

УДК 616.712-001.5.248-073.756.8

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-4-18-26>

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ ОСТЕОПОРОЗА. ЧАСТЬ 2: КОНУСНО-ЛУЧЕВАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ, МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ, ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ: ОБЗОР

^{1,2}В. С. Блинов[✉]*, ¹Ю. С. Китаева[✉], ³Е. А. Праскурничий[✉], ⁴М. А. Чибисова[✉]

¹Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

²Верхнепышминская центральная городская больница имени П. Д. Бородина, г. Верхняя Пышма, Россия

³Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва, Россия

⁴Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Остеопороз характеризуется снижением костной массы и ухудшением ее микроархитектоники. Остеопороз часто остается невыявленным до первого патологического перелома позвонков, проксимальных отделов бедренной кости или других костей. В связи с быстрым старением населения мира ранняя диагностика остеопороза стала важным вопросом здравоохранения.

ЦЕЛЬ: Представить современные данные о методах лучевой диагностики остеопороза с помощью конусно-лучевой компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии, текстурного анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Проведен поиск научных публикаций и клинических рекомендаций в информационно-аналитических системах eLIBRARY.RU и PubMed за 2005–2024 гг. по следующим ключевым словам: остеопороз, конусно-лучевая компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, текстурный анализ, минеральная плотность кости, osteoporosis, cone-beam CT, magnetic resonance imaging, texture analysis, bone mineral density.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Проанализированы 454 статьи, 31 из которых использованы для составления обзора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Представленные в обзоре методы лучевой диагностики остеопороза имеют свои перспективы развития и совершенствования. Анализ научных данных, посвященных описанным методам, говорит о неугасающем интересе к каждому из методов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: остеопороз, конусно-лучевая компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, текстурный анализ

* Для корреспонденции: Блинов Владислав Сергеевич, e-mail: VladSBlinov@mail.ru

Для цитирования: Блинов В.С., Китаева Ю.С., Праскурничий Е.А., Чибисова М.А. Современные методы лучевой диагностики остеопороза. Часть 2: конусно-лучевая компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, текстурный анализ: обзор // *Лучевая диагностика и терапия*. 2025. Т. 16, № 4. С. 18–26, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-4-18-26>.

MODERN METHODS OF RADIOLOGICAL DIAGNOSIS OF OSTEOPOROSIS. PART 2: CONE-BEAM CT, MAGNETIC RESONANCE IMAGING, TEXTURE ANALYSIS: A REVIEW

^{1,2}Vladislav S. Blinov[✉]*, ¹Yulia S. Kitaeva[✉], ³Evgeniy A. Praskurnichiy[✉], ⁴Marina A. Chibisova[✉]

¹Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

²Verkhnepyshminskaya Central City Hospital named after P. D. Borodin, Verkhnyaya Pyshma, Russia

³Russian National Research Medical University named after N. I. Pirogov, Moscow, Russia

⁴North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia

INTRODUCTION: Osteoporosis is characterized by a decrease in bone mass and deterioration of bone microarchitectonics. Osteoporosis often remains undetected until the first pathologic fracture of vertebrae, proximal femur or other bones. With the rapidly aging world population, early diagnosis of osteoporosis has become an important public health issue.

OBJECTIVE: To present current data on the methods of radiologic diagnosis of osteoporosis using cone-beam computed tomography, magnetic resonance imaging, and texture analysis.

© Авторы, 2025. Издательство ООО «Балтийский медицинский образовательный центр». Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike» / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

MATERIAL AND METHODS: We searched for scientific publications and clinical recommendations in the information-analytical systems eLIBRARY.RU and PubMed for 2005–2024 using the following keywords: osteoporosis, cone-beam CT, magnetic resonance imaging, texture analysis, bone mineral density.

RESULTS: A total of 454 articles were analyzed, 31 of which were used for the review.

CONCLUSIONS: The methods of radiologic diagnostics of osteoporosis presented in this review have their own prospects for development and improvement. The analysis of scientific data on the described methods shows the undying interest in each of the methods.

KEYWORDS: osteoporosis, cone-beam computed tomography, magnetic resonance imaging, texture analysis

* For correspondence: Vladislav S. Blinov, e-mail: VladSBlinov@mail.ru

For citation: Blinov V.S., Kitaeva Yu.S., Praskurnichiy E.A., Chibisova M.A. Modern methods of radiological diagnosis of osteoporosis // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2025. Vol. 16, No. 4. P. 18–26, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-4-18-26>.

Введение. Остеопороз характеризуется снижением минеральной плотности кости (МПК). Наиболее грозным осложнением остеопороза являются низкоэнергетические переломы костей, особенно — шейки бедренной кости. Лечение таких переломов экономически затратно, снижается ожидаемая продолжительность жизни, ухудшается качество жизни. МПК — это отношение минеральной костной массы к определенному ее объему. Измерить МПК при лучевых методах исследования можно прямым способом с помощью двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДРА) и количественной компьютерной томографии (ККТ), а также путем вычисления количественных и качественных индексов при конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ), при магнитно-резонансной томографии (МРТ), при текстурном анализе.

Цель. Представить современные данные о методах лучевой диагностики остеопороза с помощью конусно-лучевой КТ, магнитно-резонансной томографии и текстурного анализа.

Материалы и методы. Проведен поиск научных публикаций и клинических рекомендаций в информационно-аналитических системах eLIBRARY.RU и PubMed за 2005–2024 гг. по следующим ключевым словам: остеопороз, конусно-лучевая КТ, магнитно-резонансная томография, текстурный анализ, минеральная плотность кости, osteoporosis, cone-beam CT, magnetic resonance imaging, texture analysis, bone mineral density.

Конусно-лучевая компьютерная томография. Конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) была внедрена в клиническую практику в 1998 г. и в настоящее время широко используется во всех разделах стоматологии и челюстно-лицевой хирургии [1]. В отличие от МСКТ, при КЛКТ невозможно получить плотность в единицах Хаунсфилда (ед. Х.), поэтому прямое измерение плотности кости при КЛКТ невозможно. Для определения снижения МПК при КЛКТ возможно использовать измерение значений серого, оценивать качество костной ткани (классификации Mish, Likhon and Zarb) и использовать модифицированные панорамные индексы [2].

При КЛКТ возможно измерить значения серого в условных единицах. Ш. Д. Хоссаин и соавт. приходят к выводу, что измерение значений серого значительно варьирует между аппаратами для КЛКТ и достигает 17,69% и использование синхронного сканирования фантомов для калибровки позволит повысить точность измерений [3]. В большинстве исследований сообщается, что значения серого, полученные с помощью КЛКТ, выше, чем значения ед. Х., полученные с помощью МСКТ [4, 5]. На рынке существует множество разных аппаратов для КЛКТ, что еще больше усложняет сравнение и стандартизацию получаемых значений серого. Однако некоторые исследования обнаружили высокую корреляцию между значениями серого, полученных на разных КЛКТ-сканерах как *in vitro*, так и *in vivo* [6, 7].

М. Cassetta и соавт. приходят к выводу, что можно переводить значения серого при КЛКТ в ед. Х., используя поправочные коэффициенты [8]. По данным I. Barngkgei и соавт., чувствительность измерения значений серого при КЛКТ составляет 46–50%, специфичность — 88–91% при пороге 829–900 в паре остеопороз — норма [9].

Однако на эту тему следует направить больше исследовательских усилий, особенно на клиническом уровне.

Значительно большее количество исследований изучали модифицированные панорамные индексы для выявления снижения МПК:

— верхний компьютерно-томографический мандибулярный индекс (син.: КТМИв, computed tomography mandibular index (superior), СТИ(s)), который представляет собой отношение ширины кортикальной пластинки нижней челюсти на уровне подбородочного отверстия к расстоянию от верхнего края подбородочного отверстия до нижнего края нижней челюсти (рис. 1);

— нижний компьютерно-томографический мандибулярный индекс (син.: КТМИн, computed tomography mandibular index (inferior), СТИ(i)), который представляет собой отношение ширины кортикальной пластинки нижней челюсти на уровне подбородочного отверстия к расстоянию от нижнего края

подбородочного отверстия до нижнего края нижней челюсти (рис. 1);

— ментальный индекс компьютерной томографии (син.: МИКТ, *computed tomography mental index* (СТМИ)), который представляет собой толщину нижней кортикальной пластинки челюсти в области подбородочного отверстия (рис. 1).

На рис. 1 представлены модифицированные для КЛКТ панорамные индексы.

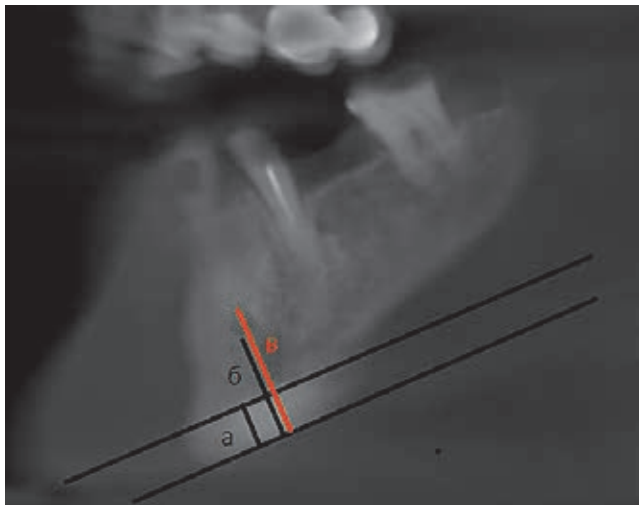


Рис. 1. КЛКТ, фрагмент фронтальной реконструкции с толщиной среза 15 мм: *a* — ментальный индекс компьютерной томографии (толщина нижней кортикальной пластинки челюсти в области подбородочного отверстия); *б* — перпендикуляр от нижнего края подбородочного отверстия к базальной кортикальной пластинке нижней челюсти; *в* — перпендикуляр от верхнего края подбородочного отверстия к базальной кортикальной пластинке нижней челюсти. Отношение a/b — нижний компьютерно-томографический мандибулярный индекс. Отношение a/v — верхний компьютерно-томографический мандибулярный индекс

Fig. 1. CBCT, fragment of frontal reconstruction with a slice thickness of 15 mm: *a* — computed tomography mental index (thickness of the mandibular inferior cortical plate in the area of the mandibular foramen); *б* — perpendicular from the lower edge of the mandibular foramen to the basal cortical plate of the mandible; *в* — perpendicular from the upper edge of the mandibular foramen to the basal cortical plate of the mandible. The a/b ratio — is the lower computed tomographic mandibular index. Ratio a/v — upper computed tomographic mandibular index

Качественным индексом при КЛКТ является кортикальный индекс компьютерной томографии (син.: КИКТ, *computed tomography cortical index* — СТЦИ), который представляет собой тип кортикальной пластинки нижней челюсти (рис. 2).

По данным С. В. Brasileiro и соавт., средние значения КТМИв и КТМИн составляли 0,21 и 0,25 в группе с нормальным значением МПК и 0,14 и 0,18 в группе с остеопорозом [10]. Средние значения МИКТ составили 3,22 мм в группе с нормальными

значениями МПК и 2,23 мм в группе с остеопорозом. В табл. 1 представлены значения диагностической точности компьютерно-томографических индексов.

По данным ВОЗ, у 75% населения мира частично отсутствуют зубы и примерно у 30% людей зубы отсутствуют полностью [14]. Одним из видов ортопедического протезирования зубов является дентальная имплантация. На успех дентальной имплантации влияет, в том числе, состояние костной ткани челюстей. По данным ряда авторов, частота возникновения осложнений у пациентов с остеопенией и остеопорозом в раннем и позднем послеоперационном периоде может варьировать от 5 до 56% [14]. Именно поэтому перед планированием имплантации необходимо оценивать размер альвеолярного гребня челюсти и тип костной ткани.

В 1985 г. Lekholm и Zarb предложили классификацию костной ткани челюстей при рентгенографии [15]. Данная классификация субъективна, но воспроизводима и используется до сих пор. Может быть использована и при двухмерных методах лучевой диагностики и при трехмерных. Классификация разделяет кость на 4 вида в зависимости от соотношения кортикальной и губчатой кости:

- D-1: Кость плотная и однородная, преимущественно кортикальная кость;
- D-2: Кортикальная пластинка толстая, а губчатая кость плотная;
- D-3: Кортикальная пластинка тонкая, а губчатая кость пористая;
- D-4: Кортикальная пластинка очень тонкая, а губчатая кость очень пористая.

Классификация С. Misch (1999) дополняет классификацию Lekholm и Zarb плотностью губчатой кости в ед. X. В табл. 2 представлены классификации костной ткани челюстей по С. Misch и Lekholm и Zarb.

Таким образом, КЛКТ является многообещающим методом для выявления низкой МПК у пациентов. Многие авторы отмечают значительную корреляцию между радиоморфометрическими показателями КЛКТ и измерениями МПК с помощью ДРА у пациентов с остеопорозом. Большинство авторов подчеркивают необходимость стандартизации метода, использования калибровочных фантомов и дальнейшего изучения возможности метода на больших выборках. Расширение использования КЛКТ в стоматологической практике может помочь выявить пациентов с высоким риском остеопороза.

Магнитно-резонансная томография. МРТ может быть использована для диагностики снижения МПК. Многие данные свидетельствуют о значительной роли жировой ткани в состоянии костей скелета, хотя механизмы такого воздействия еще не полностью понятны. Были достигнуты значительные технические достижения при МРТ в количественной оценке общего содержания жира в костном мозге. Однако надежная количественная оценка состава костного жира *in vivo* остается сложной задачей из-

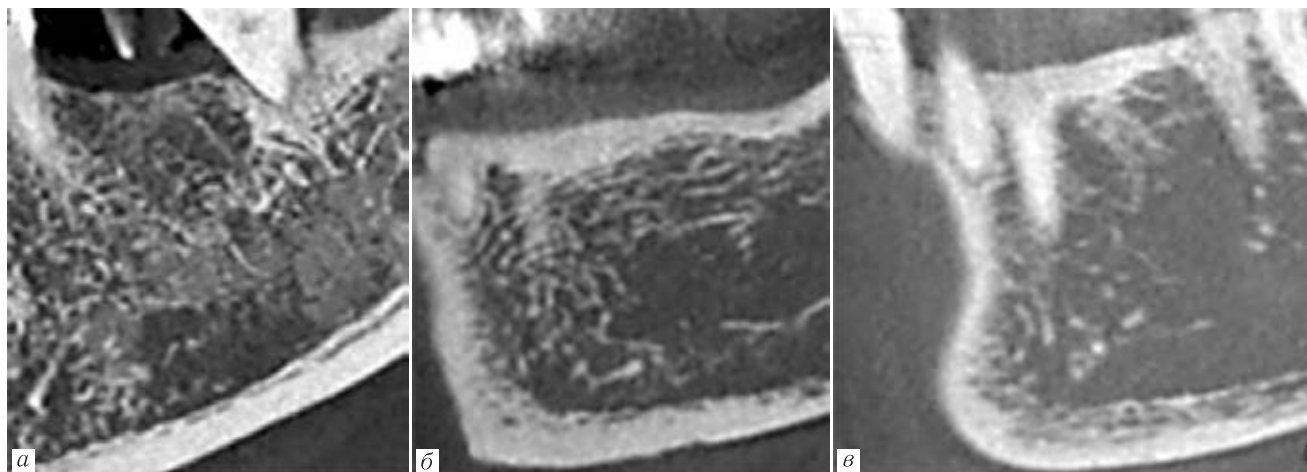


Рис. 2. КЛКТ, фрагменты фронтальных реформатов нижней челюсти. Кортикальный индекс компьютерной томографии: *а* — тип 1: кортикальный слой выглядит ровным и правильным; *б* — тип 2: в кортикальном слое выявляются полулунные дефекты или 1–2 слоя внутрикорткальных дефектов; *в* — тип 3: кортикальный слой имеет многочисленные (>3) дефекты

Fig. 2. CBCT, fragments of mandibular frontal reformates. Computed tomography cortical index: *a* — type 1: the cortical layer appears smooth and regular; *b* — type 2: semilunar defects or 1–2 layers of intracortical defects are detected in the cortical layer; *v* — type 3: the cortical layer has multiple (>3) defects

Таблица 1

Диагностическая точность компьютерно-томографических индексов

Table 1

Diagnostic accuracy of computed tomographic indices

Автор, год	Измеряемая величина при КЛКТ	Примечания
I. Barngekgei и соавт. (2014)[9]	Значения серого на 5 аксиальных срезах: один срез — на уровне нижнего края подбородочных отверстий, два среза — на уровне середины ветви нижней челюсти, два среза — на уровне перехода ветви челюсти в тело	Чувствительность, специфичность и точность составили 46,2–50%, 88,9–91,3% и 75–78,4% соответственно. Порог значений серого: 829–900 — остеопороз
S. G. Barra и соавт. (2021)[11]	Измеряли толщину кортикальной пластинки нижней челюсти на поперечных реформатах в 4 участках: 1) симфиз (S): равное расстоянии от центров правого и левого подбородочных отверстий (ПО); 2) передний (A): 10 мм впереди от ПО; 3) моляр (M): 10 мм взади от ПО; 4) задний (P): на 25 мм взади от ПО	Индексы M и P при КЛКТ могут быть полезны для выявления низкой МПК у женщин в постменопаузе, пороговое значение: 1,73 мм
C. B. Brasileiro и соавт. (2017) [10]	Верхний и нижний компьютерно-томографический мандибулярный индекс. Ментальный индекс компьютерной томографии	Средние значения КТМИв и КТМИн составили 0,21 и 0,25 в группе нормальной МПК, 0,14 и 0,18 в группе с остеопорозом. Среднее значение МИКТ составило 3,22 мм в группе с нормальной МПК и 2,23 мм в группе с остеопорозом
K. J. Koh и соавт. (2011)[12]	Верхний и нижний компьютерно-томографический мандибулярный индекс. Ментальный индекс компьютерной томографии	Позволяет отличать женщин с остеопорозом от женщин с нормальной МПК с хорошей чувствительностью и специфичностью
R. A. Mostafa и соавт. (2016) [13]	Верхний и нижний компьютерно-томографический мандибулярный индекс. Ментальный индекс компьютерной томографии. Кортикальный индекс компьютерной томографии	Радиоморфометрические показатели КЛКТ могут использоваться в качестве вспомогательного инструмента для направления пациентов с риском остеопороза на дальнейшее обследование

за сложного состава губчатой кости (красный и желтый костный мозг, костные трабекулы).

Основываясь на предположении, что при остеопорозе происходит жировая инволюция костного мозга [16], было предложено определять количество жировой ткани в виде жировой фракции (fat fraction) при следующих импульсных последовательностях: инверсия-восстановление спинного эха с коротким

T1 (STIR), итеративное разложение воды и жира с эхо-асимметрией и методом наименьших квадратов (DIXON, IDEAL), диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ), магнитно-резонансная спектроскопия (МРС).

Последовательности инверсия-восстановление. Часть исследований остановились на изучении T1-взвешенных изображений (T1-ВИ) для измерения

Классификация типов костной ткани челюстей

Table 2

Classification of types of bone jaws

Классификация	D1	D2	D3	D4
				
Lekholm и Zarb (1985)	Преимущественно кортикальная кость	Кортикальная пластинка толстая, а губчатая кость плотная	Кортикальная пластинка тонкая, а губчатая кость пористая	Кортикальная пластинка очень тонкая, а губчатая кость очень пористая
C. Misch (1999)	Более 1250 ед. X	850–1250 ед. X	350–850 ед. X	150–350 ед. X

объема жировой ткани в кости. M. Bandirali и соавт. предлагают ввести M-критерий при МРТ [17]. Авторы измеряли интенсивность сигнала в позвонках L_I–L_{IV} на T1-ВИ, измеряли уровень шума в зоне вне тела без артефактов, вычисляли signal-to-noise ratio (SNR) как отношение интенсивности сигнала внутри позвонка к шуму. Затем рассчитывали SNR_{L_I–L_{IV}} как среднее значение SNR тел позвонков от L_I до L_{IV}. M-критерий рассчитывался как соотношение SNR_{L_I–L_{IV}} в группе пациентов с остеопорозом минус SNR_{L_I–L_{IV}} в группе с нормальными значениями МПК к стандартному отклонению в группе с нормальными значениями МПК. A. Shayganfar и соавт. в результате исследования 83 женщин в постменопаузе, сообщают и значениях M-критерия <1,26 для нормальной МПК, 1,26 < M-критерий <2,05 для остеопении и M-критерий >2,05 для остеопороза с чувствительностью 92% и специфичностью 87% [18]. Последовательность инверсия-восстановление является полезным инструментом выявления отека костного мозга. Y. Chen и соавт. сообщают о чувствительности T1-ВИ для диагностики остеопороза 92,86% и специфичности 100% при T1 ≤ 0,625 сек, чувствительности T2-ВИ 92,86% и специфичности 96,30% при T2 > 0,095 сек [19].

Итеративное разложение воды и жира (DIXON, IDEAL). Методы Диксона основаны на разнице в резонансной частоте между жиром и водой и за одну последовательность получают изображения только жира, только воды, синфазные и противофазные изображения. Это дает методам Диксона уникальную возможность количественно определять количество жира и воды в кости.

D. Kim и соавт. сообщают о чувствительности измерения фракции жира (последовательность DIXON VIBE) 65% (56–73%) для остеопении, 72% (61–78%) для остеопороза [20]. А. Д. Лукашев и соавт. продемонстрировали обратную корреляцию между фракцией жира и МПК и предлагают ввести последовательность DIXON в рутинные протоколы МРТ поясничного отдела позвоночника и использо-

вать измерение фракции жира в качестве скрининга на остеопороз [21]. На рис. 3 представлена МРТ поясничного отдела позвоночника, последовательность IDEAL.

Диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ). Диффузионно-взвешенная МРТ чувствительна к броуновскому движению молекул воды, которая связана с микроструктурой ткани. Однако применение ДВ-МРТ костного мозга затруднено из-за разницы в чувствительности между костью и костным мозгом и подверженности изображений геометрическим искажениям. O. Dietrich и соавт. сообщают, что измеряемый коэффициент диффузии (ИКД) нормального костного мозга позвонков находится в диапазоне от 0,2 до $0,6 \times 10^{-3}$ мм²/с, что ниже, чем почти во всех других тканях организма человека, за исключением жира [22]. G. Y. Tang и соавт. сообщили, что ИКД костного мозга уменьшается с возрастом, что можно объяснить увеличением количества жира в костном мозге с увеличением возраста, что приводит к большому ограничению диффузии воды [23]. В ряде исследований сообщалось о снижении ИКД при снижении МПК [24], в других исследованиях сообщалось либо об отсутствии корреляции между ИКД и МПК [25], либо даже о небольшом увеличении ИКД при снижении МПК [26]. Различные результаты в разных исследованиях могут быть объяснены разными последовательностями и параметрами диффузии, методами постобработки и когортами пациентов.

МР-спектроскопия. МР-спектроскопия считается «золотым стандартом» для количественного определения содержания и состава жира в тканях. D. Kim и соавт. сообщают о чувствительности МР-спектроскопии для остеопении 64%, для остеопороза — 74% [20].

С помощью МРТ можно изучать не только количество жировой ткани в кости, но и морфологические (изменения высоты) изменения тел позвонков. Так, G. Guglielmi и соавт. на срединных сагитальных T1-ВИ рассчитывали индекс Барнетта–Нордина (Б/Н), как отношение средней высоты тела позвонка

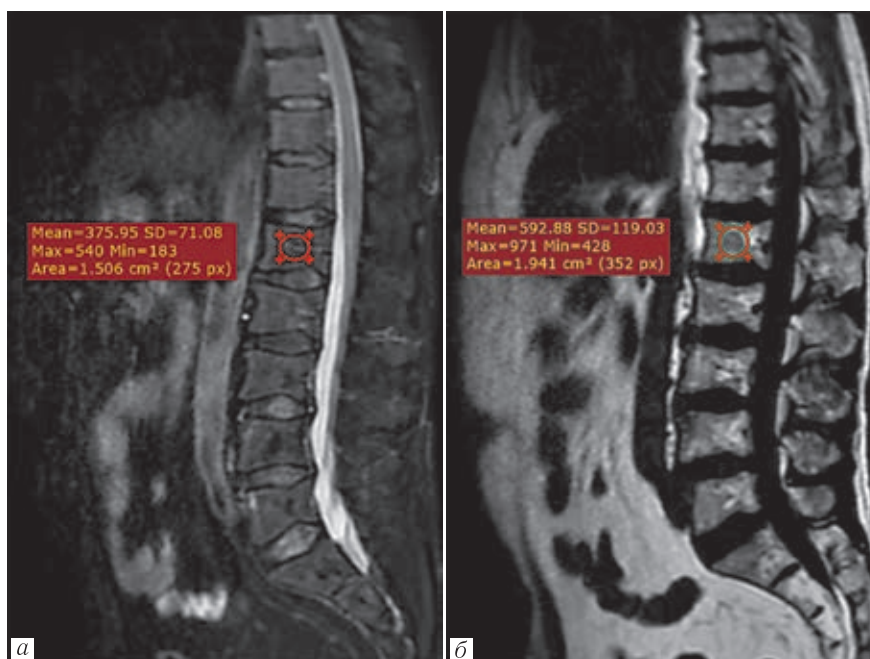


Рис. 3. МРТ поясничного отдела позвоночника пациента И., 82 года: *а* — сагиттальный срез, последовательность IDEAL, изображение сигнала только воды; *б* — сагиттальный срез, последовательность IDEAL, изображение сигнала только жира. Фракция жира: 0,61. При ДРА (не показана на рисунке) Т-критерий в поясничном отделе позвоночника составил: $-2,5$ СО, Т-критерий в шейке бедренной кости: $-2,6$ СО. По рекомендациям ВОЗ Т-критерий пациента И. соответствует остеопорозу

Fig. 3. MRI of the lumbar spine of patient I., 82 years: *a* — sagittal slice, IDEAL sequence, water only signal image ; *б* — sagittal slice, IDEAL sequence, fat-only signal image. Fat fraction: 0.61. At DXA (not shown in the figure), the T-criterion at the lumbar spine was: criterion at the lumbar spine was: -2.5 SD, T-criterion in femoral neck: -2.6 SD. According to WHO recommendations, patient I.'s T-criterion corresponds to osteoporosis

к высоте его передней поверхности [27]. Авторы приходят к выводу, что при остеопении индекс Барнетта–Нордина уменьшается на 2,3% (0,84), при остеопорозе — на 5,8% (0,81).

Таким образом, МРТ является перспективным методом оценки МПК, который можно использовать в качестве бездозового оппортунистического скрининга ОП при проведении МРТ, например, поясничного отдела позвоночника, направленного по другим показаниям. Необходимы дальнейшие исследования в преимущественном выборе импульсной последовательности, интерпретации полученных значений, диагностической точности и корреляции с другими методами лучевой диагностики.

Текстурный анализ. Рентгеновское изображение кости обладает свойствами текстуры, поэтому для него применимы методы математической морфологии. Математическая морфология представляет собой набор цифровых методик анализа изображений. Текстурный анализ представляет собой неинвазивный метод получения количественного описания структурных изменений в костных трабекулах. Текстурный анализ можно применять для обычных рентгенограмм, интраоральных рентгенограмм, панорамных томограмм зубных рядов. Для текстурного анализа необходимо использовать специальное программное обеспечение, такое как ImageJ или MATLAB.

D. S. Cavalcante и соавт. в мета-анализе, посвященном текстурному анализу, сообщают о чувствительно-

сти 86,17% (80,75–90,82%), специфичности 72,68% (53,41–88,32%) при оценке наличия остеопороза по сравнению с нормальной МПК [28]. Авторы приходят к выводу о важности текстурного анализа как дополнительного инструмента скрининга остеопороза. В табл. 3 представлены результаты диагностической точности текстурного анализа при ПТ.

При текстурном анализе из рентгеновского изображения вырезается зона интереса и загружается в специализированное программное обеспечение. Изображения обрабатываются программным обеспечением и измеряются текстурные параметры. Измеряемых параметров большое количество. Некоторые из них: матрица сравнения оттенков серого — это способ анализа диагностического изображения для сравнения описания пространственного распределения уровней серого в изображении. Фрактальный анализ — предоставляет анализ, сравнивающий изменение деталей узора рисунка с масштабом, в котором он измеряется. Метод анализа структуры — основывается на анализе структурных элементов в скелетонизированном двухцветном (серо-белом) изображении путем подсчета количества узлов (точка пересечения линий), пластин (концевых линий) и структур (соединения между узлом и пластиной). Чувствительность, специфичность и точность метода анализа структуры для остеопороза составляют 97,1%, 95,7% и 96,25% соответственно.

Исследования диагностической точности текстурного анализа при панорамной томографии

Table 3

Studies on the diagnostic accuracy of texture analysis in panoramic tomography

Критерии	Исследования				
	A. C. Alman и соавт. (2012) [29]	M. S. Kavitha и соавт. (2015) [30]	M. S. Kavitha и соавт. (2015) [30]	A. J. Samargo и соавт. (2017) [31]	J. J. Hwang и соавт. (2017) [31]
Зона интереса	Тело нижней челюсти	Тело нижней челюсти	Тело нижней челюсти	Тело нижней челюсти	Тело нижней челюсти, мышелковый отросток и ветвь нижней челюсти
Чувствительность	72,72 (39,02–93,97)	87,36 (78,9–93,29)	89,47 (81,49–94,83)	90,00 (68,30–98,76)	70,00 (34,75–93,32)
Специфичность	70,17 (60,89–78,38)	95,54 (92,86–97,43)	67,96 (62,86–72,76)	76,86 (68,32–84,03)	35,29 (14,21–61,67)

М. S. Kavitha и соавт. показали чувствительность в 91,2% фрактального анализа у пациентов с остеопорозом [30]. Исследования матрицы измерения оттенков серого показали самую низкую чувствительность в 54%. R. Franciotti и соавт. в мета-анализе отмечают, что 51% исследований обнаружили значимую разницу между группами с остеопорозом и нормальной МПК с помощью текстурного анализа [31]. Однако авторы отмечают, что использование текстурного анализа для диагностики остеопороза требует специальных знаний и программного обеспечения и не является надежным, необходимы дальнейшие исследования в этом направлении.

Заключение. Конусно-лучевая компьютерная томография — перспективный метод косвенной оценки снижения МПК. При КЛКТ возможно оце-

нивать значения оттенков серого, использовать для характеристики типа костной ткани, использовать косвенные компьютерно-томографические индексы. Магнитно-резонансная томография — перспективный наукоемкий метод, при котором возможно оценивать метаболизм жировой ткани и судить о снижении МПК. Метод перспективен для оппортунистического скрининга остеопороза, в том числе для внедрения способов машинного обучения и систем принятия врачебных решений. Необходимо дальнейшее исследование различных импульсных последовательностей и их диагностической точности и применимости. Текстурный анализ является перспективным методом оценки костной ткани, но требует специальных знаний и программного обеспечения.

Сведения об авторах:

Блинов Владислав Сергеевич — кандидат медицинских наук, заведующий рентгенодиагностическим отделением государственного автономного учреждения здравоохранения Свердловской области «Верхнепышминская центральная городская больница имени П. Д. Бородина»; 624090, г. Верхняя Пышма, ул. Чайковского, д. 32; ассистент кафедры онкологии и лучевой диагностики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 620028, Екатеринбург, ул. Репина, д. 3; e-mail: VladSBlinov@mail.ru; ORCID 0000-0002-4677-8614;

Китаева Юлия Сергеевна — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры пропедевтики внутренних болезней федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 620028, Екатеринбург, ул. Репина, д. 3; e-mail: JKhema@yandex.ru; ORCID 0000-0002-4092-6305;

Праскурничий Евгений Аркадьевич — доктор медицинских наук, заведующий кафедрой терапии медико-биологического университета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский научно-исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, ул. Островитянова, д. 1; e-mail: praskurnichey@mail.ru; ORCID 0000-0002-9523-5966;

Чибисова Марина Анатольевна — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры клинической стоматологии, профессор кафедры детской и терапевтической стоматологии имени Ю. А. Федорова федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; председатель секции СтАР «Лучевая диагностика в стоматологии»; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; e-mail: chibm@mail.ru; ORCID 0000-0003-0450-572X.

Information about the authors:

Vladislav S. Blinov — Cand. of Sci. (Med.), Head of the X-ray diagnostic department of State Autonomous Healthcare Institution of the Sverdlovsk Region «Verkhnepyshminskaya Central City Hospital named after P. D. Borodin», 624090, Russia, Verkhnyaya Pyshma, st. Chaykovskogo, 32; Assistant at the Department of Oncology and Radiologic Diagnostics Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural State Medical University» of the Ministry of Health of Russia, 620028, Ekaterinburg, st. Repina, 3; e-mail: VladSBlinov@mail.ru; ORCID 0000-0002-4677-8614;

Yulia S. Kitaeva — Cand. of Sci. (Med.), Assistant of the Department of Propaedeutics of Internal Diseases Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Urals State Medical University» of the Ministry of Health of Russia; 620028, Ekaterinburg, st. Repina; e-mail: JKhema@yandex.ru; ORCID 0000-0002-4092-6305;

Evgeniy A. Praskurnichiy — Dr. of Sci. (Med.), Head of Department of Therapy, Medical and Biological University Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian National Research Medical University named after N. I. Pirogov» Ministry of Health of Russia; 117997, Moscow, st. Ostrovityanova, 1; e-mail: praskurnichey@mail.ru; ORCID 0000-0002-9523-5966;

Marina A. Chibisova — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Clinical Dentistry, Professor of the Department of Pediatric and Therapeutic Dentistry named after Y. A. Fedorov Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov» of the Ministry of Health of Russia, Head of the StAR Section «X-ray diagnostics in stomatology»; 191015, St. Petersburg, st. Kirochnaya, 41; e-mail: chibm@mail.ru; ORCID 0000-0003-0450-572X.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ИСМЖЕ (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — В.С.Блинов, Ю.С.Кутаева; сбор и анализ данных — В.С.Блинов, Ю.С.Кутаева, Е.А.Праскурничий, М.А.Чибисова; подготовка рукописи — В.С.Блинов, Ю.С.Кутаева.

Authors' contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution — VSB, YSK; aided in the concept and plan of the study — VSB, YSK, EAP, MACH; preparation of the manuscript — VSB, YSK.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure: the authors declare that they have no competing interests.

Поступила/Received: 07.04.2024

Принята к печати/Accepted: 29.11.2025

Опубликована/Published: 29.12.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Чибисова М.А., Батюков Н.М. Методы рентгенологического обследования и современной лучевой диагностики, используемые в стоматологии // *Институт стоматологии*. 2020. № 3 (88). С. 24–33 [Chibisova M.A., Batukov N.M. Methods of X-ray examination and modern radiation diagnostics used in dentistry. *Institut stomatologii*, 2020, No. 3 (88), pp. 24–33 (In Russ.)].
2. Isayev A., Velieva N., Isedisha L. et al. Cone-Beam Computed Tomography as a Prediction Tool for Osteoporosis in Postmenopausal Women: A Systematic Literature Review // *Diagnostics (Basel)*. 2023. No. 13 (6). doi: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13061027>.
3. Хоссаин Ш.Д., Петрайкин А.В., Мураев А.А., Данаев А.Б. и др. Рентгеноконтрастные шаблоны для определения минеральной плотности кости по данным конусно-лучевой и мультиспиральной компьютерной томографии // *Digital Diagnostics*. 2023. № 4 (3). С. 292–305. [Hossain Sh.D., Petraikin A.V., Muraev A.A., Danaev A.B. et al. Bone mineral density radiopaque templates for cone beam computed tomography and multidetector computed tomography. *Digital Diagnostics*, 2023, No. 4 (3), pp. 292–305 (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.17816/DD501771>.
4. Parsa A., Ibrahim N., Hassan B. et al. Reliability of voxel gray values in cone beam computed tomography for preoperative implant planning assessment // *Int. J. Oral. Maxillofac. Implants*. 2012. No. 27. P. 1438–1442. PMID: 23189294.
5. Arisan V., Karabuda Z.C., Avsever H., Ozdemir T. Conventional multi-slice computed tomography (CT) and cone-beam CT (CBCT) for computer-assisted implant placement. Part I: relationship of radiographic gray density and implant stability // *Clin. Implant. Dent. Relat. Res.* 2013. No. 15. P. 893–906. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2011.00436.x>.
6. Pauwels R., Nackaerts O., Bellaiche N. et al. Variability of dental cone beam CT grey values for density estimations // *Br. J. Radiol.* 2013. No. 86. P. 1–9. doi: <https://doi.org/10.1259/bjr.20120135>.
7. Reeves T.E., Mah P., McDavid W.D. Deriving Hounsfield units using grey levels in cone beam CT: a clinical application // *Dentomaxillofac. Radiol.* 2012. No. 41. P. 500–508. doi: <https://doi.org/10.1259/dmfr/31640433>.
8. Cassetta M., Stefanelli L.V., Pacifici A., Pacifici L., Barbato E. How accurate is CBCT in measuring bone density? A comparative CBCT-CT in vitro study // *Clin. Implant Dent. Relat. Res.* 2014. No. 16 (4). P. 471–478. doi: <https://doi.org/10.1111/cid.12027>.
9. Barngekei I., Al Haffar I., Khattab R. Osteoporosis prediction from the mandible using cone-beam computed tomography // *Imaging Sci. Dent.* 2014. No. 44. P. 263–271. doi: <https://doi.org/10.5624/isd.2014.44.4.263>.
10. Brasileiro C.B., Chalub L.H., Abreu M.G. et al. Use of cone beam computed tomography in identifying postmenopausal women with osteoporosis // *Arch. Osteoporos.* 2017. No. 12. doi: <https://doi.org/10.1007/s11657-017-0314-7>.
11. Barra S.G., Gomes I.P., Amaral T.M.P. et al. New mandibular indices in cone beam computed tomography to identify low bone mineral density in postmenopausal women // *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol.* 2021. No. 131 (3). P. 347–355. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2020.07.016>.
12. Koh K.J., Kim K.A. Utility of the computed tomography indices on cone beam computed tomography images in the diagnosis of osteoporosis in women // *Imaging Sci. Dent.* 2011. No. 41. P. 101–106. doi: <https://doi.org/10.5624/isd.2011.41.3.101>.
13. Mostafa R.A., Arnout E.A., Abo El-Fotouh M.M. Feasibility of cone beam computed tomography radiomorphometric analysis and fractal dimension in assessment of postmenopausal osteoporosis in correlation with dual X-ray absorptiometry // *Dentomaxillofac. Radiol.* 2016. No. 45. P. 20160212. doi: <https://doi.org/10.1259/dmfr.20160212>.
14. Кулаков А.А., Каспаров А.С., Порфенчук Д.А. Факторы, влияющие на остеоинтеграцию и применение ранней функциональной нагрузки для сокращения сроков лечения при дентальной имплантации // *Стоматология*. 2019. № 4. С. 107–115. [Kulakov A.A., Kasparov A.S., Porfenchuk D.A. Factors affecting osteointegration and the use of early functional load to reduce the duration of treatment in dental implantation. *Stomatology*, 2019, No. 4, pp. 107–115 (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.17116/stomat201998041107>.
15. Zarb G.U., Albrektsson T. Patient selection and preparation. Tissue integrated prostheses: osseointegration in clinical dentistry // *Quintessence Publisher*. 1985. P. 199–209.
16. Tang G.Y., Lv Z.W., Tang R.B. et al. Evaluation of MR spectroscopy and diffusion-weighted MRI in detecting bone marrow changes in postmenopausal women with osteoporosis // *Clin. Radiol.* 2010. No. 65. P. 377–381. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crad.2009.12.011>.

17. Bandirali M., Di Leo G., Papini G.D. et al. A new diagnostic score to detect osteoporosis in patients undergoing lumbar spine MRI // *Eur. Radiol.* 2015. No. 25. P. 2951–2959. doi: <https://doi.org/10.1007/s00330-015-3699-y>.
18. Shayganfar A., Khodayi M., Ebrahimian S., Tabrizi Z. Quantitative diagnosis of osteoporosis using lumbar spine signal intensity in magnetic resonance imaging // *Br. J. Radiol.* 2019. No. 92 (1097). P. 20180774. doi: <https://doi.org/10.1259/bjr.20180774>.
19. Chen Y., Mei X., Liang X. et al. Application of magnetic resonance image compilation (MAGiC) in the diagnosis of middle-aged and elderly women with osteoporosis // *BMC Med. Imaging.* 2023. No. 23 (1). pp. 63. doi: <https://doi.org/10.1186/s12880-023-01010-9>.
20. Kim D., Kim S.K., Lee S.J. et al. Simultaneous Estimation of the Fat Fraction and R_2^* Via T_2^* -Corrected 6-Echo Dixon Volumetric Interpolated Breath-hold Examination Imaging for Osteopenia and Osteoporosis Detection: Correlations with Sex, Age, and Menopause // *Korean J. Radiol.* 2019. No. 20 (6). P. 916–930. doi: <https://doi.org/10.3348/kjr.2018.0032>.
21. Лукашев А.Д., Ахатов А.Ф., Рыжкин С.А., Михайлов М.К., Залаева Д.Р. Применение МРТ-последовательности DIXON в диагностике изменений губчатого вещества тел позвонков в сопоставлении с данными остеоденситометрии // *Медицинская визуализация.* 2023. № 27 (3). С. 76–83. [Lukashew A.D., Akhatov A.F., Ryzhkin S.A., Mikhailov M.K., Zalaeva D.R. Application of DIXON MRI sequencing in the diagnosis of changes in the spongy substance of vertebral bodies in comparison with osteodensitometry data. *Medical Visualization*, 2023, No. 27 (3), pp. 76–83 (In Russ.)]. doi: <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1201>.
22. Dietrich O., Geith T., Reiser M.F., Baur-Melnyk A. Diffusion imaging of the vertebral bone marrow // *NMR Biomed.* 2017. No. 30 (3). doi: <https://doi.org/10.1002/nbm.3333>.
23. Tang G.Y., Lv Z.W., Tang R.B. et al. Evaluation of MR spectroscopy and diffusion-weighted MRI in detecting bone marrow changes in postmenopausal women with osteoporosis // *Clin. Radiol.* 2010. No. 65 (5). P. 377–381. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crad.2009.12.011>.
24. Griffith J.F., Yeung D.K., Antonio G.E. et al. Vertebral marrow fat content and diffusion and perfusion indexes in women with varying bone density: MR evaluation // *Radiology.* 2006. No. 241 (3). P. 831–838. doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.2413051858>.
25. Ueda Y., Miyati T., Ohno N. et al. Apparent diffusion coefficient and fractional anisotropy in the vertebral bone marrow // *J. Magn. Reson. Imaging.* 2010. No. 31 (3). P. 632–635. doi: <https://doi.org/10.1002/jmri.22073>.
26. Dietrich O., Geith T., Reiser M.F., Baur-Melnyk A. Diffusion imaging of the vertebral bone marrow // *NMR Biomed.* 2017. No. 30 (3). doi: <https://doi.org/10.1002/nbm.3333>.
27. Guglielmi G., Muskarella S. Integred imaging approach to osteoporosis: state-of-the-art review and update // *Radiographiks.* 2011. No. 31 (5). P. 1343–1364. doi: <https://doi.org/10.1148/rg.315105712>.
28. Cavalcante D.S., Silva P.G. et al. Is jaw fractal dimension a reliable biomarker for osteoporosis screening? A systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy studies // *Dentomaxillofacial Radiology.* 2022. No. 51. P. 210365. doi: <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210365>.
29. Alman A.C., Johnson L.R., Calverley D.C. et al. Diagnostic capabilities of fractal dimension and mandibular cortical width to identify men and women with decreased bone mineral density // *Osteoporos Int.* 2012. No. 23. P. 1631–1636. doi: <https://doi.org/10.1007/s00198-011-1678-y>.
30. Kavitha M.S., An S.Y. et al. Texture analysis of mandibular cortical bone on digital dental panoramic radiographs for the diagnosis of osteoporosis in Korean women // *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol.* 2015. No. 119. P. 346–356. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2014.11.009>.
31. Franciotti R., Moharrami M., Quaranta A. et al. Use of fractal analysis in dental images for osteoporosis detection: a systematic review and meta-analysis // *Osteoporos Int.* 2021. No. 32 (6). P. 1041–1052. doi: <https://doi.org/10.1007/s00198-021-05852-3>.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2026 года.

Подписной индекс:

«Урал Пресс» (Пресса России) **014023**