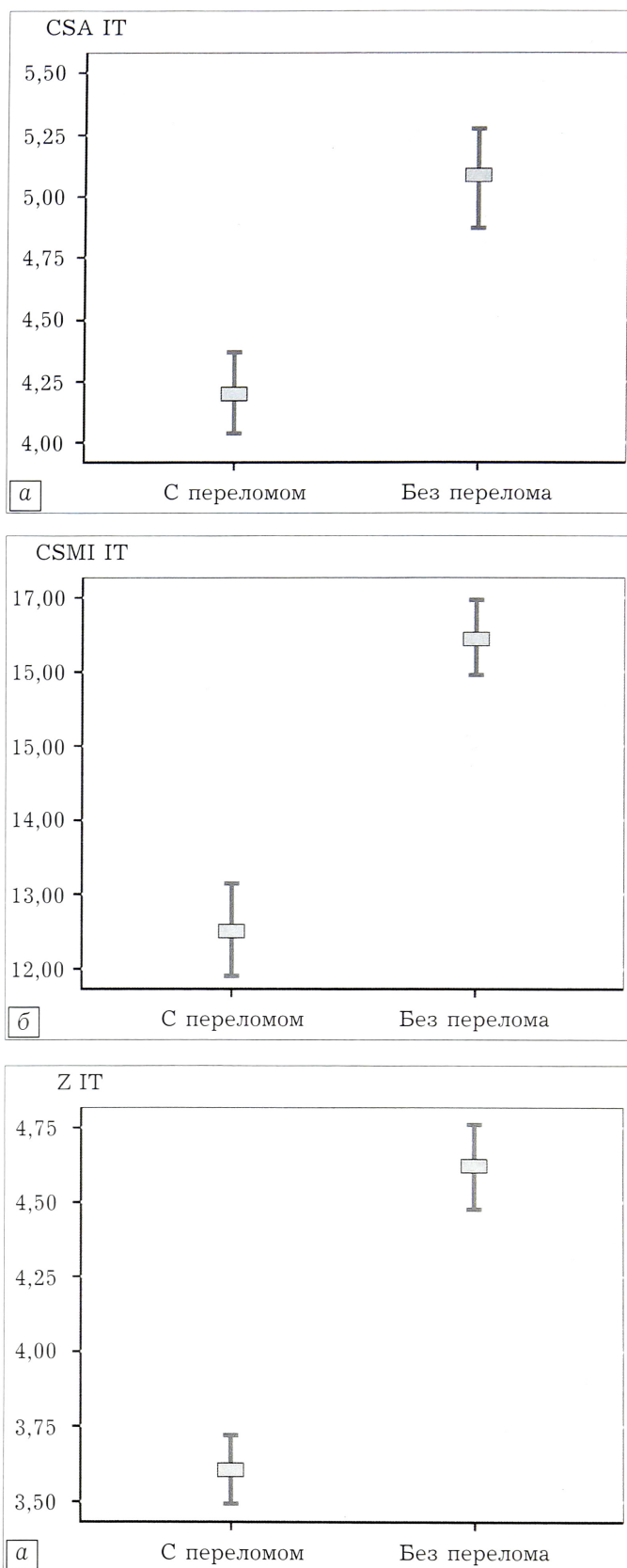


Рис. 2. Показатели CSA (а), CSMI (б) и Z (в) межvertebral области в сравниваемых группах.

ОБСУЖДЕНИЕ

Низкоэнергетические переломы шейки бедра при остеопорозе не всегда ассоциируются с низкой МПК. В экспериментальных и клинических исследованиях убедительно показано, что большая роль в их возникновении отводится качественным и структурным нарушениям костной ткани, которые влияют на ее прочность в большей степени, чем МПК [3, 4]. Так как в реальной клинической практике проведение инвазивной оценки прочности кости не представляется возможным, разработка неинвазивных методик для этой цели является актуальной. Данные о связи геометрических параметров, рассчитанных по денситограммам или рентгенограммам [3], с прочностью проксимального отдела бедра легли в основу разработанного с помощью математического моделирования программного обеспечения HSA software к денситометру Hologic [6]. Использование для этой цели рентгеновской денситометрии видится весьма привлекательным, учитывая, что многие регионы России обеспечены этой аппаратурой. Однако возможность применения данной программы для прогнозирования риска перелома требует проведения дальнейших сравнительных исследований, учитывая сложность интерпретации результатов биомеханических тестов, отражающих прочность кости, но полученных неинвазивно.

Как показало настоящее сравнительное исследование двух групп пациенток, страдающих остеопорозом, у лиц с переломами проксимального отдела бедренной кости, несмотря на достоверно большие значения МПК во всех исследуемых сегментах, такие параметры, как CSA, CSMI и Z были ниже, чем в группе женщин без перелома шейки бедренной кости. Эти данные подтверждают, что структурные параметры в большей степени, чем величина МПК влияют на прочность и риск перелома. Согласно ранее проведенным расчетам [6], нагрузка, оказываемая на кость, обратно пропорциональна площади поперечного сечения (на используемых программой уровнях) проксимального отдела бедра. Из этого следует, что чем выше показатель CSA, тем меньшую нагрузку испытывает кость и тем большая требуется нагрузка-сила для ее перелома, и наоборот, чем меньше этот показатель, тем при меньшей нагрузке происходит перелом. Что касается показателя CSMI, то по расчетам авторов программы предполагается, что чем шире кость при той же площади поперечного сечения, тем большую силу необходимо приложить для ее перелома. Коэффициент Z, отражающий величину нагрузки, при которой происходит перелом, зависит не только от площади поперечного сечения кости и, следовательно, от количества костной массы (МПК), но и от расстояния от центра кости (радиуса), который увеличивается при потере кортикальной кости. У пациенток из группы с переломом шейки бедра ширина кортикальной кости на всех трех

уровнях оказалась достоверно ниже, чем у пациенток без перелома, но достоверное снижение показателей CSA, CSMI, Z было только в межвертельной области. На уровне самой узкой части шейки бедра и диафиза снижение этих параметров относительно группы без перелома также имело место, но было недостоверным. Ранее показано, что с возрастом при снижении толщины кортикального слоя и, как следствие, снижении площади поперечного сечения, происходит увеличение диаметра кости [8]. В процессе старения организма увеличение диаметра кости является физиологической защитой от перелома. Однако организм не может до бесконечности компенсировать сопротивление нагрузкам только лишь за счет геометрии — увеличения диаметра кости без достаточного количества самой костной ткани. Поэтому при определенной потере кортикальной кости наступает так называемое гомеостатическое расширение (порог нестабильности), при котором риск перелома многократно возрастает. У здоровых данный порог наступает после 80 лет. При некоторых заболеваниях, таких как системный остеопороз, изменение геометрии кости происходит раньше, и порог нестабильности «сдвигается» на более ранний возраст, что увеличивает риск перелома. В предлагаемой программе порог нестабильности рассчитывается с помощью коэффициента изгиба BR. Устойчивость бедренной кости к нагрузкам значительно снижается, если радиус превышает толщину кортикального слоя более чем в 10 раз [10]. Тесная связь площади поперечного сечения (CSA) с толщиной кортикального слоя была отмечена в ранее проведенных работах [5]. Несмотря на то что у наблюдаемых нами пациенток с переломами толщина кортикального слоя была снижена на всех уровнях, достоверные межгрупповые различия показателей BR и CSA отмечены только для межвертельной области. Отсутствие статистически значимых отличий этих параметров на уровне шейки бедра и диафиза в сравниваемых группах мы связываем не только с недостаточностью числа наблюдений. Имеются сведения [8], что уменьшение площади кортикальной кости приводит к увеличению нагрузки по периферии, которая стимулирует формирование субпериостальной кости, за счет чего происходит небольшое увеличение CSA. Этот феномен был описан и в некоторых проспективных исследованиях по изучению динамики площади кортикальной кости трубчатых костей здоровых людей [9]. Возможно, это связано с различной нагрузкой, которую испытывает кортикальная кость на разных уровнях проксимального отдела бедра. Известно, что на кортикальную кость в шейке бедра приходится 50% нагрузки, в межвертельной — 80% и что соотношение губчатой кости на этих уровнях также различное [3, 10]. В связи с этим не исключаем, что изменение толщины кортикального слоя имеет большее

прогностическое значение для оценки риска перелома, чем уменьшение CSA. Ранее в исследовании V. Bousson и соавт. [11] также было показано, что толщина кортикальной кости, измеренная с помощью КТ, является лучшим геометрическим параметром, который коррелирует с риском перелома. Однако нами на основании данных дискриминантного анализа установлено, что для прогнозирования риска перелома большее значение, чем оценка толщины кортикального слоя, имеет совокупность указанных выше показателей, определение которых в 100% случаев позволило отличить пациентов с переломом шейки бедренной кости от пациентов без перелома. Полученные данные могли бы лечь в основу «обучающей программы», которая может быть использована для обследования больных, еще не имеющих перелома на момент осмотра. Полученные предварительные результаты применения программного обеспечения HSA software, прилагаемого к денситометру Hologic, дают основание считать, что ее использование может найти широкое применение в реальной клинической практике для своевременного выявления больных остеопорозом, имеющих высокий риск перелома проксимального отдела бедренной кости.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. *International Osteoporosis Foundation*. Osteoporosis costs EU countries EU 37 billion every year. 2013. http://www.eurekalert.org/pub_releases/2013-04/iof-oc041413.php.
2. *Fonseca H., Moreira-Gonzalves D., Coriolano H.J., Duarte J.A.* Bone quality: the determinants of bone strength and fragility. *Sports Med.* 2014; 44 (1): 37–53.
3. *Макаров М.А., Родионова С.С.* Влияние структурных особенностей проксимального отдела бедренной кос-

ти на риск развития переломов шейки бедра при остеопорозе. *Остеопороз и остеопатии.* 2000; 1: 32–4. [*Makarov M.A., Rodionova S.S.* Influence of proximal femur structural peculiarities on the risk of osteoporotic femoral neck fractures. *Osteoporoz i osteopatiya.* 2000; 1: 32–4 (in Russian)].

4. *Родионова С.С., Макаров М.А., Колондаев А.Ф., Гаврыушенко Н.С., Морозов А.К.* Значение минеральной плотности и показателей качества костной ткани в обеспечении ее прочности при остеопорозе. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2001; 2: 76–81 [*Rodionova S.S., Makarov M.A., Kolondaev A.F., Gavryushenko N.S., Morozov A.K.* Significance of mineral density and qualitative characteristics of bone tissue providing bone strength in osteoporosis. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova.* 2001; 2:76–81 (in Russian)].
5. *Martin R.B., Burr D.* Non-invasive measurement of long bone cross-sectional moment of inertia by photon absorptiometry. *J. Biomech.* 1984; 17: 195–201.
6. *Beck T.J., Ruff C.B., Warden K.E. Scott W.W. Jr., Rao G.U.* Predicting femoral neck strength from bone mineral date. A structural approach. *Invest. Radiol.* 1990; 25 (1): 6–18.
7. *Crawford H., Thomas S.* Roarks formulas for stress and strain. 6th ed. New York: McGraw-Hill; 1989: 688.
8. *Seeman E.* The periosteum — a surface for all seasons. *Osteoporosis Int.* 2007; 18 (2): 123–8.
9. *Seeman E.* Periosteal bone formation — a neglected determinant of bone strength. *N. Engl. J. Med.* 2003; 349 (4): 320–3.
10. *Lotz J. C., Cheal E. J., Hayes W.C.* Stress distributions within the proximal femur during gait and falls implications for osteoporotic fractures. [*Osteoporosis Int.* 1995; 5 (4): 252–61.
11. *Bousson V., Le Bras A., Roqueplan F., Kang Y., Mitton D., Kolta S. et al.* Volumetric quantitative computed tomography of the proximal femur: relationships linking geometric and densitometric variables to bone strength. Role for compact bone. *Osteoporosis Int.* 2006; 17 (6): 855–64.

Сведения об авторах: Родионова С.С. — доктор мед. наук, профессор руководитель научно-клинического Центра остеопороза; Торгашин А.Н. — канд. мед. наук, науч. сотр. Центра остеопороза; Солод Э.И. — доктор мед. наук, вед. науч. сотр. отделения травматологии взрослых; Морозова Н.С. — аспирант отделения патологии позвоночника; Морозов А.К. — доктор мед. наук, профессор, зав. отделением лучевой диагностики; Лапкина С.В. — врач отделения лучевой диагностики.

Для контактов: Родионова Светлана Семеновна. 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10, ЦИТО, Центр остеопороза. Тел.: 8 (495) 601-44-07. E-mail: rod06@inbox.ru.

ВНИМАНИЕ !

Подписаться на «Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» можно в любом почтовом отделении

Наши индексы в Каталоге «ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ» АО «Роспечать»:
 для индивидуальных подписчиков **73064**
 для предприятий и организаций **72153**

В розничную продажу «Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» не поступает

