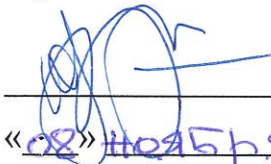


**ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ
ДЕПАРТАМЕНТ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ**

СОГЛАСОВАНО

Главный внештатный специалист
по лучевой и инструментальной
диагностике
Департамента здравоохранения
города Москвы


Ю. А. Васильев
«08» ноября 2023 г.

РЕКОМЕНДОВАНО

Экспертным советом по науке
Департамента здравоохранения
города Москвы № 13


«08» декабря 2023 г.

**ДИАГНОСТИКА И СКРИНИНГ ОСТЕОПОРОЗА ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ОРГАНОВ
БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ**

Методические рекомендации № 51

Москва
2023

УДК 615.84+616-073.75

ББК 53.6

Д 44

Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»

Основана в 2017 году

Организация-разработчик:

Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы»

Авторы:

Артюкова З. Р. – младший научный сотрудник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Петряйкин А. В. – д-р мед. наук, доцент, главный научный сотрудник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Кудрявцев Н. Д. – младший научный сотрудник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Черкасская М. В. – канд. тех. наук, научный сотрудник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Шарова Д. Е. – руководитель отдела инновационных технологий, научный сотрудник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Семенов Д. С. – канд. тех. наук, начальник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Сморчкова А. К. – младший научный сотрудник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Кивасев С. А. – врач-рентгенолог, заместитель директора по лучевой диагностике и радиационной безопасности ЧУЗ «ЦКБ «РЖД-Медицина»

Владимирский А. В. – д-р мед. наук, заместитель директора по научной работе ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Васильев Ю. А. – канд. мед. наук, главный внештатный специалист по лучевой и инструментальной диагностике ДЗМ, директор ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Д 44 Диагностика и скрининг остеопороза по результатам компьютерной томографии органов брюшной полости: методические рекомендации / сост. З. Р. Артюкова, А. В. Петряйкин, Н. Д. Кудрявцев [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – Вып. 132. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2023. – 27 с.

Рецензенты:

Мазаев Александр Павлович – д-р мед. наук, врач-рентгенолог ГБУЗ города Москвы «Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы»

Сыркашева Анастасия Григорьевна – д-р мед. наук, старший научный сотрудник ФГБУ «НМИЦ АГП им. В. И. Кулакова» Минздрава России

Методические рекомендации предназначены для формирования требований к процедуре получения и анализа данных компьютерной томографии при реализации оппортунистической диагностики остеопороза. Их применение обеспечит высокую точность выявления компрессионных переломов и снижения минеральной плотности кости у пациентов, которым по иным показаниям выполнена компьютерная томография брюшной полости.

Данные методические рекомендации разработаны в ходе выполнения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы «Разработка и создание аппаратно-программного комплекса для оппортунистического скрининга остеопороза».

Данный документ является собственностью Департамента здравоохранения города Москвы, не подлежит тиражированию и распространению без соответствующего разрешения.

© Департамент здравоохранения города
Москвы, 2023

© ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2023

© Коллектив авторов, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ | 5 |
| ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ..... | 6 |
| ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ | 7 |
| ВВЕДЕНИЕ..... | 8 |
| 1. Общая информация по реализации скрининга | 9 |
| 2. Калибровка КТ при помощи фантома..... | 10 |
| 2.1 Требования к фантому | 10 |
| 2.2 Требования безопасности | 11 |
| 2.3 Сканирование фантома и построение калибровочных кривых..... | 12 |
| 3. Анализ КТ-исследований | 15 |
| 4. Автоматический анализ КТ-исследования | 18 |
| 4.1 Требования к ПО для анализа КТ-исследования | 18 |
| 4.2 Проверка исследования | 18 |
| 4.3 Анализ изображений с применением ПО | 19 |
| 4.3.1. Измерение размеров тел позвонков..... | 20 |
| 4.3.2 Измерение минеральной плотности кости..... | 21 |
| 5. Формирование протокола..... | 22 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 23 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 24 |

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы (стандарты):

1. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).
2. СанПиН 2.6.1.1192-03. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований.
3. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза.
4. ACR–SPR–SSR Practice parameter for the performance of quantitative computed tomography (QCT) bone mineral density.
5. The International Society for Clinical Densitometry (ISCD) 2019 official position.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

1. Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия – метод определения минеральной плотности кости как значения плотности, измеряемой в граммах на квадратный сантиметр на уровне поясничного отдела позвоночника (L1–L4) или шейки бедра.

2. Минеральная плотность кости – характеристика механической прочности кости, определяемая как концентрация гидроксиапатита кальция, основного неорганического вещества кости, в единице объема или площади.

3. Количественная компьютерная томография – метод определения минеральной плотности кости как значения содержания кальция в миллиграммах на кубический сантиметр объема костной ткани в телах позвонков.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ДРА – двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия

ККТ – количественная компьютерная томография

ККТ-ФК – количественная компьютерная томография, фантом калиевый

КП – компрессионные переломы

КТ – компьютерная томография

КТ ОБП – компьютерная томография органов брюшной полости

КТ ОГК – компьютерная томография органов грудной клетки

МПК – минеральная плотность костной ткани

ОП – остеопороз

ПО – программное обеспечение

СЗ – среднее значение

СКО – среднеквадратическое отклонение

ACR – Американская коллегия радиологов

FRAX – Fracture Risk Assessment Tool, инструмент оценки риска перелома

FOV – поле области сканирования

ISCD – Международное общество клинической денситометрии

ROI – Region of interest, область интереса (сканирования)

ВВЕДЕНИЕ

Остеопороз (ОП) – метаболическое заболевание скелета, характеризующееся снижением костной массы, нарушением микроархитектоники костной ткани и, как следствие, переломами при минимальной травме [1]. В России среди лиц в возрасте 50 лет и старше ОП выявляется у 33 % женщин и 26 % мужчин, а частота остеопении составляет 43 % и 44 %, соответственно. Частота ОП увеличивается с возрастом. В целом ОП страдают около 14 млн человек и еще 20 млн людей имеют снижение минеральной плотности кости (МПК), соответствующее остеопении [1, 2].

Данное заболевание диагностируется методом двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДРА), в результате которой определяется значение МПК в поясничном отделе позвоночника, шейке бедренной кости, в проксимальном отделе бедренной кости [1, 3]. В связи с широкой распространенностью заболевания у людей старшего возраста и наличием диагностических ограничений у метода ДРА целесообразно рассмотреть дополнительные методы инструментальной диагностики для скрининга ОП.

Одним из дополнительных к ДРА инструментальных методов является диагностика ОП по данным компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки (ОГК) и органов брюшной полости (ОБП), по результатам которой можно определить признаки ОП – наличие компрессионных переломов (КП) тел позвонков и снижение МПК [4–6]. В случаях, когда КТ была выполнена по иным показаниям, этот подход привлекателен тем, что отсутствует необходимость проводить дополнительные исследования в целях диагностики ОП, тем самым снижается лучевая нагрузка на пациента.

В данных методических рекомендациях представлена методика диагностики ОП с использованием автоматизированной оценки объемной МПК тел позвонков с помощью алгоритмов искусственного интеллекта и фантомного моделирования. Предложенный подход может быть применен для оппортунистического скрининга ОП.

1. Общая информация по реализации скрининга

КТ не является модальностью выбора для диагностики остеопороза. В рутинной практике после проведения КТ не формируется протокол, в котором указываются показатели МПК, как это происходит при ДРА и количественной компьютерной томографии (ККТ) [7]. В то же время по данным КТ может быть выполнена количественная оценка и определена рентгеновская плотность тканей в НУ. В соответствии со шкалой НУ, КТ-плотность в норме для костной ткани составляет +250 НУ и выше [8].

В соответствии с клиническими рекомендациями по ОП, для диагностики необходимо наличие патологического перелома крупных костей, в том числе и в поясничном отделе позвоночника, и определение МПК [1]. В связи с этим был разработан алгоритм автоматической оценки КТ-исследований на наличие компрессионных переломов (КП) тел позвонков и методика определения МПК в телах позвонков по данным компьютерной томографии с применением фантома (ККТ-ФК), аналогичная методике ККТ [9].

Для оппортунистической оценки минеральной плотности кости по результатам уже выполненного КТ-исследования оптимально применение асинхронной ККТ, когда проводится сканирование калибровочного фантома без пациента через определенные временные интервалы (например, один раз в месяц). Синхронная ККТ предполагает использование специального коврика с калибровочными образцами минеральной плотности, сканируемого непосредственно с пациентом.

Оценка КП проводится в соответствии с классификацией Genant, а значения МПК – согласно критериям ACR 2023 после конвертации НУ в значение МПК по методике ККТ-ФК [10, 11]. В зависимости от полученных результатов устанавливается остеопороз, остеопения или отсутствие патологии.

Анализ КТ-изображений может быть автоматизирован. Применение технологий искусственного интеллекта обеспечивает эффективную сегментацию позвонков и позволяет выявить компрессионную деформацию и снижение минеральной плотности тел позвонков при минимальных трудозатратах со стороны врача-рентгенолога, тем самым решив задачи оппортунистического скрининга остеопороза.

2. Калибровка КТ при помощи фантома

Компьютерный томограф как медицинское изделие не является средством измерения минеральной плотности кости и не может быть напрямую использован для оценки ее снижения. По результатам исследования врачу доступны измерения рентгеновской плотности в единицах НУ. В связи с этим для применения конкретного аппарата с целью диагностики ОП необходимо получить калибровочную зависимость коэффициента для пересчета НУ в МПК.

В соответствии с рекомендациями Международного общества клинической денситометрии (ISCD, 2019) [12] и основываясь на действующих в России правилах эксплуатации рентгеновской техники, важно соблюдение следующих правил:

- выполняются рекомендации производителя по техническому обслуживанию системы;
- выполняются процедуры контроля качества, в т. ч. включающие использование фантома (раздел 2.1):
- выполняется независимая оценка калибровки системы с периодичностью, соответствующей рекомендациям фирмы-производителя томографа, но не реже 1 раза в 3 месяца.

Далее представлена процедура калибровки КТ, требования к персоналу и оборудованию.

2.1 Требования к фантому

Калибровка КТ заключается в сканировании фантома и обработке изображений. Конструкция фантома должна соответствовать следующим требованиям:

- точно заданные объемная и проекционная минеральная плотность кости поясничного отдела позвоночника в широком диапазоне (погрешность не более 1 %) с моделированием состояний отсутствия патологии, остеопении и остеопороза позвоночника для оценки воспроизводимости и относительной погрешности рентгеновских денситометрических исследований: ККТ и ДРА;
- моделирование МПК осуществляется с помощью растворов бикалий гидрофосфата (с массовой долей основного компонента не менее 99 %) либо гидроксиапатита кальция;
- фантом должен обеспечивать возможность сканирования с/без имитацией жирового слоя;

- предпочтителен вариант конструкции фантома, позволяющий свободно перемещать секции, имитирующие позвонки, располагая их вдоль центральной оси либо асимметрично на периферии;
- универсальность фантома, возможность проведения нескольких исследований с разными параметрами сканирования.

Например, концентрация бикалий гидрофосфата составляет 50, 100, 150, 200 мг/мл, что соответствует проекционной плотности для калибровки по ДРА, определенной как: 0,45 г/см², 0,92 г/см², 1,36 г/см², 1,84 г/см². Заданные значения концентраций выбраны с учетом рекомендаций Американского колледжа радиологов по методу ККТ: остеопороз менее 80 мг/см³, остеопения 80–120 мг/см³, норма более 120 мг/см³. Заданные проекционные МПК были выбраны Всемирной организацией здравоохранения, ориентируясь на Т-критерий по методу ДРА: остеопороз менее 0,86 г/см² (Т-критерий менее -2.5 среднеквадратических отклонений (СКО)), остеопения 0,86–1,039 г/см² (Т-критерий от -2.5 до -1 СКО), норма более 1,039 г/см² (Т-критерий более -1 СКО).

На рис. 1 представлены варианты фантомов для оценки точности проведения денситометрических исследований [13–16].

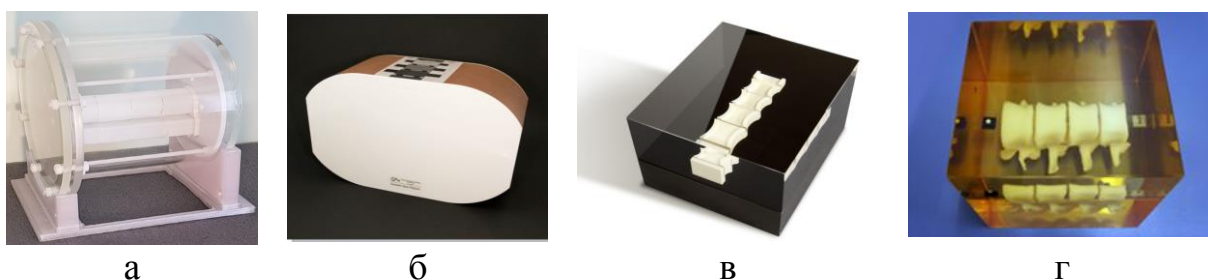


Рисунок 1 – Примеры фантомов, конструкция которых пригодна для оценки точности денситометрии: а – фантом РСК-ФК2; б – The European Spine Phantom QRM; в – The Bona Fide Phantom; г – Hologic spine phantom

2.2 Требования безопасности

Персонал допускается к работе с источниками ионизирующих излучений в соответствии с требованиями, изложенными в ОСПОРБ-99/2010 и СанПиН 2.6.1.1192-03, в возрасте старше 18 лет, согласно результатам ежегодного медицинского осмотра отнесенный к персоналу группы А. Все действия, связанные с включением, выключением компьютерного томографа, а также управлением режимами его работы должен производить персонал, допущенный к работе с данным аппаратом. Сканировать калибровочный фантом необходимо отдельно, т. е. не следует размещать в поле сканирования другие фантомы, объекты или какие-либо

материалы биологических тканей и пр. Калибровочный фантом требует аккуратного обращения и хранения. Необходимо предотвращать попадание на калибровочный фантом веществ с высокой рентгеновской плотностью, например контрастного вещества для рентгенологических исследований. При использовании варианта конструкции фантома с корпусом из полиметилметакрилата (органического стекла) следует избегать попадания на фантом этилового спирта и иных органических растворителей.

2.3 Сканирование фантома и построение калибровочных кривых

Фантом, соответствующий требованиям раздела 2.1, помещается на столе пациента в соответствии с укладкой пациента при КТ органов брюшной полости.

Следует разместить калибровочный фантом в центре деки стола аппарата КТ. При помощи лазерных индикаторов томографа для позиционирования пациента регулируется высота стола так, чтобы фантом располагался в центре области сканирования. Лазерная линия начала сканирования вдоль оси стола должна располагаться на расстоянии не менее 1–2 см от торца фантома. Необходимо следить, чтобы фантом не располагался на сочленении секций стола. В поле сканирования не должны попадать дополнительные приспособления для фиксации и позиционирования пациента.

На рабочей станции выбирается область сканирования органов брюшной полости (ABDOMEN) и проводится нативное исследование. Примерные требования к протоколу сканирования приведены для калибровки: напряжение (кВ) – необходимо использовать стандартные значения (120 кВ) либо те, при которых будет происходить сканирование с целью определения МПК; толщина среза – 2–3 мм; питч – стандартно применяемый при сканировании в данных программах; экспозиция (мАс) – возможно сканирование с фиксированными значениями мАс, используемыми при сканировании с целью определения МПК; поле области сканирования (FOV) – необходимо использовать все возможные поля обзора, при которых будет производиться сканирование с целью определения МПК; фильтр реконструкции (kernel, ядро свертки) и алгоритмы обработки изображения – FC08 (или аналогичный для мягких тканей с коррекцией эффекта усиления жесткости рентгеновского пучка). После сканирования проводится измерение КТ-плотности «позвонок» в HU, полученные средние значения (СЗ) и СКО фиксируются в таблице.

Для более точного результата необходимо проводить от 3 до 5 независимых сканирований фантома. Затем полученное СЗ и СКО для каждого «позвонка» усредняются и сравниваются с исходными данными «позвонков», заявленными для фантома (табл. 1) [9].

Таблица 1 – Пример таблицы с результатами сканирования фантома на примере фантома РСК-ФК2

| Стандартные значения | Истинные значения | Полученные значения | | | | | | | |
|----------------------|-------------------|---------------------|------|--------|------|------|------|------------|-------------|
| | | СЗ | СКО | СЗ | СКО | СЗ | СКО | Среднее СЗ | Среднее СКО |
| | | 1 | | 2 | | 3 | | | |
| 0 | 0 | 0,914 | 18,3 | -0,168 | 16,9 | -1,8 | 18,9 | -0,35 | 18,03 |
| 50 | 50,09 | 65 | 18,6 | 66,6 | 18,8 | 68,2 | 17,9 | 66,60 | 18,43 |
| 100 | 100,19 | 135 | 20,9 | 140 | 22,9 | 137 | 20,8 | 137,33 | 21,53 |
| 150 | 150,39 | 200 | 20 | 203 | 22,8 | 200 | 20,7 | 201,00 | 21,17 |
| 200 | 200,47 | 256 | 22,1 | 256 | 21,2 | 253 | 21,3 | 255,00 | 21,53 |
| 250 | 250,54 | 312 | 23 | 308 | 19,7 | 308 | 18,6 | 309,33 | 20,43 |
| 350 | 350,76 | 425 | 23,8 | 424 | 22,4 | 426 | 21,8 | 425,00 | 22,67 |
| 450 | 451,01 | 536 | 20,2 | 541 | 20,2 | 538 | 21,8 | 538,33 | 20,73 |
| 550 | 551,21 | 646 | 21,8 | 653 | 19,9 | 649 | 21,2 | 649,33 | 20,97 |

Используя полученные результаты, по усредненным значениям СЗ строится калибровочная кривая (рис. 2) [9].

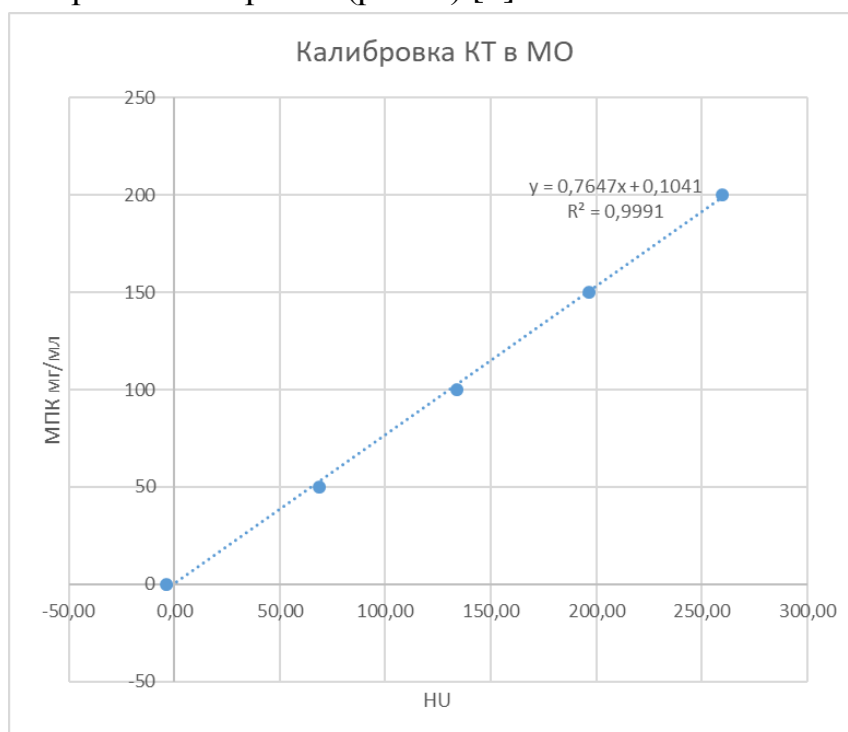


Рисунок 2 – Пример калибровочной кривой для пересчета из КТ-плотности в МПК методом ККТ-ФК

Для построения калибровочной кривой, обеспечивающей пересчет НУ в МПК, проводится линейная аппроксимация полученных данных (1).

$$y = ax \pm b \tag{1}$$

где y – МПК, a – коэффициент пересчета из НУ в МПК, x – КТ-плотность в единицах НУ, b – отклонение полученных значений КТ-плотности от заданных.

3. Анализ КТ-исследований

КТ позволяет оценивать состояние тел позвонков в трех проекциях (аксиальной, сагиттальной, корональной) на исследованиях, выполненных по другим показаниям, отличным от непосредственной диагностики остеопороза. Помимо этого, на КТ можно провести анализ макро- и микроструктуры тел позвонков. Текстуристый анализ и оценка механических свойств методом конечных элементов позволяют оценить костную архитектуру и прочность позвонков, хотя это еще не используется в повседневной клинической практике. Основными ограничениями для более широкого использования компьютерной томографии в диагностике КП являются стоимость, время доступа к компьютерной томографии и доза облучения [17].

В процессе своей работы при описаниях КТ-исследований врачурентгенологу необходимо оценивать наличие КП тел позвонков. Для этого применяется полуколичественная методика оценки Genant, предложенная ISCD, а также отечественными рекомендациями по остеопорозу [1, 12]. В соответствии с полуколичественной классификацией Genant: степень 0 указывает на отсутствие компрессионной деформации (КД) – снижение высоты позвонка менее чем на 20 %, степень 1 – легкая КД при уменьшении высоты в диапазоне 20–25 %, степень 2 – умеренная КД с уменьшением высоты в пределах >25–40 % и степень 3 – тяжелая КД с уменьшением высоты более чем на 40 % [10] (рис. 3).

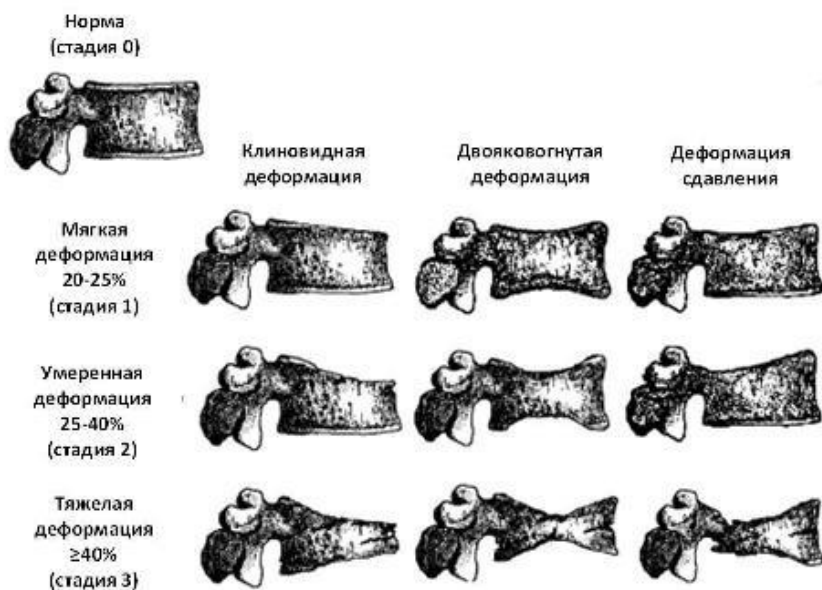


Рисунок 3 – Классификация по Genant [10]

Снижение оценивается в процентах – насколько снижен минимальный размер (h_{min}) позвонка относительно максимального (h_{max}). Как правило, регистрируются снижения срединного (двояковогнутая деформация) и вентрального размеров (клиновидная деформация) по сравнению с дорсальным.

Морфометрический метод оценки КП проводится путем измерений вентрального ($h_{вр}$), срединного ($h_{ср}$) и дорсального ($h_{зад}$) размеров тел позвонков и вычисления среди этих размеров h_{min} и h_{max} (рис. 4). Расчет степени деформации рассчитывается по формуле 2. Может служить как метод выбора, если необходимо более точно установить степень деформации.

$$G = \left(\frac{h_{max} - h_{min}}{h_{max}} \right) * 100\% \quad (2)$$

где G – степень деформации, h_{max} – максимальный размера тела позвонка, h_{min} – минимальный размер тела позвонка.

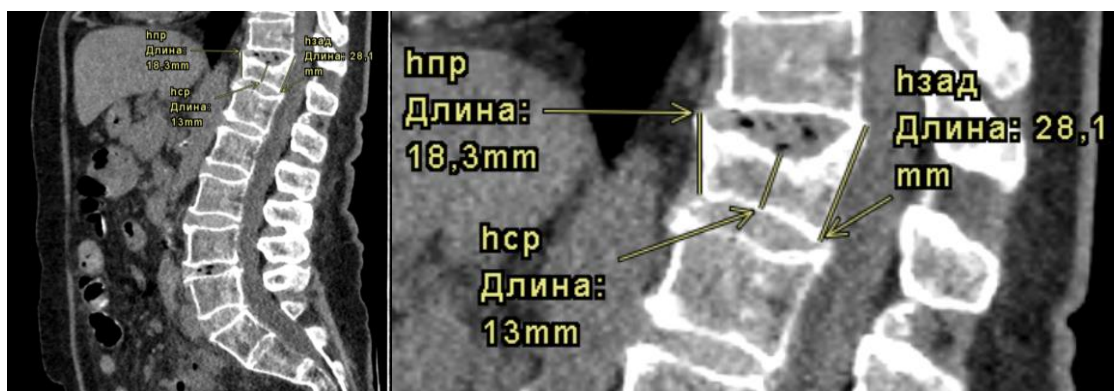


Рисунок 4 – Иллюстрация оценки тела позвонка Th12 морфометрическим методом врачом-рентгенологом. При расчете по формуле 1 компрессия составляет 54 %, что соответствует степени 3 по классификации Genant

Используя ранее разработанную методику ККТ-ФК, которая не уступает в диагностической точности методу ККТ, оценивается минеральная плотность тела позвонка [9]. Врач-рентгенолог производит оценку значения КТ-плотности в единицах НУ (рис. 5). После чего данное значение подставляется в формулу 1, которая была получена после сканирования фантома на КТ (раздел 2.2). В результате выполняется конвертация НУ в МПК. После пересчета оценка должна осуществляться в соответствии с критериями ACR 2023: распределение по группам «остеопороз» (МПК < 80 мг/мл), «остеопения» ($80 \leq \text{МПК} \leq 120$ мг/мл), «норма» (МПК > 120 мг/мл) [11].

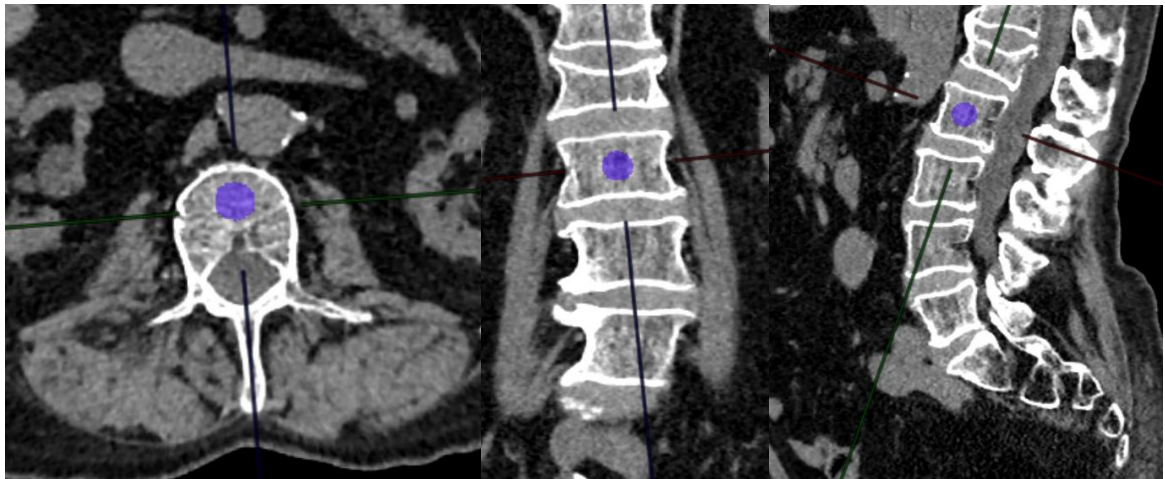


Рисунок 5 – Пример измерения КТ-плотности (90 HU) в теле позвонка L2, иллюстрации на изображении в трех плоскостях

4. Автоматический анализ КТ-исследования

Процесс работы врача-рентгенолога в диагностике ОП можно автоматизировать с применением специального программного обеспечения (ПО). Это позволит сократить время на описание КТ-исследования, снизить нагрузку на рентгенолога и повысить выявляемость КП при рутинных КТ-исследованиях.

4.1 Требования к ПО для анализа КТ-исследования

Выявление признаков остеопороза на КТ-исследованиях целесообразно проводить автоматически с помощью ПО. Автоматический проспективный анализ позволяет значительно ускорить время работы врача-рентгенолога с исследованием и сократить количество пропусков патологии. В свою очередь ретроспективный анализ может быть использован с целью исследования популяционной распространенности остеопороза и формирования групп риска пациентов.

ПО для автоматического анализа должно решать следующие задачи:

1. Проверка корректности КТ-исследования.
2. Определение центров тел позвонков в КТ-исследовании.
3. Проведение измерения плотности тел позвонков в НУ.
4. Построение по центральной оси тел позвонков криволинейной сагиттальной реконструкции.
5. Детекция позвонков с их последующей нумерацией.
6. Определение степени компрессионной деформации для каждого позвонка.
7. Формирование заключения по результатам анализа КТ-исследования.

Для реализации ПО могут быть использованы как сверточные нейронные сети, например использующие архитектуру U-net, так и классические методы компьютерного зрения.

4.2 Проверка исследования

После того как пациенту было выполнено КТ-исследование ОБП, медицинские изображения сохраняются в формате DICOM и автоматически передаются на рабочую станцию врача-рентгенолога и загружаются в PACS. Однако, прежде чем начать анализ изображений с целью диагностики остеопороза, следует выполнить первичную оценку корректности полученных данных. Критериями корректности КТ-исследования в контексте данной работы являются:

Модальность: СТ;

Анатомическая область: брюшная полость и малый таз;

Возраст пациента: ≥ 50 лет;

Напряжение на рентгеновской трубке: 120 кВ;

Сила тока: 80–500 мА, стандартное отклонение шума =10 HU;

Толщина среза: до 3,0 мм;

Питч-фактор: до 1;

Фильтр реконструкции: FC08 (или аналогичный для мягких тканей с коррекцией эффекта усиления жесткости рентгеновского пучка).

Возможно применение других режимов с выполненной асинхронной калибровкой по фантому.

4.3 Анализ изображений с применением ПО

После отбора подходящих для анализа исследований программное обеспечение для автоматической обработки медицинских данных должно однозначно идентифицировать пациента (фамилия, имя, отчество, пол, возраст, номер исследования). В некоторых случаях возможно информирование о незаполненных или некорректно заполненных полях DICOM-файла.

После идентификации пациента работа ПО должна сводиться к идентификации грудных и поясничных позвонков на сериях с фильтром реконструкции для мягких тканей и толщиной среза ≤ 3 мм (приоритет на минимальную толщину). Каждый позвонок должен быть пронумерован (L1, L2, Th3...), определены необходимые для расчета по классификации Genant размеры и измерено среднее значение КТ-плотности для вычисления МПК.

Основной задачей, решаемой с помощью ПО, является определение наличия и локализации компрессионных деформаций и переломов тел позвонков и определение их степени по полуколичественной шкале Genant. Признаками патологии (остеопороз) являются:

1. Наличие на нативных изображениях хотя бы одного позвонка, имеющего компрессионную деформацию тел ≥ 25 %, по полуколичественной шкале Genant, 2–3 степень.
2. Снижение средней минеральной плотности костной ткани в телах позвонков менее 80 мг/см^3 и/или КТ-плотности менее 100 HU в интервале Th11–L3 (оптимально L1–L2 согласно ISCD 2019) на нативных (бесконтрастных) изображениях согласно критериям ACR 2023, позиции ISCD 2019 [11,12].

Отсутствие патологии (остеопороз):

1. Тела всех позвонков в анализируемом исследовании не имеют деформации, либо деформация не более 25 % согласно формуле (2);
2. Минеральная плотность костной ткани более 80 мг/см³ и/или КТ-плотность более 100 HU в телах позвонков на нативных изображениях не являются остеопорозом.
3. При минеральной плотности костной ткани более 80, но менее 120 мг/см³ и/или КТ-плотности более 100 HU, но менее 150 в телах позвонков на нативных изображениях соответствует остеопении, что может быть состоянием, предшествующим остеопорозу.

4.3.1 Измерение размеров тел позвонков

Из серии, которая соответствует условиям из раздела 4.2 и 4.3, формируется дополнительное сагиттальное изображение. Сагиттальное изображение должно иметь вид либо одного среза в криволинейной реконструкции с учетом сколиотической деформации (рис. 6А), либо нескольких сагиттальных срезов (рис. 6Б, В). На представленном изображении ПО определяет позвонки, которые визуализированы в область исследования в полном объеме, и отмечает нумерацию рядом с телом позвонка. Для каждого тела позвонка производится измерение высоты в вентральном, срединном и дорсальном отделе тела позвонка (рис. 6) для расчета степени деформации по формуле 2 (раздел 3).



Рисунок 6 – Примеры искусственно созданного сагиттального изображения: А – криволинейная реконструкция в сагиттальном направлении; Б, В – несколько сагиттальных срезов одного исследования. Вертикальные линии обозначают размер позвонка в вентральном, срединном и дорсальном отделе

При наличии деформации более 25 % рядом с позвонком указывается степень по классификации Genant (раздел 3) и компрессия, выраженная в процентах. Для лучшего визуального восприятия разная степень деформации может отмечаться разными цветами.

Критериями исключения из оценки являются позвонки, которые попали в область сканирования не полностью.

4.3.2 Измерение минеральной плотности кости

Необходимо производить измерение КТ-плотности в НУ в телах позвонков поясничного отдела позвоночника в соответствии с рекомендациями из данного раздела, предпочтительнее в телах позвонков L1 и L2. На сагиттальном срезе толщиной в 1 см устанавливается интересующая область тела позвонка (ROI) без захвата замыкательной пластинки, кортикального слоя вентральной поверхности и боковых стенок тела позвонка и позвоночной вены, толщина среза должна составлять 1 см (рис. 7).

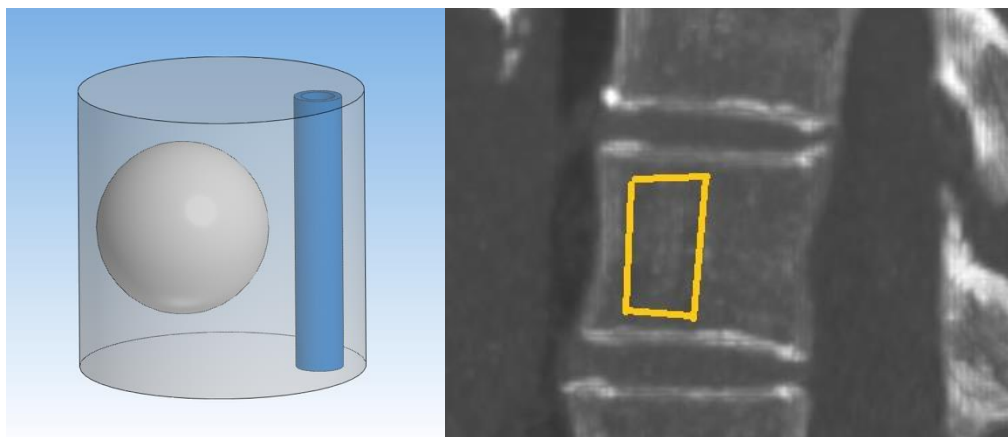


Рисунок 7 – Пример измерения КТ-плотности с помощью ПО: а) схематичное представление области проведения измерения КТ-плотности (голубой шар) костной ткани в теле позвонка (прозрачный полый цилиндр) без захвата базально-позвоночной вены (синий цилиндр); б) сагиттальная проекция КТ-исследования (толщина 1 см) под желтой трапецией подразумевается область исследования.

Стоит отметить, что измерение КТ-плотности не выполняется в позвонках с компрессионной деформацией более 25 %, в позвонках с металлоконструкциями и после вертебропластики.

Для удобства все результаты оценки размеров тел позвонков и измерения КТ-плотности отображаются на одном дополнительном сагиттальном изображении (рис. 6). Следует отметить, что автоматизированный анализ минеральной плотности тел позвонков предоставляет высокосоответствующие данные с результатами экспертной оценки и применением асинхронного метода ККТ-ФК [18].

5. Формирование протокола

После анализа исследования формируется протокол описания. Протокол должен присутствовать вне зависимости от наличия или отсутствия патологии. В протоколе обязательно отмечается вероятность для каждого вида целевой патологии с указанием превышения порогового значения. Структура протокола должна отражать:

- модальность: КТ;
- область исследования: ABDOMEN;
- цель анализа: поиск позвонков с компрессионной деформацией >25 % и снижения плотности тел позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника;
- технические данные: толщина и количество обработанных срезов в исследовании;
- описание: в случае наличия целевой патологии перечисляются все позвонки с компрессионной деформацией >25 , указывается номер позвонка и его компрессия в %, а также номер позвонка со сниженной МПК и соответствующие единицы НУ. При отсутствии патологии обозначается, что «Высота тел позвонков сохранена» и «Минеральная плотность костной ткани тел позвонков не снижена»;
- в заключении: указывается вероятность целевой патологии. При наличии целевой патологии указывается позвонок с максимальной компрессионной деформацией (его номер и компрессия в %) и его классификация по Genant. В случае сниженной минеральной плотности кости указывается, какому состоянию она соответствует: остеопении или остеопорозу. При отсутствии патологии обозначается, что «Высота тел позвонков сохранена. Минеральная плотность костной ткани соответствует норме».

Раздел «Описание» должен содержать информацию, аналогичную врачебному описанию в рамках исследуемой патологии, в целях формирования на его основе электронной медицинской записи в информационной системе.

Раздел «Заключение» должен содержать информацию, аналогичную врачебному заключению в рамках исследуемой патологии, в целях формирования на его основе электронной медицинской записи в информационной системе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компьютерная томография широко используется как метод выбора инструментальной диагностики для различных патологий. Предложенный подход использования автоматизированной обработки результатов исследований поможет врачу-рентгенологу не пропустить случайную находку в виде компрессионного перелома тела позвонка. Методика количественной компьютерной томографии предоставляет возможность автоматически оценить минеральную плотность тел позвонков у пациентов, которым была выполнена компьютерная томография по другим показаниям. Это позволяет не прибегать к дополнительным исследованиям и сократить лучевую нагрузку на пациента.

Предложенный подход к диагностике остеопороза с использованием фантомного моделирования и соответствующего программного обеспечения позволяет выявить признаки остеопороза и своевременно инициировать лечение. Данный подход направлен на реализацию оппортунистического скрининга остеопороза по результатам КТ-исследований, в том числе ретроспективно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белая Ж. Е. и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза // Остеопороз и остеопатии. 2021. Т. 24, № 2. С. 4–47.
2. Лесняк О. М., Норой Л. Аудит состояния проблемы остеопороза в странах восточной Европы и центральной Азии 2010. 2011. С. 1–68.
3. Скрипникова И. А. и др. Возможности костной рентгеновской денситометрии в клинической практике // Остеопороз и остеопатии. 2010. № 2. С. 23–34.
4. Cheng X. и др. Opportunistic Screening Using Low- Dose CT and the Prevalence of Osteoporosis in China: A Nationwide, Multicenter Study // Journal of Bone and Mineral Research. John Wiley & Sons, Ltd, 2020. С. jbmr.4187.
5. Pickhardt P.J. и др. Population-based opportunistic osteoporosis screening: Validation of a fully automated CT tool for assessing longitudinal BMD changes // Br J Radiol. 2019. Т. 92, № 1094. С. 20180726.
6. Jang S. и др. Opportunistic osteoporosis screening at routine abdominal and Thoracic CT: Normative L1 trabecular attenuation values in more than 20 000 adults // Radiology. Radiological Society of North America Inc., 2019. Т. 291, № 2. С. 360–367.
7. Петряйкин А. В., Скрипникова И. А. Количественная компьютерная томография, современные данные. Обзор. // Медицинская визуализация. 2021. Т. 25, № 4. С. 134–146.
8. Хофер М. Компьютерная Томография. Базовое руководство. 2-е издание, переработанное и дополненное. Перевод с англ. Под редакцией профессора Г. Е. Труфанова. 2008. 224 с.
9. Петряйкин А.В. и др. Сравнение двух методик асинхронной КТ-денситометрии // Медицинская визуализация. 2020. Т. 24, № 4. С. 108–118.
10. Genant H.K. и др. Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique // Journal of Bone and Mineral Research. 1993. Т. 8, № 9. С. 1137–1148.
11. American College of Radiology. Acr – Spr – Ssr Practice Guideline for the Performance of Quantitative Computed Tomography (Qct) Bone // ACR Practice guideline. 2023. Т. 15. С. 1–15.
12. The International Society for Clinical Densitometry (ISCD). 2019 ISCD Official Positions Adult. 2019. 35 с.
13. Петряйкин А. В. и др. Оценка точности денситометрических исследований. Применение фантома РСК ФК2 // Травматология и ортопедия России. 2019. Т. 25, № 3.

14. Kalender W.A. и др. The European Spine Phantom--a tool for standardization and quality control in spinal bone mineral measurements by DXA and QCT. // *European journal of radiology*. 1995. Т. 20, № 2. С. 83–92.
15. Pearson D., Cawte S.A., Green D.J. A comparison of phantoms for cross-calibration of lumbar spine DXA // *Osteoporosis International*. *Osteoporos Int*, 2002. Т. 13, № 12. С. 948–954.
16. Kweon D.C. и др. Assessment of the effect of bone density and soft tissue thickness on phantom measurements // *Journal of the Korean Physical Society*. 2010. Т. 57, № 5. С. 1263–1269.
17. Лесняк О. М., Белая Ж. Е., Баранова И. А. *Остеопороз: руководство для врачей*. 2023. 754 с.
18. Артюкова З. Р., Кудрявцев Н. Д., Петряйкин А. В., Абуладзе Л. Р., Сморгчова А. К., Ахмад Е. С., Семенов Д. С., Беляев М. Г., Белая Ж. Е., Владзимирский А. В., Васильев Ю. А. Применение алгоритма искусственного интеллекта для оценки минеральной плотности тел позвонков по данным компьютерной томографии. *Медицинская визуализация*. 2023;27(2):125-137. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1257>

Выпуск 132

Составители:

*Артюкова Злата Романовна
Петрайкин Алексей Владимирович
Кудрявцев Никита Дмитриевич
Черкасская Марина Валерьевна
Шарова Дарья Евгеньевна
Семенов Дмитрий Сергеевич
Сморчкова Анастасия Кирилловна
Кивасев Станислав Александрович
Владзимирский Антон Вячеславович
Васильев Юрий Александрович*

**ДИАГНОСТИКА И СКРИНИНГ ОСТЕОПОРОЗА ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ОРГАНОВ
БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ**

Методические рекомендации

Отдел координации научной деятельности ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»
Технический редактор А. И. Овчарова
Компьютерная верстка Е. Д. Бугаенко

ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»
127051, г. Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1