



Прогностическая значимость костной плотности, определенной при компьютерной томографии, в отношении низкоэнергетических переломов позвоночника

Боков А.Е., Млявых С.Г., Алейник А.Я., Растеряева М.В., Кутлаева М.А.

ФГБУ «Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр» Минздрава России, Нижний Новгород, Россия

The Prognostic Value of Bone Density Measured in Hounsfield Units in Relation to Low Energy Vertebra Fracture Prediction

Bokov A.E., Mlyavykh S.G., Aleynik A.Ya., Rasteryaeva M.V., Kutlaeva M.A.

Privolzhsky Federal Research Center, Nizhny Novgorod Russia

При выполнении рентгеновской КТ может быть определена костная плотность в единицах Хаунсфилда (ед.Н), но прогностическая значимость этого параметра в отношении низкоэнергетических переломов позвонков до настоящего времени недостаточно исследована.

Цель исследования: определить прогностическую значимость костной плотности, определенной при КТ-исследовании, в отношении риска низкоэнергетических патологических переломов.

Материал и методы. Проведена оценка результатов КТ 100 пациентов. На уровне L_{II} или L_{III} определяли плотность губчатой кости в ед.Н в сагиттальной, фронтальной плоскостях и на аксиальных срезах, после чего вычисляли среднее значение. Регистрировали наблюдения с одно- и многоуровневыми патологическими переломами, а также наблюдения с многоуровневыми дегенеративными изменениями. Исследовали прогностическую значимость указанных параметров в отношении патологических компрессионных переломов позвонков, для этого применяли логистический регрессионный анализ.

Результаты. Выявлено, что имеется связь плотности позвонков, определенной в ед.Н, с частотой патологических переломов: снижение костной плотности ниже 101 ед.Н сопряжено с нарастанием частоты патологических переломов, в то время как снижение костной плотности ниже 82 ед.Н ассоциируется с увеличением частоты многоуровневых патологических переломов. Наличие многоуровневых дегенеративных изменений ассоциируются со снижением частоты патологических переломов позвонков.

Заключение. КТ-данные могут быть использованы для оценки риска патологических компрессионных

переломов позвонков и служить основанием для назначения профилактических мер или дальнейшего обследования.

Ключевые слова: компьютерная томография, костная плотность, единицы Хаунсфилда, патологические компрессионные переломы позвонков.

Computed tomography (CT) can be used to accurately determine bone density in Hounsfield units (HU), the use of CT as a predictive tool has not been conclusively demonstrated in relation to low energy vertebra compression fracture (VCF).

The objective: to define the prognostic value of bone density measured during CT investigation in relation to VCF.

Materials and methods. One hundred consecutive patients undergoing CT scans were enrolled in this study. Bone density measurements were obtained at the level L_{II} or L_{III} from the cancellous portion of the vertebral body in the mid-sagittal, mid-coronal and axial planes. The presence of a single-level or multi-level VCF was identified by CT. Multi-level degenerative changes were characterized and recorded. Logistic regression was utilized to assess the relationship between the variables of bone density in HU, single – or multi-level VCF and the presence of degenerative changes.

Results. HU were found to have a strong correlation to the risk of VCF. HU of less than 101 were associated with a significant increase in the rate of VCF, whereas HU of less than 82 were associated with a significant increase in the rate of multi-level VCF. Hypertrophic degenerative changes were found to be associated with a decreased rate of VCF.

Conclusion. CT data can accurately define the risk of VCF and therefore presents a useful clinical tool to support



the need for prophylactic medical therapies for osteoporosis or to provide information useful in counseling patients at risk for VCF.

Key words: computed tomography, Bone density, Hounsfield units, Vertebral compression fracture.

Введение

Патологические компрессионные переломы, обусловленные снижением костной плотности, являются одной из наиболее распространенных патологий в пожилом возрасте. Установлено, что у 40% женщин в постклимактерическом периоде отмечаются патологические компрессионные переломы [1, 2].

После того как у пациента впервые выявлен патологический компрессионный перелом, риск повторных компрессионных переломов в течение ближайших 10 лет составляет 25% [3]. Патологические компрессионные переломы встречаются среди мужчин и женщин, однако преобладают среди женщин [4, 5]. Патологические компрессионные переломы особенно опасны отдаленными последствиями, в числе которых снижение жизненной емкости легких и нарушение функции желудочно-кишечного тракта; в связи с этим для своевременного применения профилактических мер необходимо изучение прогностических факторов [6, 7].

С целью верификации остеопороза часто применяется рентгеновская денситометрия костной ткани, но есть данные, что в отношении патологических переломов прогностическое значение метода ограничено [8–10]. Рентгеновская компьютерная томография (РКТ) достаточно часто применяется при диагностике различных заболеваний позвоночника, во время этого исследования может быть определена плотность костной ткани в единицах Хаунсфилда (ед.Н). Шкала основана на изменении проницаемости для рентгенов-

ских лучей, калиброванные значения для воздуха – 1000 ед.Н, для воды – 0 ед.Н; шкала несколько нелинейная [11]. Измерение костной плотности при КТ может применяться для выявления пациентов со значимым риском патологических компрессионных переломов, а также для определения факторов риска в стоматологической имплантологии [12–15]. Тем не менее прогностическая значимость результатов РКТ в отношении рисков патологических компрессионных переломов недостаточно исследована [16].

Цель исследования

Определить прогностическую значимость костной плотности в ед.Н в отношении риска развития компрессионного патологического перелома.

Материал и методы

Работа является нерандомизированным исследованием. Проанализированы результаты КТ-исследований 100 пациентов в возрасте старше 40 лет, которым исследование проводили в связи с впервые возникшими болями в поясничном отделе позвоночника. В исследуемой группе было 63 (63%) женщины и 37 (37%) мужчин. Исключены были пациенты с высокоэнергетической травмой и пациенты с поражением позвонков новообразованиями.

КТ-сканирование проводили на уровне Th_x–L_y (Aquilion 32, Toshiba corporation), толщина срезов 0,5 мм, область исследования 50 см, вольтаж 120 кВ, сила тока 300 мА, авто mAs 180–400, винтовой шаг 21,0. Для определения костной плотности использовали программное обеспечение Vitrea 5.2.497.5523. Определение костной плотности позвонков проводилось на уровне, не вовлеченном в патологические процессы, на уровне L_{II} или L_{III}. Измерение костной плотности в каждом случае проводили в трех плоскостях: сагиттальной, фронтальной и аксиальной.

Для корреспонденции: Боков Андрей Евгеньевич – 603115 Нижний Новгород, Верхневолжская Набережная, 18/1, Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр. Тел. 8-831-436-01-60, факс: 8-831-436-05-91. E-mail: nniito@rambler.ru

Боков Андрей Евгеньевич – канд. мед. наук, научный сотрудник группы позвоночно-спинномозговой патологии ФГБУ «Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр» МЗ РФ; **Млявях Сергей Геннадьевич** – канд. мед. наук, заведующий отделением нейрохирургии ФГБУ «Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр» МЗ РФ; **Алейник Александр Яковлевич** – научный сотрудник группы позвоночно-спинномозговой патологии ФГБУ «Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр» МЗ РФ; **Растеряева Марина Вячеславовна** – канд. мед. наук, врач-рентгенолог рентгенологического отделения ФГБУ «Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр» МЗ РФ; **Кутлаева Марина Александровна** – врач-рентгенолог рентгенологического отделения ФГБУ «Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр» МЗ РФ.

Contact: Bokov Andrey Evgenievich – 603115, Russian Federation, Nizhniy Novgorod, Verkhnevolzhskaya Naberezhnaya, 18/1. Privolzhsky Federal Research Center. Phone: +7-831-436-01-60, Fax: +7-831-436-05-91. E-mail: nniito@rambler.ru

Bokov Andrey Evgenievich – cand. of med. sci., scientific officer of spinal pathology group of Privolzhsky Federal Research Center; **Mlyavykh Sergey Gennadievich** – cand. of med. sci., chief of the neurosurgical department of Privolzhsky Federal Research Center; **Aleynik Alexander Yakovlevich** – cand. of med. sci., scientific officer of spinal pathology group of Privolzhsky Federal Research Center; **Rasteryaeva Marina Vyacheslavovna** – cand. of med. sci., radiologist of roentgenological department of Privolzhsky Federal Research Center; **Kutlaeva Marina Alexandrovna** – radiologist of roentgenological department of Privolzhsky Federal Research Center.

**Таблица 1.** Возраст и средняя костная плотность позвонков исследуемых пациентов

n = 100	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Максимум	Минимум
Возраст, годы	58,18 ± 0,95	9,53	89	42
Средняя костная плотность, ед.Н	108,37 ± 4,95	49,56	212	-17

тальной и на аксиальных срезах. Томограммы во фронтальной и сагиттальной плоскостях проходили через геометрический центр тела позвонка, срезы в аксиальной проекции – через центр ножек. В каждой плоскости костную плотность определяли на площади овальной формы максимального диаметра без захода в кортикальные слои позвонка. После измерения костной плотности в трех плоскостях вычислялось среднее значение для каждого наблюдения, которое использовалось в дальнейших расчетах.

Для оценки патологических переломов применяли полуколичественную оценку по Н.К. Genant [17]. При проведении исследования регистрировались случаи дегенеративных изменений со снижением высоты диска более чем на 50% и признаками субхондрального склероза. Прогностическая значимость костной плотности позвонков и выявленных дегенеративных изменений оценивалась с помощью логистического регрессионного анализа.

Результаты и их обсуждение

Возрастная характеристика пациентов и средняя костная плотность позвонков представлены в табл. 1.

Частота выявленных патологических компрессионных переломов позвонков составила 27 (100 исследований), из них многоуровневые переломы верифицированы у 18 пациентов. Многоуровневые дегенеративные изменения выявлены у 52 пациентов: снижение высоты диска более чем на 50%, субхондральный склероз и гипертрофия дугоотростчатых суставов.

Логистический регрессионный анализ показал значительную связь между снижением костной плотности позвонков и нарастанием частоты патологических компрессионных переломов. Параметры логистической регрессионной модели: $B_0 = 2,6254$, $p = 0,0013$; $B_1 = -0,0387$, $p < 0,0001$. Отношение шансов (ОШ) составило 6930, границы 95% доверительного интервала (95% ДИ) [1344; 358377]. Общая пригодность модели: $\chi^2 = 37,1180$; $p < 0,0001$.

При костной плотности выше 150 ед.Н не выявлено случаев с патологическими компрессионными переломами. С помощью производной третьего порядка выявлена критическая точка полученной регрессионной функции, соответствующая плотности, ниже которой отмечается максималь-

ный прирост вероятности выявления патологического перелома на единицу снижения костной плотности. Критическое значение соответствует 101,78 ед.Н.

Частота многоуровневых патологических компрессионных переломов также зависит от костной плотности позвонков, при ее снижении вероятность выявления увеличивается. Параметры логистической регрессионной модели: $B_0 = 1,5934$, $p = -0,0338$; $B_1 = 0,0355$, $p = 0,00013$, ОШ составило 3300, 95% ДИ [58; 186705,8]. Общая пригодность модели: $\chi^2 = 27,21870$; $p < 0,0001$. При анализе полученного регрессионного уравнения с помощью производной третьего порядка получено критическое значение, ниже которого отмечается максимальный прирост значения вероятности выявления многоуровневых патологических переломов на единицу снижения костной плотности. Критическое значение соответствует 82,0 ед.Н.

Выявлено, что многоуровневые дегенеративные изменения ассоциируются со снижением частоты выявления патологических компрессионных переломов. В табл. 2 представлена разница частоты выявления патологических компрессионных переломов у пациентов с выявленными дегенеративными многоуровневыми изменениями и без них. Параметры логистической регрессионной модели: $B_0 = 0,3514$, $p = 0,2434$ (не значим); $B_1 = 1,3978$, $p = 0,0050$ ОШ составило 4,04; 95% ДИ [1,54; 10,62]. Общая пригодность модели $\chi^2 = 8,976428$ $p = 0,0027$. В подгруппе с многоуровневыми дегенеративными изменениями низкоэнергетические переломы выявлены в 8 (15%) наблюдениях из 54, при отсутствии дегенеративных изменений частота выявленных низкоэнергетических переломов составила 19 (41%) из 46 наблюдений.

Обобщенная регрессионная модель для вероятности выявления патологических компрессионных переломов, содержащая значение костной плотности в ед.Н и наличие многоуровневых дегенеративных изменений, правильно классифицирует 86% наблюдений, общая пригодность модели $\chi^2 = 41,236$, $p < 0,0001$. Параметры модели представлены в табл. 2.

Таким образом, исследуемые признаки на 91% случаев объясняют изменения частоты патологических компрессионных переломов, наиболее важный параметр – костная плотность позвонка в ед.Н.

**Таблица 2.** Параметры обобщенной логистической регрессионной модели и корреляционной матрицы

Компоненты регрессионного уравнения	Коэффициент	ОШ и 95% ДИ	Коэффициент корреляции
Интерцепт	-3,098799, p = 0,0007	-	-
Многоуровневые дегенеративные изменения	1,158752, p = 0,0484	3,186 [1,0083; 10,0660]	-0,3426
Костная плотность, ед.Н	0,0373 p < 0,0001	4973,04 [87,5476; 282486]	-0,8923

Несмотря на то что есть работы, направленные на изучение связи частоты компрессионных патологических переломов и результатов определения костной плотности, до настоящего времени не установлены разграничительные критерии, выявляющие группу пациентов с высоким риском патологических переломов [18–20]. Более того, есть данные, что результаты денситометрии не всегда коррелируют с частотой выявления патологических компрессионных переломов и имеют невысокую прогностическую значимость, в связи с чем ее рекомендуют дополнять другими методами исследования [21–24]. Одним из объяснений такой особенности денситометрии является то, что этот метод определяет суммарную костную плотность в определенной области, но она включает не только губчатое вещество, но и кортикальный слой, а также гипетрофированные задние структуры и склерозированные субхондральные участки кости, что может влиять на результат [13, 25]. В отличие от денситометрии свойства губчатой костной ткани позвонка можно исследовать отдельно при выполнении КТ, а также оценить наличие дегенеративных изменений, которые влияют на частоту патологических компрессионных переломов. В итоге результаты исследования с использованием данных КТ могут быть более надежными [12, 13, 26].

Ранее проводилось исследование прогностической значимости плотности трабекулярной костной ткани позвонка, определенной в ед.Н в отношении риска компрессионных патологических переломов [27]. Недостатком метода был избранный метод анализа: непрерывная шкала предиктора была трансформирована в дихотомическую и рассчитано отношение шансов. Очевидно, что снижающаяся костная плотность будет приводить к нарастанию частоты патологических переломов и любое избранное “пороговое” значение приведет к получению модели с 95% доверительным интервалом отношения шансов за пределами значения, равного единице. Нами был использован другой метод анализа. Отношение частоты патологических компрессионных переломов и костной плотности имеет нелинейный характер, и к изме-

нению скорости приращения функции чувствительны производные функции, критические значения соответствуют нулю производной функции.

Полученные результаты показали, что плотность позвонков, определенная в ед.Н, имеет высокое прогностическое значение в отношении патологических переломов позвонков. Безусловно, методика не калибрована для выявления остеопороза, но определение риска развития компрессионного патологического перелома не менее важно, чем просто констатация наличия или отсутствия остеопороза позвоночника. Нами выявлено, что снижение костной плотности ниже 101 ед.Н является критическим в отношении нарастания частоты патологических переломов, в то время как для многоуровневых переломов это значение соответствует 82 ед.Н. При значениях ниже указанных приращение значения вероятности на единицу потери плотности костной ткани достигает наибольших значений. У пациентов с многоуровневыми дегенеративными изменениями меньше частота патологических переломов, это – значимый предиктор. Наблюдаемый эффект, возможно, связан с увеличением механической прочности за счет субхондрального склероза [28].

Несмотря на то что применение КТ как скринингового метода неоправданно, она все же достаточно часто применяется при диагностике патологии внутренних органов и для определения причины хронических вертеброгенных болевых синдромов. Полученные данные могут быть полезными в отношении оценки риска возникновения патологического перелома у конкретного пациента. В итоге можно определить группу пациентов, нуждающихся в проведении дальнейшего обследования и профилактических мерах.

Заключение

Данные КТ могут быть полезными для оценки риска патологического компрессионного перелома позвонков. Вероятность выявления перелома при костной плотности более 150 ед.Н крайне низкая, в то время как при снижении костной плотности ниже 101 ед.Н будет резко нарастать частота патологических компрессионных переломов, а при



костной плотности ниже 82 ед.Н – частота многоуровневых переломов: ниже указанных значений отмечается максимальный прирост вероятности переломов на единицу снижения костной плотности. На основании данных КТ могут быть рекомендованы дальнейшие обследования и назначены профилактические меры для снижения риска патологических компрессионных переломов.

Список литературы / References

1. Felsenberg D., Silman A.J., Lunt M. et al. Incidence of vertebral fracture in Europe: results from the European Prospective Osteoporosis Study (EPOS). *J. Bone Miner. Res.* 2002; 17: 716–724.
2. Johnell O., Kanis J. Epidemiology of osteoporotic fractures. *Osteoporosis Int.* 2005; 16: S3–S7.
3. Hodsmann A.B., Leslie W.D., Tsang J.F. et al. 10-year probability of recurrent fractures following wrist and other osteoporotic fractures in a large clinical cohort: an analysis from the Manitoba Bone Density Program. *Arch. Intern. Med.* 2008; 168: 2261–2267.
4. LaFleur J., McAdam-Marx C., Kirkness C. et al. Clinical risk factors for fracture in postmenopausal osteoporotic women: a review of the recent literature. *Ann. Pharmacolther.* 2008; 42: 375–386.
5. McLeod K.M., Johnson C.S. Identifying women with low bone mass: a systematic review of screening tools. *Geriatr. Nurse.* 2009; 30: 164–173.
6. Schlaich C., Minne H.W., Bruckner T. et al. Reduced pulmonary function in patients with spinal osteoporotic fractures. *Osteoporosis Int.* 1998; 8: 261–267.
7. Pluijm S.M., Tromp A.M., Smit J.H. et al. Consequences of vertebral deformities in older men and women. *J. Bone Miner. Res.* 2000; 15: 1564–1572.
8. Black D.M., Steinbuch M., Palermo L. et al. An assessment tool for predicting fracture risk in postmenopausal women. *Osteoporosis Int.* 2001; 12: 519–528.
9. Kanis J.A., Johnell O., Oden A. et al. FRAX and the assessment of fracture probability in men and women from the UK. *Osteoporosis Int.* 2008; 19: 385–397.
10. Yi Y., Hwang B., Son H. et al. Low bone mineral density, but not epidural steroid injection, is associated with fracture in postmenopausal women with low back pain. *Pain Physician.* 2012; 15: 441–449.
11. Mull R.T. Mass estimates by computed tomography: physical density from CT numbers. *Am. J. Roentgenol.* 1984; 143: 1101–1104.
12. Naganathan V., Jones G., Nash P. et al. Vertebral fracture risk with long-term corticosteroid therapy: prevalence and relation to age, bone density, and corticosteroid use. *Arch. Intern. Med.* 2000; 160: 2917–2922.
13. Rehman Q., Lang T., Modin G. et al. Quantitative computed tomography of the lumbar spine, not dual X-Ray absorptiometry, is an independent predictor of prevalent vertebral fractures in postmenopausal women with osteopenia receiving long-term glucocorticoid and hormone-replacement therapy. *Arthr. Rheum.* 2002; 46: 1292–1297.
14. Merheb J., Van Assche N., Coucke W. et al. Relationship between cortical bone thickness or computerized tomography-derived bone density values and implant stability. *Clin. Oral. Implants Res.* 2010; 21: 612–617.
15. Hiasa K., Abe Y., Okazaki Y. et al. Preoperative computed tomography-derived bone densities in Hounsfield units at implant sites acquired primary stability. *ISRN Dent.* 2011; 2011: 678–729.
16. Pickhardt P.J., Lee L.J., del Rio A.M. et al. Simultaneous screening for osteoporosis at CT colonography: bone mineral density assessment using MDCT attenuation techniques compared with the DXA reference standard. *J. Bone Miner. Res.* 2011; 26: 2194–2203.
17. Genant H.K., Wu C.Y., Vankuijk C. et al. Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique. *J. Bone Miner. Res.* 1993; 8: 1137–1148.
18. Marshall D., Johnell O., Wedel H. Meta-analysis of how well measures of bone mineral density predict occurrence of osteoporotic fractures. *Br. Med. J.* 1996; 312: 1254–1259.
19. Bouxsein M.L., Palermo L., Yeung C. et al. Digital X-ray radiogrammetry predicts hip, wrist and vertebral fracture risks in elderly women. A prospective analysis from the study of osteoporotic fractures. *Osteoporosis Int.* 2002; 13: 358–365.
20. Lewis C.E., Ewing S.K., Taylor B.C. et al. Predictors of non-spine fracture in elderly men: the MrOS study. *J. Bone Miner. Res.* 2007; 22: 211–219.
21. Small R.E. Uses and Limitations of Bone Mineral Density Measurements in the Management of Osteoporosis. *Med. Gen. Med.* 2005; 7: 3.
22. Lewiecki E.M., Laster A.J. Clinical review: clinical applications of vertebral fracture assessment by dual-energy X-ray absorptiometry. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2006; 91: 4215–4222.
23. Vokes T.J., Gillen D.L. Using clinical risk factors and bone mineral density to determine who among patients undergoing bone densitometry should have vertebral fracture assessment. *Osteoporosis Int.* 2010; 21: 2083–2091.
24. Xu W., Perera S., Medich D. et al. Height Loss, Vertebral Fractures, and the Misclassification of Osteoporosis. *Bone.* 2011; 48: 307–311.
25. Tenne M., McGuigan F., Besjakov J. et al. Degenerative changes at the lumbar spine-implications for bone mineral density measurement in elderly women. *Osteoporosis Int.* 2013; 24: 1419–1428.
26. Liu G., Peacock M., Eilam O., et al. Effect of osteoarthritis in the lumbar spine and hip on bone mineral density and diagnosis of osteoporosis in elderly men and women. *Osteoporosis Int.* 1997; 7: 564–569.
27. Абдрахманова Ж.С. Костная денситометрия и компьютерная томография в оценке пороговых значений минеральной плотности тел позвонков как фактор риска их переломов: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Томск, 2006. 19 с.
Abdrakhmanova J.S. Bone densitometry and computed tomography in estimation of marginal values of vertebra body bone density as risk factors of fracture: Avtoref. dis. ... kand. med. nauk. Tomsk, 2006. 19 p. (In Russian))
28. Pollintine P., Dolan P., Tobias J.H. et al. Intervertebral disc degeneration can lead to “stress-shielding” of the anterior vertebral body: a cause of osteoporotic vertebral fracture? *Spine.* 2004; 29: 774–782.