

ГБУЗ «НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ КЛИНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ДИАГНОСТИКИ И
ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЕПАРТАМЕНТА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
ГОРОДА МОСКВЫ»

ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ ЛУЧЕВОЙ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ



ДИАГНОСТИКА И СКРИНИНГ ОСТЕОПОРОЗА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ОРГАНОВ БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ

Москва
2023

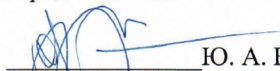


ЦЕНТР ДИАГНОСТИКИ
И ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ

**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» ноября 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»

Составители:

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

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

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

Петрайкин 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. техн. наук, научный сотрудник сектора стандартизации и контроля качества ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

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

Семенов Д. С. – канд. техн. 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»

Д 44 Диагностика и скрининг остеопороза по результатам компьютерной томографии органов брюшной полости: методические рекомендации / сост. Ю. А. Васильев, А. В. Владимирский, З. Р. Артюкова [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – Вып. 132. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2023. – 28 с.

Рецензенты:

Мазаев Александр Павлович – д-р мед. наук, врач-рентгенолог ГБУЗ «Морозовская ДГКБ ДЗМ»

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

© Васильев Ю. А. и соавторы, 2023

© ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2023

ISSN 2618-7124

СОДЕРЖАНИЕ

Нормативные ссылки.....	4
Термины и определения.....	5
Обозначения и сокращения.....	6
Введение.....	7
1. Общая информация по реализации скрининга.....	9
2. Калибровка компьютерного томографа 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 программному обеспечению для анализа КТ-исследования.....	18
4.2. Проверка исследования.....	18
4.3. Анализ изображений с применением программного обеспечения.....	19
4.3.1. Измерение размеров тел позвонков.....	20
4.3.2. Измерение минеральной плотности кости.....	21
5. Формирование протокола.....	22
6. Методология оппортунистического скрининга остеопороза по данным КТ-исследований.....	23
Заключение.....	25
Список использованных источников.....	26

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) 2023 official position.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

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.

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

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

В настоящем документе применены следующие обозначения и сокращения:

ДРА – двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия

ИИ – искусственный интеллект

КД – компрессионная деформация

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 кости

ОП – остеопороз

ПО – программное обеспечение

РИС – радиологический информационный сервис

СЗ – среднее значение

СКО – среднеквадратическое отклонение

ACR – American College of Radiology (Американский колледж радиологов)

DICOM – Digital Imaging and Communication in Medicine (цифровая визуализация и коммуникация в медицине) – формат файла для создания, хранения, передачи и визуализации медицинских изображений

FRAX – Fracture Risk Assessment Tool (инструмент оценки риска перелома)

FOV – field of view (поле области сканирования)

HU – Hounsfield units (единицы Хаунсфилда)

ISCD – International Society for Clinical Densitometry (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 – патологического состояния, при котором наблюдается снижение плотности костной ткани, не достигающее степени остеопороза, – составляет 43 и 44 % соответственно. Частота ОП увеличивается с возрастом. В целом ОП страдают около 14 млн человек, и еще у 20 млн наблюдается снижение минеральной плотности кости (МПК), соответствующее остеопении [1, 2].

Выделяют несколько типов данного заболевания. Первичный ОП развивается как самостоятельное заболевание без выявленной причины снижения прочности скелета. Эта форма занимает 95 % в структуре ОП у женщин в постменопаузе (постменопаузальный ОП) и 80 % – у мужчин старше 50 лет. Вторичный ОП развивается вследствие различных заболеваний или состояний, а также приема лекарственных средств. Он занимает 5 % в структуре ОП у женщин и 20 % – у мужчин. Возможно развитие смешанного характера ОП [1].

Согласно Федеральным клиническим рекомендациям по диагностике, лечению и профилактике остеопороза (далее – Клинические рекомендации по ОП), устанавливать диагноз «остеопороз» и назначать терапию рекомендуется при наличии патологических переломов крупных костей скелета в анамнезе, пациентам с высокой индивидуальной десятилетней вероятностью основных патологических переломов, а также при снижении МПК на 2,5 и более стандартных отклонений по Т-критерию по данным центральной денситометрии у женщин в постменопаузе и мужчин старше 50 лет [1].

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

Проблема ОП становится все более актуальной в связи с демографическим старением населения, особенно с увеличением доли женщин в постменопаузальном периоде [2]. Целью оппортунистического скрининга является идентификация лиц с низкой МПК и их маршрутизация для дальнейшего обследования и мониторинга лечения. Скрининг ОП должен проводиться в группах риска, прежде всего среди женщин в постменопаузе и мужчин в возрасте от 50 лет и старше.

В настоящее время скрининг ОП может быть дополнен и усовершенствован при использовании алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) для автоматического выявления КП тел позвонков и снижения МПК, особенно с учетом большого объема выполняемых КТ-исследований ОГК и ОБП.

КТ не является модальностью выбора для диагностики ОП. 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 единицах Хаунсфилда (НУ). В соответствии со шкалой НУ в норме КТ-плотность для костной ткани составляет +250 НУ и выше [8].

Согласно Клиническим рекомендациям по ОП, для диагностики необходимо наличие патологического перелома крупных костей, в том числе в поясничном отделе позвоночника, и определение МПК [1]. В связи с этим были разработаны алгоритм автоматической оценки КТ-исследований на наличие КП тел позвонков и методика определения МПК в телах позвонков по данным КТ с применением фантома (ККТ-ФК), аналогичный методике ККТ [9].

Для оппортунистической оценки МПК 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 определяются 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 ИИ обеспечивает эффективную сегментацию позвонков и позволяет выявить компрессионную деформацию и снижение МПК тел позвонков при минимальных трудозатратах со стороны врача-рентгенолога, тем самым решая задачи оппортунистического скрининга ОП.

2. КАЛИБРОВКА КОМПЬЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА 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, 2023) [12] и основываясь на действующих в России правилах эксплуатации рентгеновской техники, важно соблюдение следующих требований:

- выполняются рекомендации производителя по техническому обслуживанию системы;
- выполняются процедуры контроля качества, в том числе 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.

Применение калибровки сканеров с помощью фантома позволит полноценно реализовать стратегию оппортунистического скрининга ОП по данным КТ, дополнив автоматизированный поиск КП оценкой МПК с использованием алгоритмов ИИ.

Далее представлены процедура калибровки компьютерного томографа, требования к персоналу и оборудованию.

2.1. Требования к фантому

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

- точно заданные объемная и проекционная МПК 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

гидроксипатита кальция;

- фантом должен обеспечивать возможность сканирования с имитацией / без имитации 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 рисунке 1 представлены варианты фантомов для оценки точности проведения денситометрических исследований [13–16].

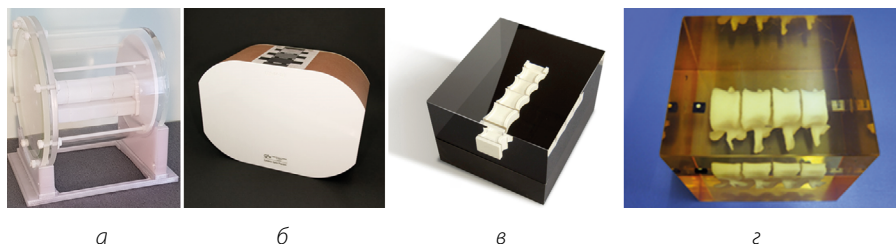


Рисунок 1 – Примеры фантомов, конструкция которых пригодна для оценки точности денситометрии: а – фантом РСК-ФК2; б – The European Spine Phantom QRM; в – The Bona Fide Phantom; г – Hologic spine phantom

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, отнесенного 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 «позвонков» в НУ, полученные средние значения (СЗ) и СКО фиксируются в таблице. Для более точного результата необходимо проводить от 3 до 5 независимых сканирований фантома. Затем полученные СЗ и СКО для каждого «позвонка» усредняются и сравниваются с исходными данными «позвонков», заявленными для фантома (таблица 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 (рисунок 2) [9].

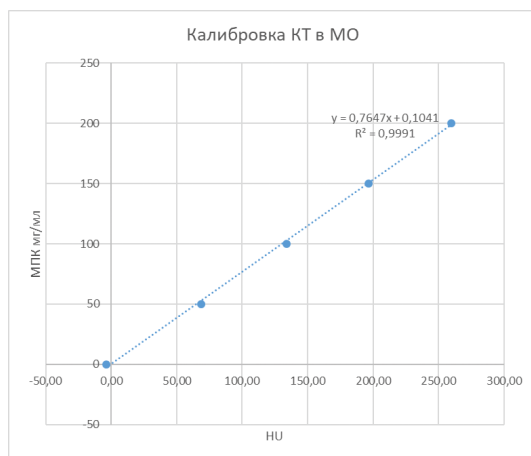


Рисунок 2 – Пример калибровочной кривой для пересчета из КТ-плотности в МПК методом ККТ-ФК

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

$$y = ax \pm b, \quad (1)$$

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, саггитальной, корональной) на исследованиях, выполненных по другим показаниям, отличных от непосредственной диагностики остеопороза. Помимо этого, на КТ можно провести анализ макро- и микроструктуры тел позвонков. Текстурный 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 работы по описанию КТ-исследований врачу-рентгенологу 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] (рисунок 3).

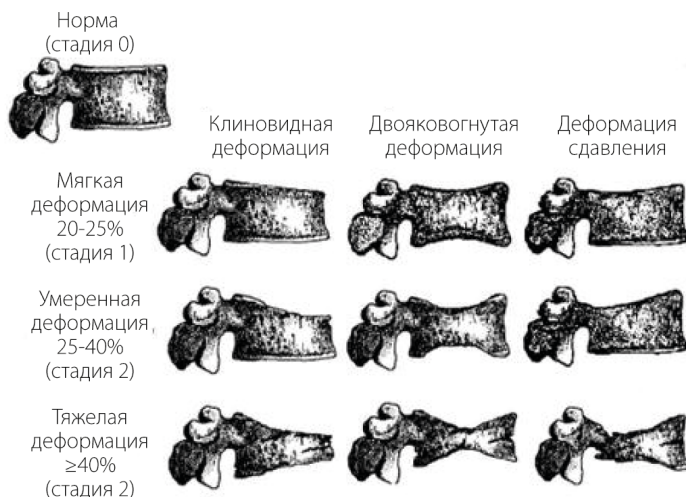


Рисунок 3 – Классификация по Genant [10]

Снижение оценивается в процентах – насколько снижен минимальный размер (h_{min}) позвонка относительно максимального (h_{max}). Как правило, регистрируются снижения срединного (двояковогнутая деформация) и вентрального (клиновидная деформация) размеров 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} (рисунок 4). Расчет степени деформации производится по формуле (2):

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

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

Данный метод может служить методом выбора, если необходимо более точно установить степень деформации.

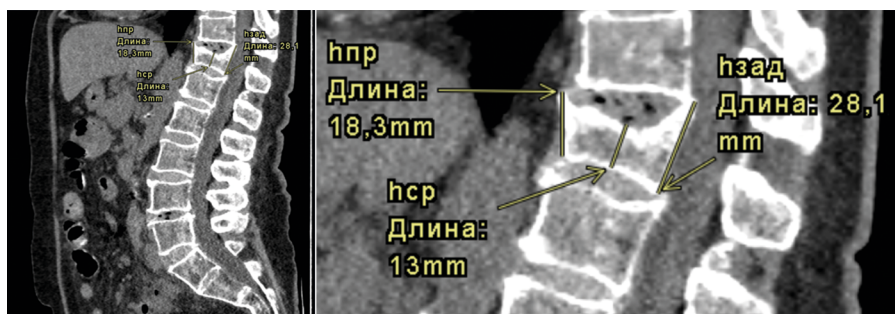


Рисунок 4 – Иллюстрация оценки врачом-рентгенологом тела позвонка Th12 морфометрическим методом. При расчете по формуле (1) компрессия составляет 54 %, что соответствует степени 3 по классификации Genant

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 (рисунок 5). После этого 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].

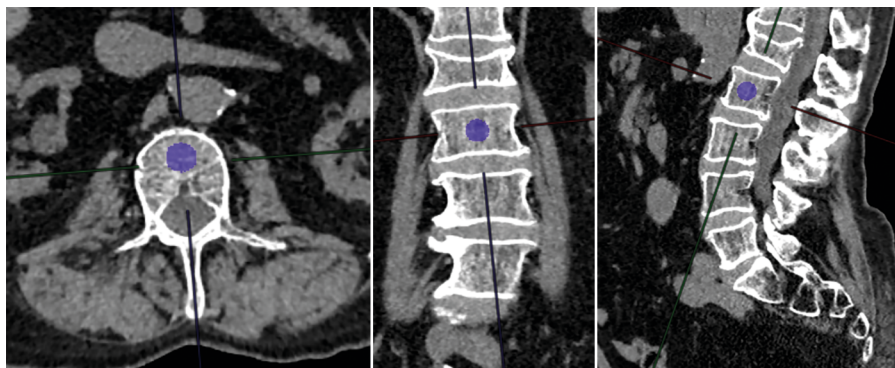


Рисунок 5 – Пример измерения КТ-плотности (90 HU) в теле позвонка L2, иллюстрации на изображении в трех плоскостях

4. АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КТ-ИССЛЕДОВАНИЯ

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

4.1. Требования к программному обеспечению 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 HU;
- 4) построение по центральной оси тел позвонков криволинейной сагитальной 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, 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

Анатомические области: 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 программного обеспечения

После отбора подходящих для анализа исследований ПО 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 выявление наличия и локализации компрессионных деформаций и переломов тел позвонков и определение их степени по полуколичественной шкале Genant. Признаками патологии (остеопороза) 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 2023) на нативных (бесконтрастных) изображениях, согласно критериям ACR 2023, позиции ISCD 2023 [11, 12].

Признаки отсутствия патологии (остеопороза):

1. Тела всех позвонков в анализируемом исследовании не имеют деформации, либо деформация составляет не более 25 % согласно формуле (2).

2. Минеральная плотность костной ткани более 80 мг/см^3 и/или КТ-плотность более 100 HU в телах позвонков на нативных изображениях не являются остеопорозом.

3. Минеральная плотность костной ткани более 80, но менее 120 мг/см³ и/или КТ-плотность более 100 HU, но менее 150 в телах позвонков на нативных изображениях соответствуют остеопении, что может быть состоянием, предшествующим остеопорозу.

4.3.1. Измерение размеров тел позвонков

Из серии изображений, которая соответствует условиям разделов 4.2 и 4.3, формируется дополнительное сагиттальное изображение. Сагиттальное изображение должно иметь вид либо одного среза в криволинейной реконструкции с учетом сколиотической деформации (рисунок 6А), либо нескольких сагиттальных срезов (рисунок 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 отделах тела позвонка (рисунок 6) для расчета степени деформации по формуле (2) (раздел 3).

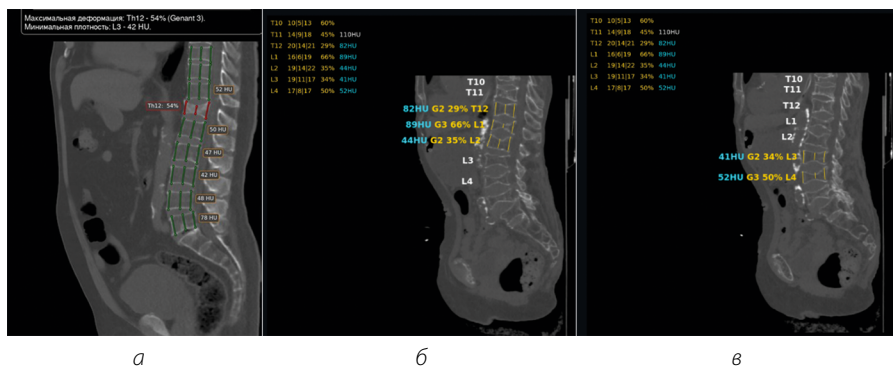


Рисунок 6 – Примеры искусственно созданного сагиттального изображения:
а – криволинейная реконструкция в сагиттальном направлении; б, в – несколько сагиттальных срезов одного исследования. Вертикальные линии обозначают размер позвонка в вентральном, срединном и дорсальном отделах

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 сагитальном 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 (рисунок 7).

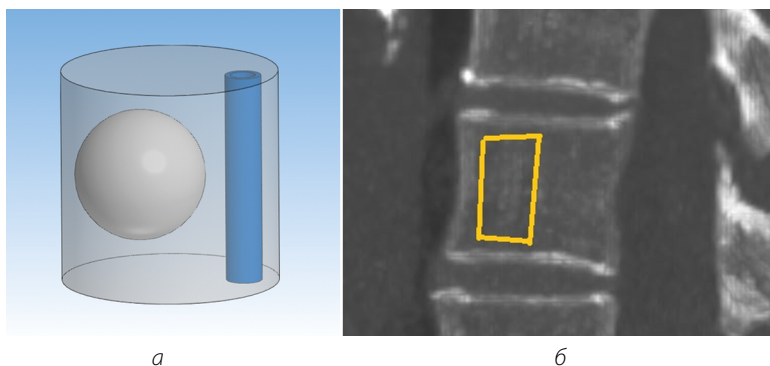


Рисунок 7 – Пример измерения КТ-плотности с помощью ПО: а – схематичное представление области проведения измерения КТ-плотности (голубой шар) костной ткани в теле позвонка (прозрачный полый цилиндр) без захвата базально-позвоночной вены (сильный цилиндр); б – сагитальная проекция КТ-исследования (толщина 1 см), под желтой трапецией подразумевают 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 сагитальном изображении (рисунок 6). Следует отметить, что автоматизированный анализ минеральной плотности тел позвонков предоставляет данные, в высокой степени сопоставимые 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 снижением 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 HU. При отсутствии патологии обозначается, что «высота тел позвонков сохранена» и «минеральная плотность костной ткани тел позвонков не снижена»;
- заключение: 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.

6. МЕТОДОЛОГИЯ ОППОРТУНИСТИЧЕСКОГО СКРИНИНГА ОСТЕОПОРОЗА ПО ДАННЫМ КТ-ИССЛЕДОВАНИЙ

Выявление пациентов с признаками ОП и остеопении до возникновения патологических переломов является важной задачей современной медицины. Своевременно начатое лечение позволяет сократить количество патологических переломов на 50 % [1]. Однако текущие программы скрининга остеопороза/остеопении не обладают должной результативностью [19].

Одним из возможных решений является оппортунистический скрининг ОП по данным КТ-исследований. При интерпретации КТ-исследований возможно проводить анализ состояния тел позвонков (наличие клиновидной деформации и определение минеральной плотности костной ткани), при условии предварительной настройки КТ-аппарата с помощью фантома по методологии, описанной в разделе 2.

Суть оппортунистического скрининга заключается в автоматическом анализе КТ-изображений с помощью алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ). Пациенту проводится КТ-исследование органов грудной клетки и/или органов брюшной полости, не связанное с заболеванием остеопорозом/остеопенией. Алгоритм ИИ анализирует состояние позвоночника (определяет наличие КД и измеряет МПК тел позвонков). По результатам анализа формируется отчет о наличии/отсутствии КТ-признаков остеопороза, который загружается к исследованию в виде DICOM SR и дополнительной серии с разметкой.

Также по результатам анализа формируется список пациентов, у которых по данным КТ-исследований были выявлены признаки остеопороза/остеопении. Эти списки целесообразно отправлять в медицинские организации, оказывающие первичную медико-санитарную помощь по месту жительства пациентов. Медицинским организациям необходимо пригласить пациентов на консультативный прием к медицинскому специалисту для сбора анамнеза и, при необходимости, назначения дополнительных лабораторных и инструментальных исследований.

Общая схема методологии оппортунистического скрининга остеопороза по данным КТ-исследований представлена на рисунке 8.

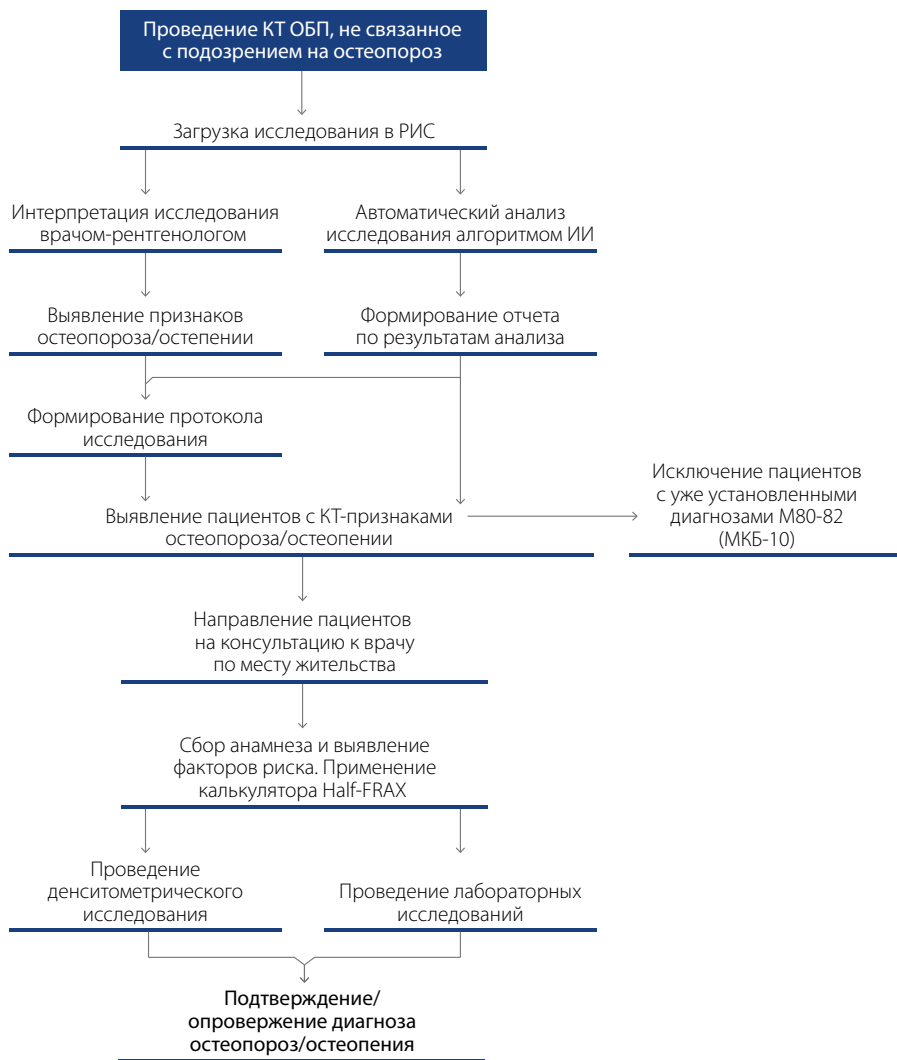


Рисунок 8 – Общий алгоритм реализации оппортунистического скрининга остеопороза/остеопении по данным КТ-исследований с применением алгоритмов ИИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компьютерная томография широко используется как метод выбора для инструментальной диагностики различных патологий. Предложенный подход к применению 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 снизить 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. Международный фонд остеопороза, 2011. 68 с.
3. Скрипникова И. А. [и др.] Возможности костной рентгеновской денситометрии в клинической практике // Остеопороз и остеопатии. 2010. № 2. С. 23–34.
4. Cheng X., et al. 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. P. jbmr.4187.
5. Pickhardt P. J., et al. Population-based opportunistic osteoporosis screening : Validation of a fully automated CT tool for assessing longitudinal BMD changes // Br J Radiol. 2019. Vol. 92, No. 1094. P. 20180726.
6. Jang S., et al. 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. Vol. 291, No. 2. P. 360–367.
7. Петрайкин 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 / перевод с англ. ; под редакцией профессора Г. Е. Труфанова. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Мед. лит., 2008. 224 с.
9. Петрайкин А. В. [и др.] Сравнение двух методик асинхронной КТ денситометрии // Медицинская визуализация. 2020. Т. 24, № 4. С. 108–118.
10. Genant H. K., et al. Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique // Journal of Bone and Mineral Research. 1993. Vol. 8, No. 9. P. 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. Vol. 15. P. 1–15.
12. The International Society for Clinical Densitometry (ISCD). 2023 ISCD Official Positions Adult. 2023. URL: <https://iscd.org/official-positions-2023/> (дата обращения: 20.10.2023).
13. Петрайкин А. В. [и др.] Оценка точности денситометрических исследований. Применение фантома РСК ФК2 // Травматология и ортопедия России. 2019. Т. 25, № 3. С. 124–134.

14. Kalender W. A., et al. 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. Vol. 20, No. 2. P. 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. Vol. 13, No. 12. P. 948–954.
16. Kweon D. C., et al. Assessment of the effect of bone density and soft tissue thickness on phantom measurements // *Journal of the Korean Physical Society*. 2010. Vol. 57, No. 5. P. 1263–1269.
17. Лесняк О. М., Белая Ж. Е., Баранова И. А. Остеопороз: руководство для врачей. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2023. 754 с.
18. Артюкова З. Р. [и др.] Применение алгоритма искусственного интеллекта для оценки минеральной плотности тел позвонков по данным компьютерной томографии // *Медицинская визуализация*. 2023. Т. 27, № 2. С. 125–137.
19. Петрайкин А. В. [и др.] Анализ эффективности внедрения системы скрининга остеопороза // *Менеджер здравоохранения*. 2021. №. 2. С. 31–39.

Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»

Выпуск 132

Составители:

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

ДИАГНОСТИКА И СКРИНИНГ ОСТЕОПОРОЗА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ОРГАНОВ БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ

Методические рекомендации

Отдел координации научной деятельности ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»
Технический редактор В. П. Гамарина
Компьютерная верстка Е. Д. Бугаенко

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



+7 (495) 276-04-36



npcmr@zdrav.mos.ru



telemedai.ru