

КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ КТ-ОСТЕОДЕНСИТОМЕТРИИ ПОЗВОНКОВ

КОЛПИНСКИЙ Г.И.¹, ЗАХАРОВ И.С.¹, УШАКОВА Г.А.¹, УШАКОВ А.В.², ИВАНОВ В.И.³, КАГАН Е.С.³

¹ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет»
Минздрава России

²ГАУЗ КО «Кемеровская областная клиническая больница им. С.В. Беляева»

³ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

ORIGINAL ARTICLE

A SOFTWARE FOR EVALUATION OF LUMBAR SPINE COMPUTED TOMOGRAPHY DENSITOMETRY

GLEB I. KOLPINSKIY¹, IGOR S. ZAKHAROV¹, GALINA A. USHAKOVA¹, ALEXANDER V. USHAKOV², VADIM I. IVANOV³, ELENA S. KAGAN³

¹Kemerovo State Medical University (22a, Voroshilova Street, Kemerovo, 650056),
Kemerovo, Russian Federation

²Kemerovo Regional Clinical Hospital (22a, Oktyabr'skiy Prospekt, Kemerovo, 650066),
Kemerovo, Russian Federation

³Kemerovo State University (6, Krasnaya Street, Kemerovo, 650043), Kemerovo,
Russian Federation

Резюме

Цель. Разработка компьютеризированной системы оценки результатов КТ-остеоденситометрии позвонков, позволяющей проводить комплексное прогнозирование риска остеопоротических переломов у женщин в постменопаузальном периоде.

Материалы и методы. Созданию прогностической системы предшествовало формирование модели, способной на основании результатов количественной компьютерной томографии осуществлять оценку вероятности возникновения риска остеопоротических переломов. При разработке модели 282 женщинам постменопаузального периода было выполнено изучение минеральной плотности кости поясничных позвонков.

Результаты. Чувствительность модели составила 77,8 %, специфичность – 86,7 %. Площадь под ROC-кривой (AUC) – 0,894 (0,855–0,932). Для удобства использования модели в практической работе врача была написана прикладная программа для ЭВМ.

Заключение. Созданная компьютерная программа будет способствовать оптимизации диагностики остеопороза и прогнозирования остеопоротических переломов позвонков у женщин в постменопаузальном периоде, что в итоге позволит осуществлять своевременную профилактику и коррекцию указанных инволюционных нарушений.

Ключевые слова: постменопаузальный остеопороз, количественная компьютерная томография, прогностические модели.

English ►

Abstract

Aim: To develop a software for evaluation of lumbar spine computed tomography densitometry to predict the risk of osteoporotic fractures in postmenopausal women.

Materials and Methods: We evaluated the lumbar spine computed tomography densitometry data in 282 postmenopausal women following a computerized modeling.

Results: The sensitivity and specificity of the model were 77.8% and 86.7%, respectively, with the area under the ROC curve of 0.894 (95% confidence interval 0.855-0.932). We have also developed an original software for prediction of osteoporotic fractures in postmenopausal women.

Conclusion: Our software can assist the clinicians in predicting the risk of osteoporotic fractures in postmenopausal women.

Keywords: postmenopausal osteoporosis, computed tomography, predictive models.

Введение

В постменопаузальном периоде у женщины происходят существенные метаболические изменения, затрагивающие различные системы организма [1]. Одним из нарушений, обусловленных инволюционными процессами, является постменопаузальный остеопороз, распространённость которого неуклонно увеличивается с возрастом. Ведущее место в диагностике данной патологии занимают методы, основанные на оценке уровня минеральной плотности кости (МПК) – двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия и количественная компьютерная томография [2]. Считается, что показатели МПК на 75–80 % определяют прочность кости [3].

Остеоденситометрия, проводимая методом количественной компьютерной томографии, имеет ряд преимуществ, в частности возможность раздельного исследования трабекулярной и кортикальной костной ткани [4].

Характерными локализациями остеопоротических переломов являются позвонки, кости предплечья и шейка бедренной кости [5]. По данным литературы, распространённость остеопоротических переломов позвонков составляет от 2,9–25,3 % [6], повторение которых способствует снижению качества жизни и росту инвалидизации пациентов.

Существуют различные способы оценки риска переломов. Широко распространён метод изучения вероятности возникновения переломов в ближайшие 10 лет (FRAX). Указанная система производит оценку факторов риска обследуемого: возраста, пола, индекса массы тела, наличия переломов в анамнезе и у ближайших родственников, курения, приёма глюкокортикоидов, наличия ревматоидного артрита, прочих причин вторичного остеопороза, злоупотребления алкоголем и уровня минеральной плотности шейки бедренной кости [7]. В то же время, некоторые авторы продемонстрировали невысокую чувствительность данного способа. При ретроспективном десятилетнем исследовании чувствительность российской версии модели

FRAX составила 42 %, а специфичность – 74 % [8]. По данным F. A. Tremollieres (2010) [9], площадь под ROC-кривой модели FRAX равна 0,63 (0,56–0,69), что свидетельствует о среднем качестве модели. Учитывая представленные данные литературы, имеется необходимость дальнейшего поиска оптимальных моделей прогнозирования остеопоротических переломов, обладающих достаточно высокой чувствительностью и специфичностью. Это, в свою очередь, позволит проводить своевременную профилактику указанных осложнений.

В настоящее время, с целью оптимизации работы практического врача, всё больше находит применение использование прогностических систем, основанных на современных компьютерных технологиях.

Цель исследования

Разработка компьютеризированной системы оценки результатов КТ-остеоденситометрии позвонков, позволяющей проводить комплексное прогнозирование риска остеопоротических переломов у женщин в постменопаузальном периоде.

Материалы и методы

Созданию компьютеризированной прогностической системы предшествовало формирование модели, способной, на основании результатов количественной компьютерной томографии (ККТ) выполнять оценку вероятности возникновения риска остеопоротических переломов [10]. Для разработки модели использовался метод бинарной логистической регрессии с применением программы IBM SPSS Statistics 21.

Основой прогностической модели явились результаты остеоденситометрии, проведённой 282 женщинам постменопаузального периода методом количественной компьютерной томографии. Для создания модели были отобраны пациентки с остеопоротическими компрессионными переломами XII грудного – IV поясничного позвонков ($n = 72$). Факт наличия компрес-

сионного перелома позвонка устанавливали на основании полуколичественного метода (Н. К. Genant, 1993) [11]. Носителями противопоставленного признака явились 210 женщин постменопаузального периода, не имеющих компрессионных переломов позвонков. Были выбраны показатели минеральной плотности трабекулярной, кортикальной костной ткани и индексы билатеральной асимметрии МПК II–IV поясничных позвонков. Вычислялись коэффициенты регрессии. С применением ROC-анализа выносилось суждение об уровне качества созданной модели, при этом использовалось значение величины площади под ROC-кривой (AUC, area under the curve).

При моделировании применялось регрессивное уравнение:

$$y = a + b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + \dots + b_i \times X_i$$

где y – зависимая переменная, принимающая два значения: 0 – нет перелома, 1 – есть пере-

лом; a – константа; b_i – коэффициенты регрессии; X_i – переменные.

Рассчитывалась вероятность возникновения переломов:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-y}}$$

где P – прогностическая вероятность, e – экспонента, приближенное значение которой равно 2,718.

Валидность модели оценивалась на основании процента верно переклассифицированных случаев и критерия Somers'D. Проверка общей согласованности прогностической модели с реальными данными осуществлена по критерию согласия Хосмера-Лемешова. Граница критического уровня значимости p соответствовала 0,05.

Результаты и их обсуждение

При разработке прогностической модели получены следующие показатели (таблица 1).

Таблица 1. Коэффициенты регрессии, рассчитанные при построении прогностической модели

Table 1. Regression coefficients used for calculation of the predictive model

Показатели бинарной логистической регрессии	Показатели КТ-остеоденситометрии				
	МПК траб. (X_1)	МПК корт. (X_2)	ИА МПК траб. (X_3)	ИА МПК корт. (X_4)	Константа
В, коэффициент регрессии	–0,044	–0,014	3,443	2,395	–2,551
Стандартная ошибка	0,020	0,007	1,361	1,187	3,337

Примечание:

МПК траб. и МПК корт. – минеральная плотность трабекулярной и кортикальной костной ткани;

ИА МПК траб. и ИА МПК корт. – индексы билатеральной асимметрии минеральной плотности трабекулярной и кортикальной костной ткани поясничных позвонков.

Note:

Indices are for trabecular and cortical bone tissue mineral density;

Indices are for bilateral asymmetry indices of trabecular and cortical bone tissue mineral density

Формула прогностической вероятности возникновения переломов позвонков имеет следующий вид:

$$P = \frac{1}{1 + e^{(2,555 - 0,044 \times X_1 - 0,014 \times X_2 + 3,443 \times X_3 + 2,395 \times X_4)}}$$

При проведении ROC-анализа площадь под ROC-кривой (AUC) созданной модели составила 0,894 (0,855–0,932), что свидетельствует о высокой прогностической способности. Чувствительность модели равна 77,8 %, специфичность – 86,7 %. Процент верной переклассификации (конкордантности) составил 84,4 %. Коэффициент Somers'D равен 0,778 (p

= 0,001). Изучение общей согласованности прогностической модели с реальными данными выполнялось на основании критерия согласия Хосмера-Лемешова ($\chi^2 = 0,61$, $p = 0,644$). Приведённые показатели демонстрируют высокую валидность модели. Получено решение Роспатента о выдаче патента на изобретение «Способ прогнозирования риска остеопоротических переломов позвонков у женщин постменопаузального периода» от 15.09.2016; заявка № 2015116979/14 (026400) от 05.05.2015.

После формирования модели были рассчитаны диапазоны качественной оценки прогностической вероятности возникновения переломов:

Р выше 0,5 свидетельствует о высоком риске переломов; прогностическая вероятность, находящаяся в пределах от 0,5 до 0,371 говорит о среднем риске, ниже 0,371 – о низком.

Обсуждение

Созданная модель прогнозирования позволила сформировать алгоритм определения вероятности возникновения остеопоротических переломов позвонков у женщин в постменопаузальном периоде на основе КТ-остеоденситометрии.

Алгоритм включает несколько этапов. Первый этап: «на входе» системы происходит определение показателей минеральной плотности трабекулярной и кортикальной костной ткани и индексов билатеральной асимметрии МПК поясничных позвонков методом количественной компьютерной томографии. Единицы измерения мг/см³ или mgCa-Na/ml. Второй этап – обработка информации, с использованием формулы прогностической вероятности. Третий этап: «на выходе» получают значения прогностической вероятности возникновения переломов позвонков. Формируется заключение о степени риска переломов.

Для удобства использования прогностической модели в практической деятельности врача была написана прикладная компьютерная программа «Прогнозирование риска переломов позвонков» (номер свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ: 2015618028; опубликовано 20.08.2015), которая может быть использована совместно с основными операционными системами: Microsoft Windows 9x/NT/2000/Vista, 7, 8. Объём программы составляет 697 Кб. Алгоритм программы также состоит из трёх этапов: «на входе» вводится фамилия, имя, отчество, возраст обследуемой, затем – абсолютные показатели минеральной плотности кости трабекулярной и кортикальной костной ткани и индексов билатеральной асимметрии МПК поясничных позвонков (рисунок 1).

После компьютерной обработки, «на выходе» выводятся показатели прогностической вероятности. Дается заключение о риске остеопоротических переломов позвонков (рисунок 2).

Заключение

1. Разработанная прогностическая модель позволяет проводить оценку результатов КТ-остеоденситометрии поясничных позвонков с целью прогнозирования риска остеопоротических переломов у женщин в постменопаузальном периоде.

Прогностическая вероятность переломов

Ф.И.О. A

Возраст 69 лет

L2 (МПК трабекулярной кости)	57.1
L3 (МПК трабекулярной кости)	62.8
L4 (МПК трабекулярной кости)	63.4
Индекс билатеральной асимметрии минеральной плотности трабекулярной кости	1.57
L2 (МПК кортикальной кости)	234.9
L3 (МПК кортикальной кости)	243.5
L4 (МПК кортикальной кости)	246.8
Индекс билатеральной асимметрии минеральной плотности кортикальной кости	1.54

Учреждение ККДЦ

Врач Захаров И.С.

Вычислить

Рисунок 1. Внешний вид программы «Прогнозирование риска переломов позвонков»

Figure 1. Our original software for prognosis of vertebral fractures

Результаты

ККДЦ

Возраст: 69 лет

R= 0,61542

Качественная оценка риска наступления перелома: высокая.

12.11.2013

Врач: Захаров И.С.

Рисунок 2. Результаты обработки показателей КТ-остеоденситометрии, программой «Прогнозирование риска переломов позвонков»

Figure 2. An output obtained by our software

2. Созданная прогностическая модель обладает достаточно высокой чувствительностью, специфичностью и адекватной валидностью.

3. Компьютерная программа «Прогнозирование риска переломов позвонков» будет способствовать повышению качества комплексного прогнозирования остеопоротических переломов позвонков.

Таким образом, созданная компьютерная программа будет способствовать оптимизации диагностики остеопороза и прогнозирования остеопоротических переломов позвонков у женщин в постменопаузальном периоде, что в итоге позволит осуществлять своевременную профилактику и коррекцию указанных инволюционных нарушений.

Литература / References:

1. Medical menopause / edited by Smetnik VP. Yaroslavl: ООО «Izdatel'stvo Litera», 2006. 848 p. Russian (Медицина климактерия / под. ред. В.П. Сметник. Ярославль: ООО «Издательство Литера», 2006. 848 с.)
2. Zakharov IS. Features of bone densitometry in postmenopausal women. Nuclear Medicine and Radiation Safety. 2015; 60 (2): 56-59. Russian (Захаров И.С. Особенности костной денситометрии у женщин в постменопаузальном периоде // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2015. Т.60, №2. С. 56-59.)
3. Sveshnikov AA, Astapenkov DS. Threshold values of skeletal mineral density and fracture incidence. Genius of orthopaedics. 2010; (2): 85-90. Russian (Свешников А.А., Астапенков Д.С. Пороговые величины минеральной плотности костей скелета и частота переломов // Гений ортопедии. 2010. № 2. С. 85-90.)
4. Kolpinsky GI, Zaharov IS. Diagnosis and prognosis of postmenopausal osteoporosis. Kemerovo: "Int", 2015. 202 p. Russian (Колпинский Г.И., Захаров И.С. Диагностика и прогнозирование постменопаузального остеопороза. Кемерово: «Инт», 2015. 202 с.)
5. Averkieva YV, Raskina TA. The prevalence of osteoporotic fractures among residents of the city of Kemerovo in older age groups. Bulletin Kuzbass scientific center. 2010; (11): 14. Russian (Аверкиева Ю.В., Раскина Т.А. Распространённость остеопоротических переломов среди жителей г. Кемерово в старших возрастных группах // Вестник Кузбасского научного центра. 2010. № 11. С. 14.)
6. Benevolenskaja LI. Guidelines for osteoporosis. M.: BINOM, 2003. 524 p. Russian (Беневоленская Л.И. Руководство по остеопорозу. М.: БИНОМ, 2003. 524 с.)
7. Kanis JA, Oden A, Johansson H., Borgstrom F, Ström O, McCloskey EV. FRAX®, a new tool for assessing fracture risk: clinical applications and intervention thresholds. Medicographia. 2010; 32 (1): 33-40.
8. Nikitinskaya OA, Toroptsova NV. Assessment of fractures risk using the FRAX tool (A ten-year retrospective study). Almanac of Clinical Medicine. 2014; (32): 50-55. Russian (Никитинская О.А., Торопцова Н.В. Оценка риска переломов с использованием модели FRAX (ретроспективное десятилетнее исследование) // Альманах клинической медицины. 2014. № 32. С. 50-55.)
9. Tremollieres FA, Pouilles JM, Drewniak N, Laparra J, Ribot CA, Dargent-Molina P. Fracture risk prediction using BMD and clinical risk factors in early postmenopausal women: sensitivity of the WHO FRAX tool. J. Bone Miner. Res. 2010; 25 (5): 1002-1009.
10. Zakharov IS, Kolpinsky GI, Ushakova GA, Kagan ES. Model prediction of risk of osteoporotic vertebral fractures in women using quantitative computed tomography. Radiology – practice. 2015; (4): 19-27. (Захаров И.С., Колпинский Г.И., Ушакова Г.А., Каган Е.С. Модель прогнозирования риска остеопоротических переломов позвонков у женщин с использованием количественной компьютерной томографии // Радиология – практика. 2015. №4. С. 19-27.)
11. Genant HK, Wu CY, van Kuijk C, Nevitt MC. Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique. J. Bone Min. Res. 1993; 8 (9): 1137-1148.

Сведения об авторах

Колпинский Глеб Иванович, доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики, лучевой терапии и онкологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Минздрава России

Захаров Игорь Сергеевич, кандидат медицинских наук, доцент кафедры акушерства и гинекологии № 1, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Минздрава России
Ушакова Галина Александровна, профессор, доктор медицинских наук, заведующая кафедрой акушерства и гинекологии № 1, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Минздрава России

Ушаков Александр Владимирович, кандидат медицинских наук, заведующий рентгенологическим отделением № 2 ГАУЗ КО «Кемеровская областная клиническая больница им. С. В. Беляева»

Иванов Вадим Иванович, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Каган Елена Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Корреспонденцию адресовать:

Захаров Игорь Сергеевич
Адрес: 650029, г. Кемерово,
ул. Ворошилова, 22а.
Тел.: 8 (3842) 46-51-62.
E-mail: isza@mail.ru

Authors

Prof. Gleb I. Kolpinskiy, MD, PhD, Professor, Department of Radiation Diagnosis, Radiotherapy and Oncology, Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russian Federation

Dr. Igor S. Zakharov, MD, PhD, Associate Professor, Department of Obstetrics and Gynecology № 1, Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russian Federation

Prof. Galina A. Ushakova, MD, PhD, Head of the Department of Obstetrics and Gynecology № 1, Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russian Federation

Dr. Aleksandr V. Ushakov, MD, PhD, Head of the Radiology Unit №2, Kemerovo Regional Clinical Hospital, Kemerovo, Russian Federation

Dr. Vadim I. Ivanov, MD, PhD, Associate Professor, Department of Human Physiology and Life Safety, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

Dr. Elena S. Kagan, PhD, Associate Professor, Department of Applied Mathematics, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

Corresponding author:

Dr. Igor S. Zakharov,
Voroshilova Street 22a, Kemerovo, 650029,
Russian Federation
E-mail: isza@mail.ru

Acknowledgements: There was no funding for this article.