


**ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ
ДЕПАРТАМЕНТ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ**

СОГЛАСОВАНО

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


С. П. Морозов
« » _____ 2020 г.

РЕКОМЕНДОВАНО

Экспертным советом по науке
Департамента здравоохранения
города Москвы № 16


«20» _____ 2020 г.

ОСТЕОДЕНСИТОМЕТРИЯ

Методические рекомендации № 123

Москва
2020

УДК 616-073.75+616-008.9+ 616-71
ББК 53.6
О 76

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:

Петряйкин А.В. – к.м.н., ведущий научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Низовцова Л.А. – профессор, д.м.н., главный научный сотрудник ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Артюкова З.Р. – инженер отдела инновационных технологий ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Ахмад Е.С. – научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Лобанов М.Н. – к.м.н., и.о. заведующего организационно-методическим отделом ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Ледихова Н.В. – заместитель директора по медицинской части ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Сергунова К.А. – к.т.н., руководитель отдела инновационных технологий ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Семенов Д.С. – научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Смирнов А.В. – инженер отдела дозиметрического контроля ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Васильев Ю.А. – к.м.н., заведующий отделением лучевой диагностики ГБУЗ «Городская клиническая онкологическая больница № 1 ДЗМ»

Владимирский А.В. – д.м.н., заместитель директора по научной работе ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

Морозов С.П. – д.м.н., профессор, главный внештатный специалист по лучевой и инструментальной диагностике ДЗМ и Минздрава России по ЦФО РФ, директор ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»

О 76 Остеоденситометрия : методические рекомендации / сост. А.В. Петряйкин, Л.А. Низовцова, З.Р. Артюкова [и др.] // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». – Вып. 88. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. – 54 с.

Рецензенты:

Ахатов Толибджон Абдулаевич – профессор, д.м.н., руководитель отдела лучевой диагностики ГБУЗ «НИИ НДХиТ ДЗМ»

Морозов Александр Константинович – профессор, д.м.н., руководитель отделения лучевой диагностики ФГУ «ЦИТО имени Н.Н. Приорова»

Методические рекомендации предназначены для врачей-рентгенологов, профильных специалистов, которые занимаются вопросами диагностики остеопороза и оценкой минеральной плотности кости.

Данные методические рекомендации разработаны в ходе выполнения научно-исследовательской работы «Научное обоснование применения асинхронной КТ-денситометрии для оппортунистического скрининга и ранней диагностики остеопороза»

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

ISSN

© Департамент здравоохранения города Москвы, 2020

© ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020

© Коллектив авторов, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Нормативные ссылки	4
Обозначения и сокращения	5
Введение	6
1. Основная часть.....	7
1.1. Актуальность проблемы остеопороза.....	7
1.2. Диагностика остеопороза	8
1.2.1. Патологические или низкоэнергетические переломы	8
1.2.2. Оценка риска основных переломов FRAX™	9
1.2.3. Инструментальная диагностика	12
2. Виды остеоденситометрии	14
2.1. Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия.....	14
2.1.1. История метода	14
2.1.2. Ограничения метода	15
2.1.3. Определение МПК, МСК, площади	16
2.1.4. Общие рекомендации по проведению денситометрии ДРА	16
2.1.5. Рекомендации при проведении исследования позвоночника (ДРА)	17
2.1.6. Рекомендации по исследованию проксимального отдела бедра (ДРА).....	18
2.1.7. Рекомендации при выраженном спондилезе, сколиозе	20
2.2. Количественная компьютерная томография	20
2.2.1. История метода 19	20
2.2.2. Рекомендации по проведению ККТ-денситометрии	21
2.2.3. Виды ККТ-денситометрии	21
2.2.4. Выполнение плановой ККТ-денситометрии с асинхронным фантомом ..	22
2.2.5. Возможности клинического применения ККТ для позвоночника и проксимального отдела бедра согласно позициям ISCD 2019	27
2.3. Количественное ультразвуковое исследование.....	28
2.3.1. Общие рекомендации и ограничения КУЗ	28
2.4. Дополнительные остеоденситометрические технологии	29
2.4.1. Двухэнергетическая оценка позвонков в боковой проекции	29
2.4.2. Трабекулярный костный индекс	30
2.4.3. Метод конечных элементов	33
2.5. Оценка компрессионных переломов позвоночника по данным рентгеновских исследований	33
3. Интерпретация результатов денситометрии.....	37
3.1. Определение T и Z-критерия.....	37
3.2. Определение точности и воспроизводимости денситометрических исследований ..	39
3.3. Оценка динамики изменений	38
4. Маршрутизация пациентов на остеоденситометрию	41
4.1. Показания к проведению денситометрии.....	41
4.2. Порядок отбора пациентов для проведения денситометрии.....	43
4.3. Возможности остеоденситометрии в контексте организации скрининга остеопороза с использованием ЕРИС ЕМИАС	44
5. Требования к безопасности	45
Заключение.....	46
Список использованных источников.....	47
Приложение	51

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

1. СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- ВОЗ** – Всемирная организация здравоохранения.
- ДИ** – доверительный интервал.
- ДРА (DXA)** – двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия.
- ЕМИАС** – Единая медицинская информационно-аналитическая система.
- ЕРИС** – Единый радиологический информационный сервис.
- ИИ** – искусственный интеллект.
- ККТ (QCT)** – количественная компьютерная томография.
- КТ** – компьютерная томография.
- КУЗ** – количественное ультразвуковое исследование.
- МКБ-10** – Международная классификация болезней 10-го пересмотра.
- мКУЗ (mQUS)** – многоточечное количественное ультразвуковое исследование.
- МКЭ (FEA)** – метод конечных элементов.
- МПК** – минеральная плотность костной ткани.
- МСК** – минеральное содержание кости.
- оМПК** – объемная минеральная плотность.
- ОП** – остеопороз.
- пДРА (pDXA)** – периферическая двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия.
- пККТ (pQCT)** – периферическая количественная компьютерная томография.
- пККТ-ВР** – периферическая количественная компьютерная томография высокого разрешения.
- пМПК** – проекционная минеральная плотность кости.
- рМПК (BMDr)** – региональная объемная минеральная плотность кости.
- СанПиН** – санитарные правила и нормы.
- ТКИ (TBS)** – трабекулярный костный индекс.
- ЭМК** – электронная медицинская карта.
- ACR** – Американская коллегия радиологов.
- AUC** – Area Under Curve.
- СТХА** – компьютерная томография–денситометрия бедренной кости.
- CV** – коэффициент вариации.
- DPA** – Dual Energy Photon Absorptiometry.
- FX** – с переломом.
- IOF** – Международный фонд остеопороза.
- ISCD** – Международное общество клинической денситометрии.
- LSC** – оценка наименьшего значимого изменения.
- LVA** – Lateral Vertebral Assessment.
- noFX** – без перелома.
- SD** – стандартное отклонение.
- SPA** – Single Energy Photon Absorptiometry.
- VFA** – Vertebral Fracture Assessment.

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное развитие здравоохранения позволило значительно увеличить среднюю продолжительность жизни, однако увеличение количества пожилых людей привело к повышению общего уровня заболеваемости остеопорозом. По данным Российской ассоциации остеопороза, по тяжести последствий и уровню затрат для государственной системы здравоохранения остеопороз стоит на четвертом месте после сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, а также сахарного диабета.

Распространенность остеопороза и экономическое бремя его осложнений (патологические низкоэнергетические переломы, возникающие при отсутствии своевременного лечения) обуславливают необходимость ведения активной работы по развитию программы ранней диагностики остеопороза в городе Москве.

В качестве методов диагностики остеопороза рассматриваются оценка риска возникновения остеопоротических переломов (инструмент FRAX), выявление низкоэнергетических переломов в ходе лучевой диагностики (рентгенография, КТ, МРТ) и выполнение остеоденситометрии с последующей оценкой результатов по T-критерию и постановкой диагноза «остеопороз».

Данные методические рекомендации предназначены для освещения современных подходов к проведению денситометрических исследований минеральной плотности кости с целью диагностики и мониторинга лечения остеопороза.

1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.1. Актуальность проблемы остеопороза

Остеопороз (ОП) – системное метаболическое заболевание скелета, характеризующееся снижением насыщенности костной массы кальцием и другими минералами, нарушением микроархитектоники костной ткани и, как следствие, повышением риска перелома при минимальной травме [1–3].

Низкоэнергетические переломы являются основным клиническим проявлением ОП, причиной высокой инвалидности и смертности [1].

По оценочным данным, ОП в России страдают 14 млн человек (10 % населения страны), еще у 20 млн есть остеопения [1]. Это означает, что у 34 млн жителей страны имеется снижение плотности костной ткани, и связанный с этим высокий риск патологических переломов. Ожидается, что в связи со старением населения число больных с ОП в Российской Федерации к 2050 году вырастет на 1/3 [2].

Распространенность остеопороза в Москве (после 50 лет) у женщин составляет 33,8%, у мужчин – 26,9% (по данным двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДРА) позвоночника и проксимального отдела бедренной кости в возрасте старше 50 лет) [4].

Устанавливать диагноз ОП и назначать терапию ОП рекомендуется лицам с патологическими низкотравматическими переломами крупных костей скелета, высокой индивидуальной вероятностью основных низкотравматических переломов, определенных по FRAX (fracture risk assessment tool) [5], и/или при выявленном снижении минеральной плотности кости (МПК) до – 2,5 стандартных отклонений (СКО) по данным центральной денситометрии [1]. При этом лучевым методам диагностики, наряду с инструментом FRAX, уделяется особое, первостепенное внимание, как в отношении выявления низкоэнергетических переломов, так и для определения МПК.

Выделяют остеопороз первичный и вторичный.

Первичный остеопороз развивается как самостоятельное заболевание без выявленной другой причины снижения прочности скелета, занимает 95% в структуре остеопороза у женщин в постменопаузе (постменопаузальный остеопороз) и 80% в структуре остеопороза у мужчин старше 50 лет [1,6]. К первичному остеопорозу также относится идиопатический остеопороз, который развивается у женщин до менопаузы, у мужчин до 50 лет, и ювенильный остеопороз, который диагностируется у детей (до 18 лет). Однако идиопатические и ювенильные формы первичного остеопороза крайне редки [1].

Вторичный остеопороз развивается вследствие различных заболеваний или состояний, а также приема лекарственных средств, то есть имеется конкретная причина, приводящая к снижению МПК. В структуре остеопороза вторичный остеопороз занимает 5% у женщин и 20% у мужчин [1].

Помимо остеопороза, выделяют остеопению – промежуточное состояние плотности кости между здоровой костью и остеопорозом.

Остеопения не является самостоятельным заболеванием, это собирательное понятие, означающее состояние снижения МПК. Согласно рекомендации Международного общества по клинической денситометрии (ISCD) 2019 термин «остеопения» сохраняется [7], но предпочтительны определения «сниженная костная масса» или «сниженная минеральная плотность кости». Индивидуумы со сниженной костной массой или МПК не обязательно подвержены высокому риску переломов.

1.2. Диагностика остеопороза

Согласно положениям Клинических рекомендаций по остеопорозу [1] критериями диагноза остеопороз являются:

1. Наличие патологических переломов крупных костей скелета (бедренной кости, тел(а) позвонков(а), множественных переломов) в анамнезе или выявленных при обследовании независимо от результатов рентгеноденситометрии или FRAX (при условии исключения других заболеваний скелета).

2. Наличие высокой индивидуальной 10-летней вероятности основных патологических переломов (результат оценки FRAX соответствует Российскому порогу вмешательства и/или превышает его) независимо от показателя рентгеноденситометрии.

3. Снижение МПК на 2,5 и более стандартных отклонений (SD) по T-критерию в шейке бедренной кости и/или в целом в проксимальном отделе бедренной кости и/или в поясничных позвонках (L1–L4, L2–L4), измеренной ДРА, у женщин в постменопаузе и мужчин старше 50 лет.

Мероприятия по диагностике остеопороза являются актуальной проблемой здравоохранения и направлены на выявление патологических переломов, оценку риска возникновения патологических переломов согласно инструменту FRAX, определение МПК в различных группах населения.

1.2.1. Патологические или низкоэнергетические переломы

Патологический, или низкотравматический (низкоэнергетический), или остеопоротический перелом – перелом, произошедший в подавляющем большинстве случаев вследствие остеопороза при минимальной травме. Перелом вследствие остеопороза относят к патологическому перелому, и этот термин используется в МКБ 10-го и 11-го пересмотров [3].

Остеопороз до развития патологического перелома не имеет клинических проявлений. Патологический перелом на фоне данного заболевания в остром периоде часто имеет яркую клиническую картину. Перелом сопряжен с болью, нарушением функции и, как правило, диагностируется рентгенологически врачом-травматологом, который, в зависимости от характера предшествующей травмы, может заподозрить остеопороз [1].

Специфические симптомы патологических переломов позвонков могут быть связаны с такими признаками, как изменение осанки и снижение роста, которые проявляются при выраженных изменениях позвонков. При этом боль в спине не является специфичным симптомом [8]. Остеопорозу может сопутствовать ряд клинических проявлений: нарушение вдоха, боли в области сердца, в области тазобедренных суставов, нарушения пищеварения, дизурические явления и др.

В публикациях часто используют термин «основные патологические переломы» [9,10], который относится к переломам позвонков дистального отдела предплечья, проксимального отдела бедра или плечевой кости.

1.2.2. Оценка риска основных переломов FRAX™

Всемирной организацией здравоохранения было инициировано проведение тщательного анализа клинических факторов риска для создания инструмента, обеспечивающего точное прогнозирование риска перелома. В ходе данной многолетней работы был разработан инструмент FRAX™ (fracture assessment tool), доступный на сайте Шеффилдского университета (<http://www.shef.ac.uk/FRAX>) [11].

Данный алгоритм представляет собой программу, определяющую у конкретного человека абсолютный риск как основных патологических переломов, так и отдельно перелома проксимального отдела бедра в течение ближайших 10 лет жизни.

Этот алгоритм позволяет оценить индивидуальную 10-летнюю вероятность перелома бедренной кости (%) и основных патологических переломов (%) на основе имеющихся клинических факторов риска в сочетании с данными денситометрии (или без них). Термин «основные патологические переломы» в данном случае объединяет клинически значимые переломы тел позвонков (то есть переломы, которые сопровождаются болью), переломы бедренной, плечевой и лучевой костей [1].

Инструмент учитывает различия в частоте переломов, а также в продолжительности жизни в различных регионах мира, поэтому разработаны региональные модели. В 2014 году была опубликована работа с описанием российской модели FRAX, основанной на исследовании частоты переломов (инцидентность) проксимального отдела бедра и других патологических переломов в Первоуральске и Ярославле [9].

Для расчета FRAX необходимо вводить показатели, которые характеризуют наличие клинических факторов риска:

- возраст;
- пол;
- рост и масса тела пациента;
- наличие предшествующего перелома, произошедшего самопроизвольно или в результате такой травмы, от которой у здорового человека перелома бы не возникло;
- наличие перелома бедра у родителей;

- курение в настоящее время;
- употребление 3 или более единиц алкоголя в день;
- прием пероральных глюкокортикоидов в настоящее время или более 3 месяцев в прошлом;
- наличие ревматоидного артрита;
- наличие причин для развития вторичного ОП (приведено согласно комментариям к FRAX [<https://www.sheffield.ac.uk/FRAX/tool.aspx?lang=rs>]): сахарный диабет I типа (инсулинзависимый сахарный диабет), несовершенный остеогенез у взрослого, длительно нелеченый гипертиреоз, гипогонадизм или ранняя менопауза (<45 лет), хроническое недоедание или мальабсорбция и хроническое заболевание печени.

Результаты алгоритма FRAX™ можно уточнить, внося данные МПК шейки бедра как в абсолютном значении (г/см²), так и по Т-критерию, полученные по данным ДРА различных моделей, включая результаты количественной компьютерной томографии (ККТ Mindways QCT, модуль СТХА), т.к. начиная с 2013 года показатель проекционной МПК шейки бедра, рассчитанный по данным ККТ, также включен в инструмент оценки риска переломов FRAX [12].

При корректировке данных FRAX, по данным ККТ Mindways QCT, в модуль СТХА рекомендуется вносить показатели МПК шейки в г/см², полученные при выполнении ККТ, но не Т-критерий, что связано с заниженными показателями Т-критерия при использовании стандартного программного обеспечения ККТ относительно таблиц FRAX.

После внесения данных об МПК результаты калькулятора FRAX можно дополнительно уточнить, указав трабекулярный костный индекс (ТКИ, TBS – trabecular bone score) – показатель, отражающий качество губчатого вещества кости.

Более подробно особенности заполнения опросника FRAX представлены в Федеральных клинических рекомендациях: Остеопороз, 2019.

После заполнения врачом показателей программа выводит два числа: 10-летнюю вероятность возникновения основных патологических переломов и 10-летнюю вероятность возникновения только перелома проксимального отдела бедра.

Следующие действия врача определяются возможностью направления пациента на остеоденситометрию, т. е. наличием в медицинской организации оборудования для данного исследования, или маршрутизацией пациента в другую организацию.

При отсутствии доступа к данному методу врач, в соответствии с Клиническими рекомендациями, должен принять решение о дальнейшей тактике, используя «Точку вмешательства» (рис. 1), определенную для возраста пациента. Если 10-летняя вероятность переломов лежит ниже данной точки, то необходимости в лечении остеопороза нет, можно повторить оценку риска перелома через 5 лет [13]. Если риск оказывается выше точки вмешательства для возраста пациента, то необходимо начать лечение, корригирующее МПК.

При наличии возможности направления пациента на остеоденситометрию решение принимается исходя из зоны, в которую попала точка пересечения возраста пациента и 10-летней вероятности переломов по FRAX. При пересечении параметров возраста и абсолютного риска переломов в красной зоне «Лечение» больному показано лечение остеопороза без дополнительных исследований. При попадании точки в среднюю оранжевую зону «Измерить DXA» необходимо направить пациента на денситометрию для оценки минеральной плотности кости. После исследования необходимо провести перерасчет по алгоритму FRAX с учетом Т-критерия шейки бедра. Лечение показано, если после перерасчета точка пересечения возраста и риска оказывается выше точки вмешательства; или если по результатам денситометрии (DXA) зафиксировано снижение МПК на 2,5 и более стандартных отклонений по Т-критерию в шейке бедренной кости и/или в проксимальном отделе бедра в целом и/или в поясничных позвонках, без пересчета по FRAX.

Следует отметить, что после проведения денситометрии и корректировки риска перелома во FRAX, по данным МПК шейки бедра, блокируется возможность учета вторичного остеопороза, предполагается, что эти данные уже аккумулированы в изменение МПК.

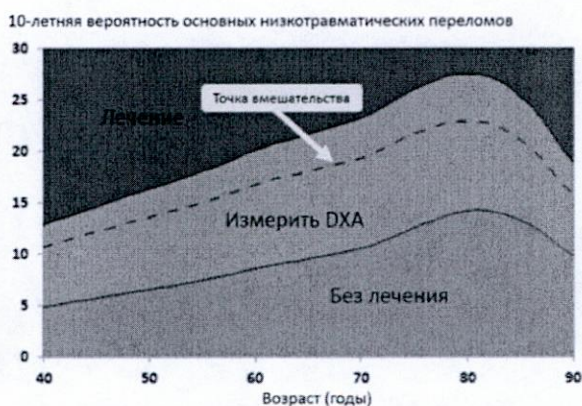


Рисунок 1 – График зависимости 10-летней вероятности от возраста с указанием точки вмешательства в российской модели FRAX [1]

Другими ограничениями инструмента FRAX являются следующие факторы:

- возраст: FRAX не применяется у молодых людей (младше 40 лет) и детей;
- фармакотерапия по поводу остеопороза: инструмент не валидирован у пациентов, проходящих лечение на момент обращения или в последние 2 года;
- МПК позвоночника: FRAX не учитывает данных показателей;
- наличие у пациента множественных переломов: у таких пациентов наблюдается занижение риска по FRAX;
- FRAX не учитывает дозу глюкокортикоидов, количество сигарет и алкоголя, наличие сахарного диабета 2-го типа.

1.2.3. Инструментальная диагностика

Денситометрия (densitometria) – происходит от сочетания двух латинских слов: densitas – плотность и metria – измерение. В широком смысле этого слова применительно к рентгенологии – это любые количественные методы определения рентгеновской плотности объекта.

В контексте данных методических рекомендаций рассматриваются методы, относящиеся к определению плотности костных тканей – остеоденситометрии.

Сравнительные характеристики методов измерения плотности костной ткани:

– Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА, DXA), по результатам которой плотность костной ткани определяется как значение плотности, измеряемой в граммах на квадратный сантиметр на уровне L1–L4 или проксимального отдела бедра [14].

– Количественная компьютерная томография – ККТ, QCT. В данной методике МПК определяется как значение содержания кальция в миллиграммах на кубический сантиметр объема костной ткани в телах позвонков и в граммах на сантиметр квадратный для проксимальных отделов бедренных костей, что предоставляет данные, эквивалентные ДРА.

– Двухэнергетическая КТ (ДЭКТ, DECT) – наиболее современный метод диагностики остеопороза, позволяет максимально точно определять уровень МПК, остеопороза. Это трехмерный аналог ДРА.

– Ультразвуковая остеоденситометрия (КУЗ, QUS) – косвенный метод оценки плотности костной ткани, основанный на изменении скорости распространения ультразвуковой волны в кости и окружающих ее тканях.

Достоинства и недостатки указанных методов кратко отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики методов остеоденситометрии

Метод	Достоинства	Недостатки
1	2	3
ДРА	Основана на данных поглощения рентгеновских лучей при разных (двух) энергиях рентгеновского излучения. Оценивается проекционная МПК (г/см ²), позволяет различить структурные особенности костной ткани тел позвонков, позволяет использовать для анализа сканы позвоночника, бедренных костей, предоставлять данные в формате T- и Z-критериев. Наиболее широко применяемая методика: – малая доза облучения, – возможность определения состава тела человека, – оценка компрессионных переломов в боковой проекции, – оценка качества костной ткани – трабекулярный костный индекс (ТКИ, TBS)	На результаты исследования влияют отложения кальция, вызванные различными причинами: остеофиты при спондилезе и остеохондрозе, обызвествления сосудистого характера. Результаты измерения абсолютных показателей МПК зависят от индекса массы тела

Продолжение таблицы 1

ККТ	Нет необходимости приобретать дополнительное оборудование. Позволяет более точно, чем ДРА, в ряде случаев определить МПК. Дает возможность отдельно исследовать компактную и губчатую костную ткань тел позвонков, оценить структурные характеристики губчатой кости. Современные подходы позволяют использовать для анализа сканы позвоночника (оценка по рекомендациям Американской коллегии радиологии (ACR)), бедренных костей (для них предоставлять данные в формате T- и Z-критериев). Возможна оценка МПК по уже выполненным ККТ-исследованиям с другими целями – оппортунистические исследования	Сопровождается большей, чем при ДРА, лучевой нагрузкой (при прямых, не оппортунистических исследованиях), не имеет специфических спектральных данных по поглощению рентгеновских лучей, что снижает точность, накладывает специальные ограничения на методику выполнения
ДЭКТ	Трехмерный аналог ДРА, применяется двухэнергетический КТ-сканер, позволяющий проводить прямые измерения содержания кальция в объеме кости, и таким образом, наиболее точно из имеющихся технологий денситометрии оценивать МПК	Ограниченное число сканеров. Высокая стоимость сканеров. Большая, чем при ДРА, лучевая нагрузка
КУЗ	QUS – количественная ультразвуковая денситометрия. Используется в основном для выявления групп риска (скрининга). Отсутствие лучевой нагрузки позволяет использовать их у пациентов, которым противопоказаны рентгеновские методы исследования	Нет возможности исследовать позвоночник. Не позволяет количественно оценить плотность костной ткани. Не может заменить ДРА или ККТ. Требуются специальные QUS-сканеры

2. ВИДЫ ОСТЕОДЕНСИТОМЕТРИИ

2.1. Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия

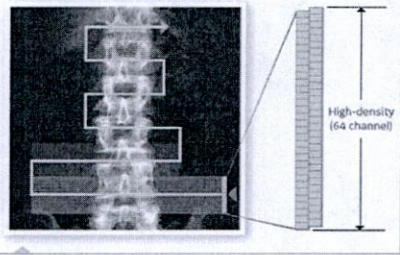
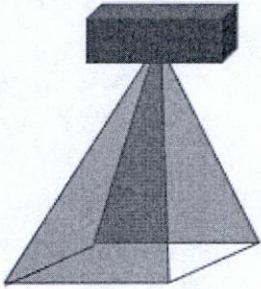
2.1.1. История метода

Первый костный денситометр был создан в 1963 году Джоном Р. Кэмероном и Джеймсом Соренсоном. Устройство являлось моноэнергетическим, и для него использовалось 27 кэВ излучения от источника йод-125 (I^{125}). Такой метод носит название SPA (single energy photon absorptiometry), при этом используются фотоны только одной энергии. Во время исследования пациента помещали в ванну с водой для формирования более однородного коэффициента. В 1970 году группой ученых из университета Wisconsin был создан денситометр, основанный на ДРА (Dual Energy Photon Absorptiometry), источником которого является гадолиний 153 (Gd^{153}) с эмиссией фотонов, имеющих две энергии: 44 и 100 кэВ. В 1988 ВМС LAB 22а (компания Lunar) провела прием пациента; время сканирования и анализа данных заняло 1 час (30 минут для спины и 30 минут для бедра). В этом же году Джей Стейн (Компания Norland) предложил заменить Gd^{153} рентгеновской трубкой, излучающей на двух энергиях, т.е. создал первый аппарат для ДРА [15]. В таблице 2 представлены виды рентгеновских денситометров, а также их сравнительные характеристики.

Таблица 2 – Виды рентгеновских денситометров.

Форма пучка	Схема	Производитель, модели	Скорость 1 зона	Точность
Веерный (англ. fan beam)		Delphy Hologic Discovery Hologic Medix DR	Выше средней (менее 30 сек)	Выше средней
Карандашный (англ. pencil beam)		QDR 4000 Hologic DPX Bravo GE Lunar Chaleanger DMS XR36 Norland Dexxum OsteoSys	Медленно 1 мин и более	Высокая

Продолжение таблицы 2

<p>Узкий верный</p>		<p>Prodigy GE Lunar iDXA GE Lunar Stratos DMS Excelsus Osteosys</p>	<p>Среднее (30 сек)</p>	<p>Высокая</p>
<p>Конусный</p>		<p>Lexxos (DMS) Osteocore 3 Visio Medilink</p>	<p>Быстрое сканирование 1–2 сек</p>	<p>Ниже средней</p>

На рисунке 2 приведены сравнительные ДРА-изображения, полученные при сканировании фантома РСК-ФК2 (разработка средств контроля, фантом калиевый, вторая модификация).

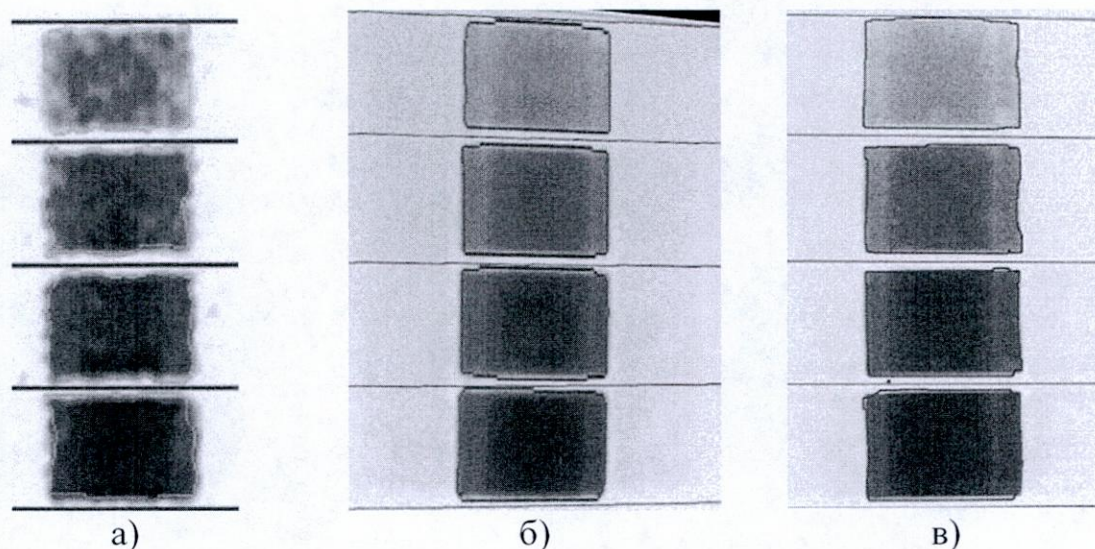


Рисунок 2 – Изображение фантома при сканировании денситометром с:
а) карандашным пучком; б) узковерным пучком, 16 каналов;
в) узковерным пучком, 64 канала

2.1.2. Ограничения метода

К ограничениям относят вес пациента, как правило, более 120 кг, рост – более 196 см. Стандартная программа денситометрии проксимального отдела бедренной кости не должна применяться при

наличии протезов тазобедренного сустава и после металлоостеосинтеза. Противопоказанием к данному исследованию является беременность [16].

Для данной методики характерны случаи ошибочного определения МПК, связанные с типом используемого оборудования, особенностями калибровки с помощью штатных фантомов, а также анатомическими особенностями пациента [17,18]. Например, исследования поясничного отдела и бедра чувствительны к дегенеративным изменениям (костные разрастания при остеохондрозе и спондилезе, обызвествления сосудистого характера) [17]. ДРА имеет также ограничение точности измерения МПК у пациентов с индексом массы тела больше 25 кг/м².

2.1.3. Определение МПК, МСК, площади

В рентгеновской денситометрии при сканировании производится измерение двух величин: **площади проекции** исследуемого участка (см²) и **минерального содержания кости МСК** (г). Используя данные величины можно вычислить еще один, наиболее клинически значимый параметр – **проекционную минеральную плотность кости** – пМПК (г/см²), который определяется делением МСК на площадь проекции [18].

2.1.4. Общие рекомендации по проведению денситометрии ДРА

Исследование проводится персоналом отделения лучевой диагностики: рентгенолаборантом и, при необходимости, врачом-рентгенологом; анализ полученных данных проводится врачом-рентгенологом, имеющим действующие соответствующие сертификаты специалиста и прошедшим обучение по работе с соответствующим оборудованием. В их задачи входит качественное выполнение исследования и выдача заключения по результатам денситометрии (анализ результатов и выдачу заключения осуществляет врач-рентгенолог).

Для своевременного выявления снижения МПК в первую очередь необходимо исследовать центральные отделы скелета. Наиболее полное представление о состоянии как кортикальной, так и трабекулярной кости, может дать одновременное исследование как минимум двух отделов скелета – позвоночника и проксимального отдела бедра. Этих двух областей достаточно для диагностики остеопороза (согласно позициям ISCD 2015/2019). Исследование МПК предплечья проводится при недоступности других участков скелета, при весе пациента свыше 110 кг и для получения данных о кортикальной кости (при гиперпаратиреозе).

Паспортные данные пациента необходимо записывать по форме, предложенной изготовителем аппарата. Следует помнить, что полное заполнение всех пунктов позволит в дальнейшем избежать ошибок при повторных обследованиях. Система архивирования сканов ограничивает возможности внесения исправлений. Указание пола, этнической группы и даты рождения

пациента определяет то, с какими нормативными данными будут соотнесены результаты исследования. Рост и вес пациента влияют на алгоритм расчета МПК.

Рентгеноконтрастные предметы (застежки, металлизированная нить, фольга, денежные знаки и т. п.) необходимо удалить из области сканирования.

Рекомендовано устанавливать диагноз «остеопороз» и назначать терапию при снижении МПК на 2,5 и более стандартных отклонений (SD) по Т-критерию в шейке бедра, и/или в проксимальном отделе бедра в целом, и/или в поясничных позвонках (L1–L4, L2–L4), измеренной ДРА, у женщин в постменопаузе и мужчин старше 50 лет [1].

2.1.5. Рекомендации при проведении исследования позвоночника (ДРА)

При исследовании позвоночника – укладка пациента в положении лежа на спине, неподвижно (рис. 3). Измерение МПК поясничного отдела (L1–L4) обусловлено удобным расположением и относительно стабильным количеством мягких тканей в зоне интереса, а также преобладанием трабекулярного вещества в позвонках (66 %).

При исследовании поясничных позвонков для устранения поясничного лордоза согнутые в коленях ноги пациента необходимо уложить на специальный куб. Маркировка области исследования: верхняя точка – мечевидный отросток, или +2 см, учитывая индивидуальные особенности строения пациента; нижняя точка – +10 см ниже пупка.

1. Проводить измерения МПК поясничных позвонков (L1–L4) в прямой проекции. Исследовать все поддающиеся оценке позвонки и исключать только те, которые имеют локальные изменения структуры или артефакты.

2. При невозможности измерения всех четырех позвонков использовать три позвонка или два, по одному позвонку диагноз «остеопороз» оценивать не рекомендуется.

3. Следует соотносить нумерацию позвонков с анатомической ситуацией в поясничном отделе (6 позвонков, добавочные ребра, сакрализация и др.) и с целью правильного применения нормативных значений МПК. Нижний поясничный позвонок при этом считать пятым.

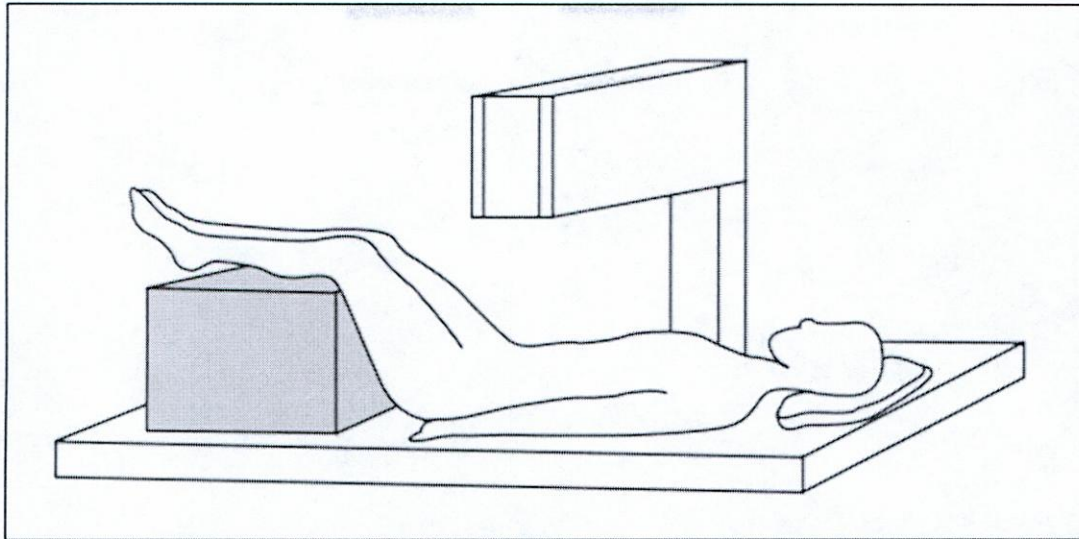


Рисунок 3 – Укладка пациента при проведении денситометрии поясничного отдела позвоночника

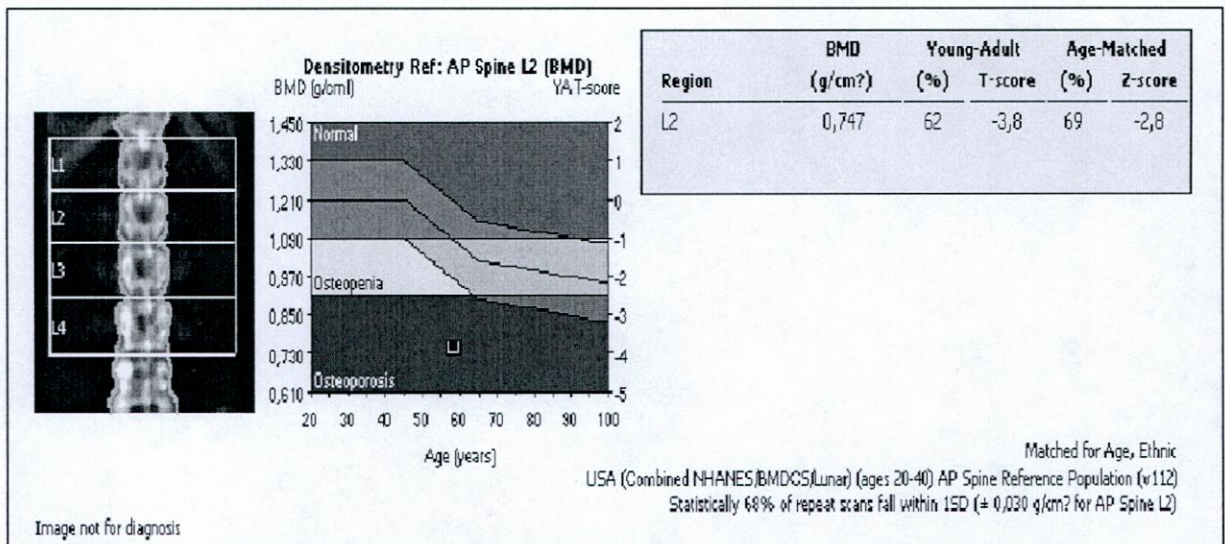


Рисунок 4 – Пример протокола сканирования ДРА для L2 позвонка

2.1.6. Рекомендации по исследованию проксимального отдела бедра (ДРА)

Наиболее точное представление о состоянии кортикальной кости скелета дает измерение проксимального отдела бедра, переломы которого являются серьезными осложнениями ОП. Этот регион включает в себя 5 анатомических областей: шейку бедра, большой вертел, межвертельную область, область Варда и все бедро.

Исследования проксимального отдела бедра проводят в положении пациента лежа на спине. Для того, чтобы шейка бедра располагалась параллельно поверхности стола, стопу пациента фиксируют в положении ротации внутрь (рис. 5). Маркировка области исследования: центр паховой складки, +2 см латерально, учитывая индивидуальные особенности строения пациента.

Подошвенная
поверхность
стопы

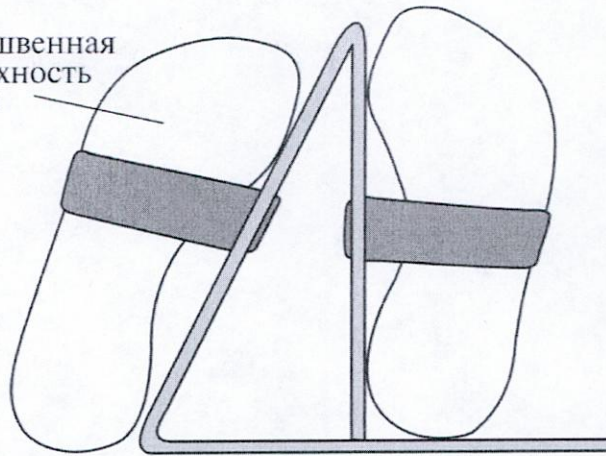


Рисунок 5 – Приспособление для фиксации ног пациента при денситометрии проксимального отдела бедренной кости

1. Согласно рекомендации ISCD 2019 измерение МПК может быть равноценно проведено на любом бедре [7]. Однако, как правило, выполняется исследование левого бедра, поскольку левая нога не является ведущей (у правой), испытывая меньшие нагрузки, МПК при этом оценивается более объективно.

2. Для анализа используется область шейки бедра (femoral neck) и весь проксимальный отдел бедренной кости (total hip), другие анатомические регионы считаются диагностически не значимыми (позиция ISCD 2019). Диагностическим критерием считают наименьшее значение Т-критерия из этих двух областей.

3. Измерение среднего значения МПК по двум бедренным костям может быть использовано для мониторинга терапии, при этом предпочтительной зоной является весь проксимальный отдел бедренных костей (Total Hip).

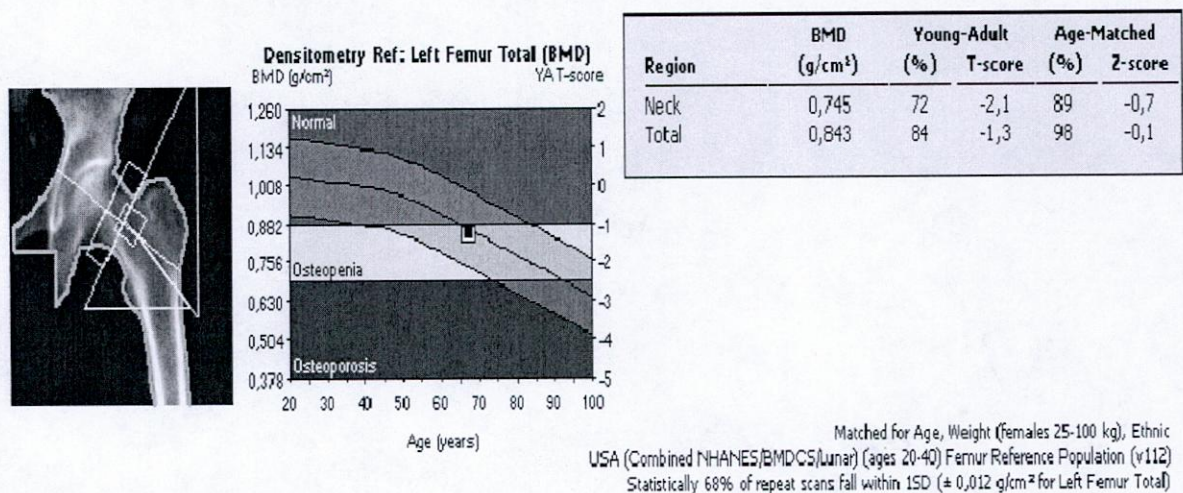


Image not for diagnosis

Рисунок 6 – Пример протокола сканирования ДРА для бедра

2.1.7. Рекомендации при выраженном спондилезе, сколиозе

При выраженном спондилезе и сколиозе происходит завышение результатов МПК. В данном случае оценка параметров происходит по тем позвонкам, границы которых были выделены наиболее четко при автоматическом сканировании, то есть без захвата прилежащих тканей (рис. 7).

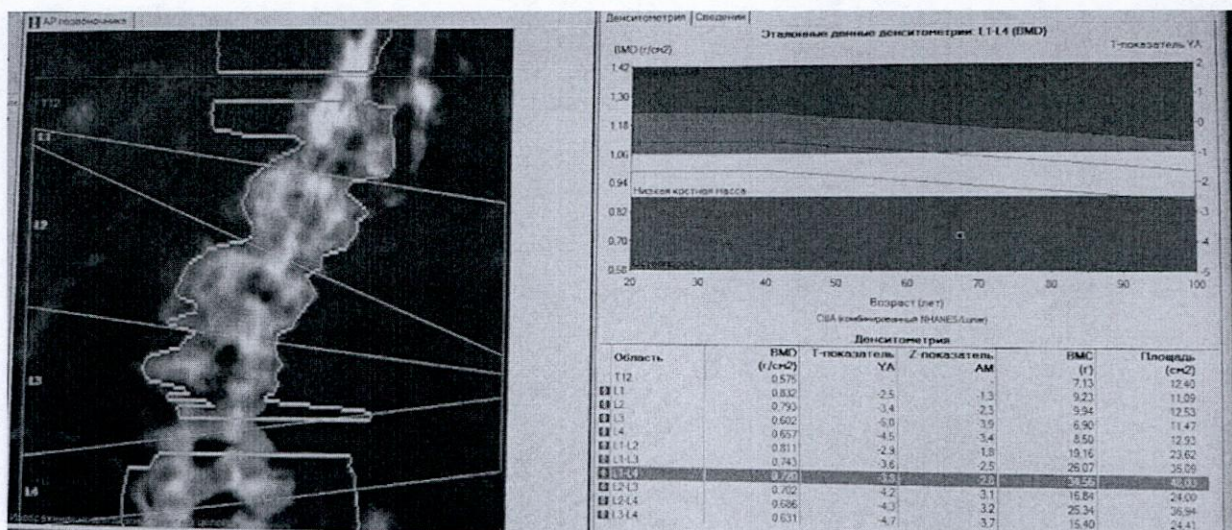


Рисунок 7 – Пример протокола сканирования ДРА при выраженном спондилезе и сколиозе (совместно с С.Ю. Кузнецовым)

2.2. Количественная компьютерная томография (ККТ)

2.2.1. История метода

В 1972 году Годфри Хаунсфилд (Великобритания) разработал первую коммерческую систему – сканер мозга английской компании EMI. Так называемый КТ-сканер первого поколения позволял получать изображения с разрешением 80x80 пикселей (размер пикселя 3 мм). Сканирование проводилось пошагово, один слой обрабатывался примерно 4 минуты, обработка всех данных занимала до 2,5 часов, по этой причине первый томограф использовались только для исследования мозга [19].

Остеоденситометрия методом КТ была введена в 1976 году после того, как стали проводить исследования КТ всего тела. Впоследствии данный метод использовали для оценки патологических состояний МПК, но с введением ДРА значимость использования ККТ снизилась [20]. Первые отечественные публикации по КТ-денситометрии появились в печати с 1998 года от коллектива авторов: И.С. Власовой, С.К. Тернового, А.Д. Сорокина [21].

2.2.2. Рекомендации по проведению ККТ-денситометрии

Согласно клиническим рекомендациям [1] данная методика относится к дополнительным остеоденситометрическим технологиям; получаемые с ее помощью данные точны и высоко воспроизводимы. Трехмерное измерение МПК, производимое при ККТ, определяет количество минерализованной костной ткани на объем кости ($\text{мг}/\text{см}^3$).

ККТ-денситометрия основана на измерении плотности костной ткани по данным компьютерной томографии, выполняемой специально с целью остеоденситометрии (плановая ККТ), либо при анализе ранее проведенных исследований (оппортунистический скрининг).

При выполнении ККТ-денситометрии необходимо учитывать методические особенности выполнения данной процедуры. Подходы к анализу и интерпретации сходны с анализом данных при ДРА, поскольку основываются на общем подходе к оценке результатов исследования – применению T- и Z-критериев оценки МПК.

Исследование проводится персоналом отделения лучевой диагностики: рентгенолаборантом и, при необходимости, врачом-рентгенологом, анализ полученных данных проводится врачом-рентгенологом, имеющим действующие соответствующие сертификаты специалиста и прошедшим обучение по работе с соответствующим оборудованием. В их задачи входит качественное выполнение исследования и выдача заключения по результатам денситометрии (анализ результатов и выдачу заключения осуществляет врач-рентгенолог).

2.2.3. Виды ККТ-денситометрии

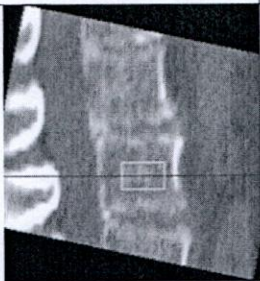
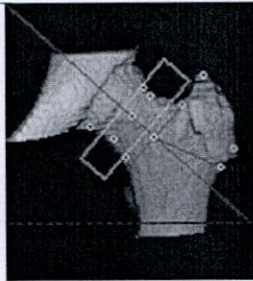
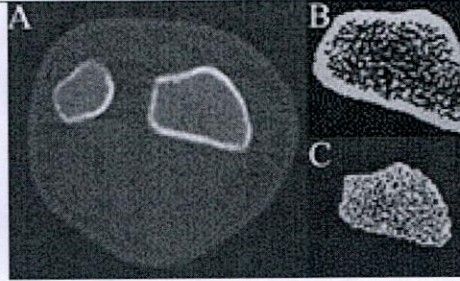
1. Синхронная ККТ – выполнение КТ-сканирования пациента с фантомом (как правило, под пациента подкладывают дополнительный матрас со специальными вставками, обеспечивающими опорные значения МПК). Также в этом случае необходимо периодическое сканирование данного фантома с фантомом, имитирующим тело человека, что усложняет эксплуатацию системы.

2. Асинхронная ККТ – выполнение КТ-сканирования пациента без одновременного сканирования фантома, при этом фантом сканируют периодически (один раз в месяц), без пациента (асинхронный фантом). Данные калибровки, полученные при сканировании фантома, будут учитываться при количественном анализе результатов КТ-сканирования. Это наиболее современный и упрощенный с точки зрения пользователя метод.

3. ККТ-сканирование с использованием в качестве референсных значений плотностей собственные ткани (жир, мышцы). Точность определения МПК в таком случае ограничена значительной вариабельностью параметров этих тканей от пациента к пациенту.

Виды ККТ-денситометрии по регионам подразделяются на центральную и периферическую, их особенности и различия представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Виды денситометрии по регионам сканирования

Параметры	Центральная		Периферическая
Область исследования	Поясничный отдел позвоночника (L1–L2, возможно до 5 позвонков)	Проксимальный отдел бедра (все регионы проксимального отдела аналогично ДРА)	Дистальный отдел лучевой кости, большеберцовая, бедренная кости
Наименование	Чаще просто ККТ	СТХА	пККТ
Область интереса			

2.2.4. Выполнение плановой ККТ-денситометрии с асинхронным фантомом

Методика асинхронной ККТ подразумевает периодическую калибровку с использованием специального фантома в соответствии с инструкцией по эксплуатации фирмы-производителя компьютерного томографа [22] или производителя аппаратно-программного комплекса ККТ, поставляемого отдельно от томографа.

Для выполнения плановой ККТ:

- данные о пациенте заносят в компьютер;
- пациента размещают в томографе, на спине, при сканировании тазобедренных суставов носки ступней разворачивают вовнутрь.

При сканировании позвоночника. Проводят сканирование тел двух позвонков в диапазоне от Th12 до L4, сканирование тел L1 и L2 предпочтительно согласно рекомендации ISCD 2019. Возможен анализ до 3-х тел позвонков одновременно (рис.8), однако с целью минимизации лучевой нагрузки и предоставления наиболее устойчивых данных МПК рекомендованы уровни L1–L2 (ISCD 2019).

При обработке данных необходимо строго следовать инструкции фирмы-производителя по выполнению анализа позвоночника.

Приводим некоторые методические особенности:

– сканирование и расчет проводится для тел двух позвонков, при этом необходимо исключить из анализа остеофиты, очаги склероза участки входа венных коллекторов, гемангиомы, а также в целом позвонки с индексом компрессионной деформации более 20%;

– результаты предоставляются в виде отчета с Z-критериями, измеренной объемной МПК и интерпретацией полученных результатов по критериям ACR [23];

– данные по T-критерию не анализируются и не приводятся в заключении;

– область интереса необходимо располагать в передней части тел позвонков, оптимально ориентируя по трем осям согласно рекомендациям фирмы-производителя (рис.8);

– если в области интереса оказывается патология других органов и систем, ее необходимо указывать с рекомендациями по дообследованию и консультациям профильных специалистов.

Оценку МПК проводят по критериям ACR [23], согласно которым полученная средняя МПК менее 80 мг/мл расценивается как «состояние, соответствующее остеопорозу», в диапазоне от 80 до 120 мг/мл как «состояние, соответствующее остеопении», и более 120 мг/мл как «норма».

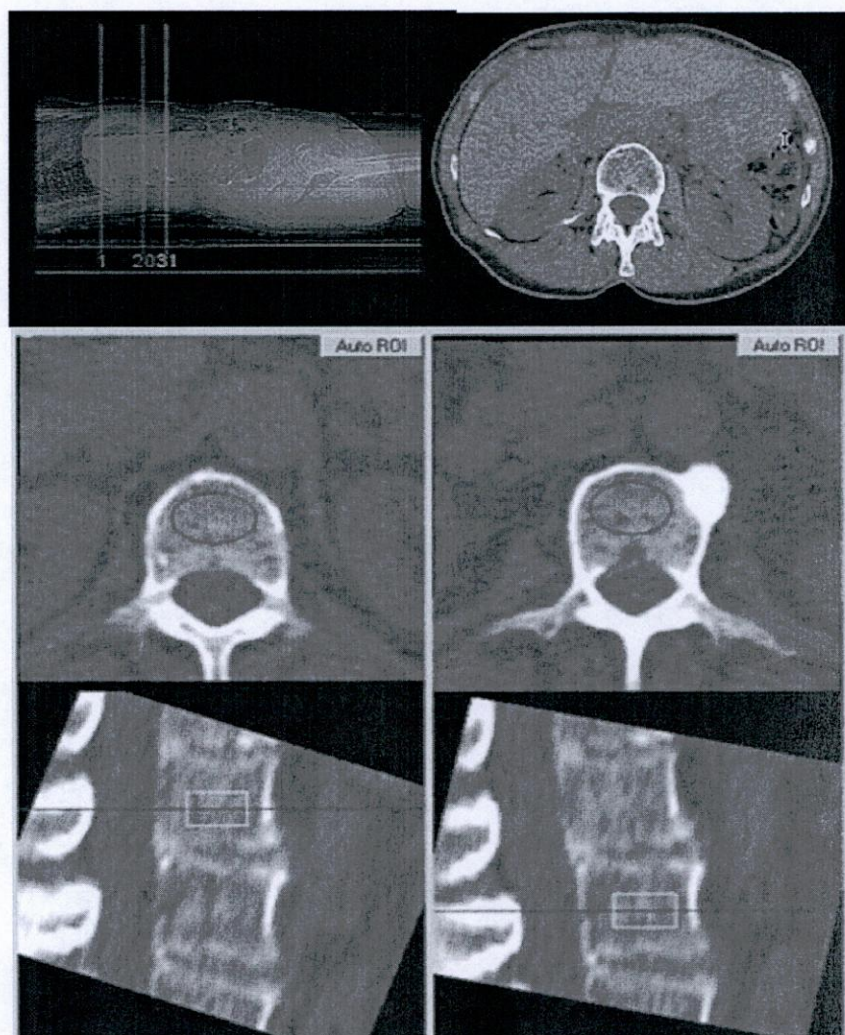


Рисунок 8 – Пример сканирования и сегментации позвоночника при проведении КТ-денситометрии

При сканировании тазобедренных суставов. Верхний уровень сканирования устанавливают на уровне головок бедренных костей, нижний уровень – на 1–2 см ниже малого вертела (рис. 9). Это составляет, как правило: 40 аксиальных срезов толщиной 3 мм, область обзора в среднем 12 см.

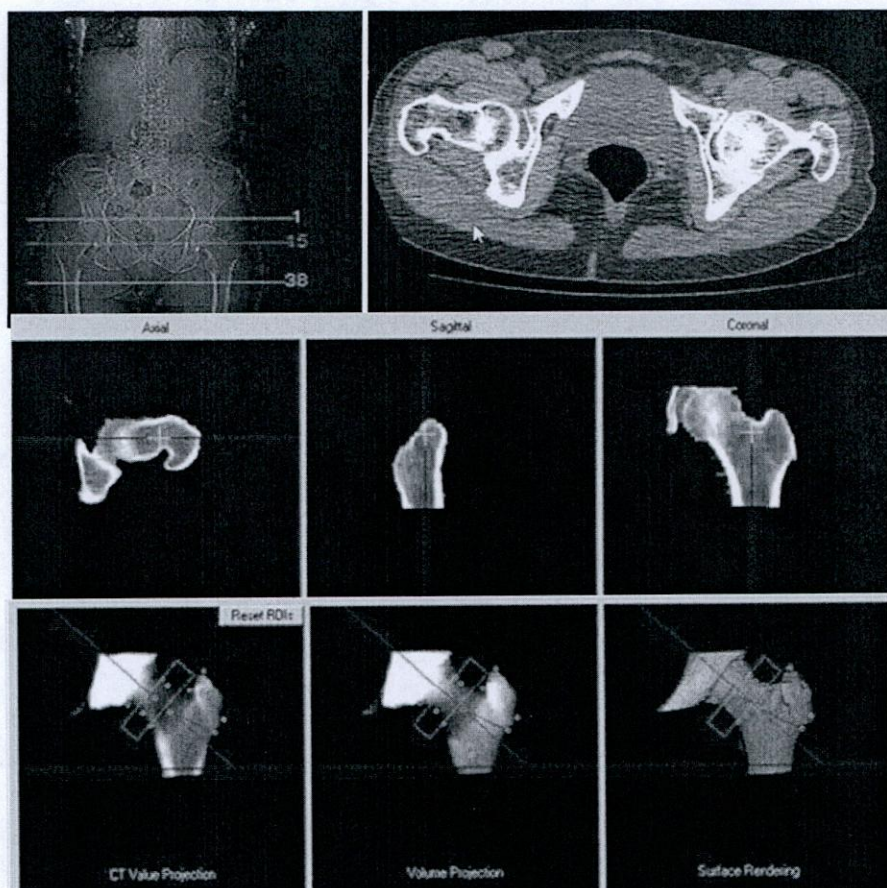
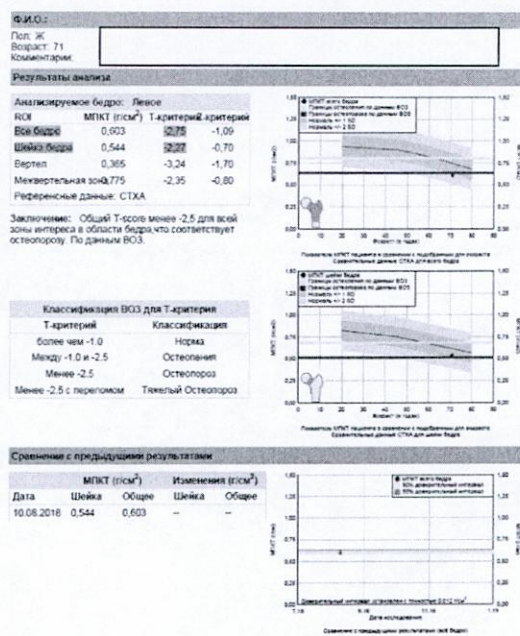


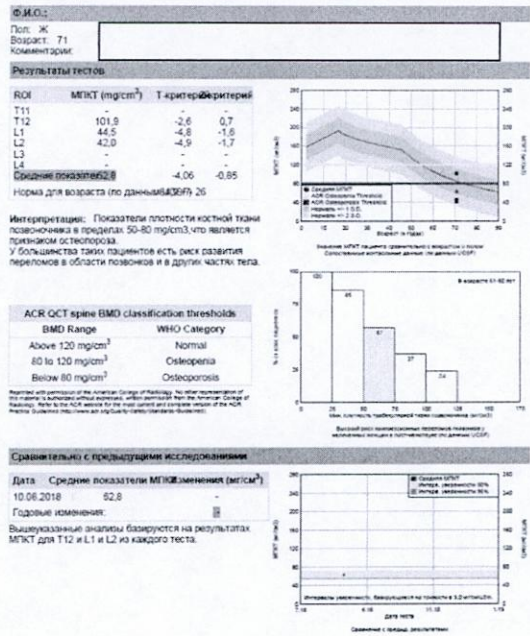
Рисунок 9 – Пример сканирования и сегментации проксимального отдела бедра при проведении КТ-денситометрии

Оценку МПК проводят, приводя данные пМПК и T-критерия для шейки бедра и всего проксимального отдела бедренной кости (рис. 10).

СТХА™ Денситометрия проксимальных отделов бедренной кости



3D QCT денситометрия минеральной плотности кости



а) мПКТ и T-критерий для шейки бедра и всего бедра и б) поясничного отдела позвоночника мПКТ для позвоночника

Производится выбор бедра для анализа (как правило, левое), для анализа используется программа СТХА (по аналогии с DXA), входящая в программный модуль QCT PRO как единственный доступный в Российской Федерации на момент формирования данных рекомендации.

Необходимо строго следовать инструкции фирмы-производителя по выполнению анализа бедренных костей.

Приводим некоторые методические особенности:

– Анатомическая ориентировка при выполнении СТХА проводится в трех плоскостях полуавтоматически (оператор контролирует и, если нужно, корректирует автоматическую разметку).

– Требуется следить за точностью автоматической разметки, при необходимости корректируя расположение нижнего уровня сканирования по нижнему краю малого вертела и расположение разметки для анализа шейки бедренной кости перпендикулярно оси шейки бедренной кости (рис. 9, нижний ряд изображений).

– При неточной сегментации необходимо использовать функции «trim» (убрать лишнее) или «fill holes» (заполнить пустоты), при этом важно учитывать, что отделы бедренной кости проксимальнее выбранной зоны шейки бедра не анализируются и в корректировке не нуждаются.

Внеплановое сканирование. Помимо выполнения плановой денситометрии, ККТ с асинхронным фантомом обеспечивает внеплановое, ретроспективное измерение МПК по результатам ранее проведенного КТ-сканирования по другим, не связанным с ОП, показаниям – «оппортунистический» скрининг. Выполнение ККТ с асинхронным фантомом позволяет получить (рассчитать) МПК костей позвоночника и/или шейки бедра из результатов сканирования по другим показаниям,

включая КТ брюшной полости/таза/позвоночника, КТ-колонографию, КТ-урографию, ПЭТ/КТ-исследования в онкологии, выполненные без введения контрастного вещества. При этом не проводится дополнительное облучение пациентов, расширяется группа скрининга; имеется возможность ретроспективной работы с PACS-архивами для оценки МПК по результатам сканирования, произведенного ранее [24]. При анализе предварительно выполненных КТ-исследований надо учитывать корректность выполнения сканирования. Исследования должны быть проведены в соответствии с методическими указаниями по выполнению стандартных КТ-сканирований соответствующих анатомических областей [25].

Значение контраста в оппортунистическом исследовании. При анализе нативных, доконтрастных результатов сканирования эффективен анализ как МПК позвоночника, так и бедренных костей.

Введение контрастного вещества несущественно влияет на измерения проксимального отдела бедра, однако изменения МПК позвонков могут достигать 30,3% [26]. Поэтому при выполнении оппортунистических исследований, основанных на постконтрастных КТ-изображениях, более эффективен анализ проксимального отдела бедра [27].

Эффект усиления жесткости луча. Помимо высокой лучевой нагрузки, особенностью КТ является наличие эффектов усиления жесткости луча (beam hardening) и рассеяния (scattering), методик их коррекции, приводящих к изменению рентгеновской плотности вдоль сечения цилиндрического тестового объекта или пациента [2].

При выполнении асинхронной ККТ-денситометрии, рекомендуется использование фильтров реконструкции мягких тканей с коррекцией жесткости рентгеновского излучения (beam hardening correction) [28].

В качестве примера приводим оптимальный протокол сканирования в режиме прямой КТ-денситометрии, ККТ для 64 срезового сканера Aquilion 64 Canon Medical Systems (Toshiba): напряжение на трубке 120 кВ, сила тока 50/70 мА (позвоночник/проксимальный отдел бедра) для пациентов со сниженным индексом массы тела, ИМТ (менее 18,5 кг/м²), либо 100/100 мА для пациентов с нормальным и повышенным ИМТ, более 18,5 кг/м². При подборе тока на трубке возможно применение алгоритма 3D-Sure, позволяющего автоматически оптимизировать ток на рентгеновской трубке, тогда параметр шума (SD) следует выбирать не менее 10 HU, фильтр реконструкции – kernel FC08 (для визуализации мягких тканей с коррекцией эффекта beam hardening), область сканирования – FOV 300 – 500 мм. Толщина среза реконструкции в аксиальной плоскости – 3 мм. Pitch – 0,84. Время ротации – 0,5 сек.

Следует отметить обязательное сканирование асинхронного фантома со всеми вариантами параметров сканирования для построения корректной калибровочной прямой [22]. Критичными для калибровки являются: напряжение на трубке, FOV, фильтр реконструкции (kernel).

2.2.5. Возможности клинического применения ККТ для позвоночника и проксимального отдела бедра согласно позициям ISCD 2019

Для диагностики остеопороза по T-критерию

- T-критерии для шейки бедренной кости и всего проксимального отдела бедренной кости, рассчитанные на основе 2D-проекций данных ККТ (г/см^2), эквивалентны соответствующим T-критериям ДРА для диагностики остеопороза в соответствии с критериями ВОЗ [3].

Для прогнозирования риска переломов

- Трабекулярная МПК позвоночника (мг/см^3), измеренная с помощью ККТ, имеет, по крайней мере, такую же способность прогнозировать переломы позвонков, что и МПК позвоночника в прямой проекции, измеренная с помощью центральной ДРА у женщин в постменопаузе. Отсутствуют достаточные доказательства, подтверждающие эту позицию у мужчин.

- Отсутствуют достаточные доказательства, чтобы рекомендовать ККТ позвоночника для прогнозирования перелома бедра как у женщин, так и у мужчин.

- Общая трабекулярная МПК бедра, измеренная с помощью ККТ, позволяет прогнозировать переломы бедра, а также МПК бедра, измеренная с помощью ДРА, – у женщин в постменопаузе и пожилых мужчин.

Терапевтические решения

- Для принятия терапевтических решений методом выбора является центральная ДРА позвоночника и проксимального отдела. Если ККТ и ДРА одинаково доступны и обеспечивают сопоставимую информацию, то ДРА предпочтительнее для ограничения лучевой нагрузки.

- Однако, если центральную ДРА нельзя провести, фармакологическое лечение может быть начато, если вероятность перелома по оценке ККТ позвоночника с использованием пороговых значений, специфичных для устройства, и в сочетании с клиническими факторами риска, является достаточно высокой.

Мониторинг МПК

- Трабекулярная МПК поясничного отдела позвоночника, измеренная с помощью ККТ, может использоваться для мониторинга изменений МПК, связанных с возрастом, заболеванием и лечением.

- Интегральная (проекционная) и трабекулярная МПК проксимального отдела бедренной кости, измеренная с помощью ККТ, может использоваться для мониторинга изменений МПК, связанных с возрастом и лечением.

2.3. Количественное ультразвуковое исследование (КУЗ)

2.3.1. Общие рекомендации и ограничения КУЗ

К дополнительным методам диагностики ОП относят количественное ультразвуковое исследование (КУЗ), которое может использоваться, когда проведение «классических» исследований МПК затруднено. В первую очередь это обусловлено отсутствием воздействия ионизирующего излучения [29].

Частотная зависимость затухания широкополосного ультразвукового сигнала и скорости прохождения сигнала через кость используется в качестве индикаторов для программного расчета минерального состава кости [4]. В официальной рекомендации ISCD 2015 года относительно применения КУЗ отмечается, что единственным подтвержденным участком скелета для клинического использования КУЗ в диагностике ОП является пяточная кость [30]. Отсутствие рекомендаций по конкретным технологиям КУЗ для других участков скелета, создает неопределенность в отношении его широкого применения в клинической практике.

Основными проблемами широкого применения КУЗ являются: зависимость полученных данных от квалификации врача, проводящего исследование, низкая воспроизводимость результатов измерений на устройствах различных моделей и для различных зон сканирования.

Также существуют технологии измерения параметров прохождения ультразвука для множественных участков скелета – многоточечное КУЗ (мКУЗ, mQUS) – исследование для нескольких точек скелета.

Было показано, что МПК и SOS (speed of sound), измеренная в метрах в секунду, – величины несвязанные, поэтому могут предоставлять независимую информацию для оценки риска переломов [31].

Использование КУЗ в сочетании с клиническими факторами риска позволяет идентифицировать субъектов, которые имеют низкую и высокую вероятность остеопоротического перелома [31].

Отмечается, что при недоступности центральной денситометрии выявление пациентов с низким и высоким риском ОП перелома может быть проведено по данным КУЗ [32].

Периферическая ДРА (пДРА, pDXA) позволяет измерить МПК предплечья, пальца или пяточной кости. Измерение валидизированными пДРА-технологиями может быть использовано для оценки риска переломов позвонков и в целом у женщин в постменопаузе. Данное исследование ассоциировано с незначительной лучевой нагрузкой (0,03 мЗв на 1 скан). Однако полученные данным методом значения МПК не могут быть использованы для установления диагноза «остеопороз», и пациенты должны направляться на аксиальную денситометрию. Недостаточно доказательств прогностической способности в отношении переломов у мужчин. Кроме того, пДРА не является подходящим методом мониторинга МПК после лечения.

Периферическая ККТ (пККТ, pQCT) измеряет общую объемную костную плотность, а также плотность трабекулярной и кортикальной костей в предплечье или большеберцовой кости; пККТ высокого разрешения (пККТ-ВР) в лучевой и большеберцовой костях обеспечивает измерение объемной плотности, костной структуры и микроархитектоники. У женщин в постменопаузе измерение трабекулярной МПК в позвоночнике при ККТ может применяться для прогнозирования переломов тел позвонков, в то время как пККТ предплечья в дистальной трети лучевой кости возможно использовать для прогнозирования переломов бедра, но не тел позвонков. Недостаточно доказательств прогностической способности в отношении переломов у мужчин; пККТ ассоциированы с высокой лучевой нагрузкой, по сравнению с традиционной денситометрией [33]. Для проведения периферической ККТ применяются специализированные КТ-сканеры.

2.4. Дополнительные остеоденситометрические технологии

2.4.1. Двухэнергетическая оценка позвонков в боковой проекции

Данная методика относится к общему термину оценки переломов позвонков и добавлена в рекомендации Международного общества клинической денситометрии (ISCD) 2019 [7].

Ее синонимами являются lateral vertebral assessment (LVA), dual energy vertebral assessment (DVA); для устранения путаницы в публикациях рекомендован термин VFA (vertebral fracture assessment), оценка переломов позвонков.

Выполняются при значении $T < -1$ СКО, а также (одно из следующих условий): женщинам старше 70 лет, мужчинам 80 лет, при уменьшении роста более чем на 4 см, наличии переломов позвонков в анамнезе, системном приеме кортикостероидов (более 3 месяцев). На рис. 11 представлен пример интерфейса VFA. Метод имеет высокую чувствительность и специфичность для средней и высокой степени компрессии позвонка, но требует радиографического контроля для слабовыраженной компрессии.

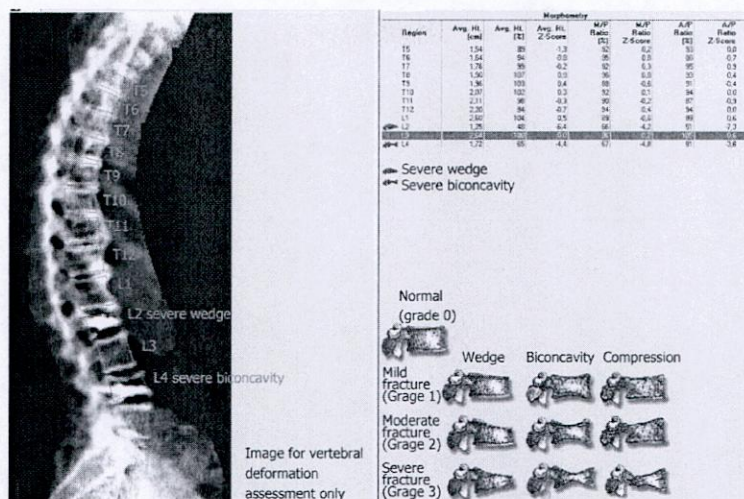


Рисунок 11 – Пример использования технологии VFA для поиска компрессионных переломов тел позвонков [34]

В данном методе производится сканирование пациента на ДРА в боковой проекции, при этом для ряда устройств пациента необходимо переложить на бок (Lunar Prodigy), либо развернуть излучатель и приемник, объединенные дизайном С-дуги (Hologic Discovery), при этом пациент остается лежать на кушетке, на спине.

2.4.2. Трабекулярный костный индекс

Трабекулярный костный индекс (ТКИ, TBS – Trabecular bone score) – тканевой показатель, оценивающий пиксельные отклонения по шкале градаций серого на денситометрических изображениях поясничного отдела позвоночника и вычисляющийся при проецировании трехмерной структуры на плоскость (рис. 12). В данном методе оценивается «качество» трабекулярной костной ткани, на приведенном рисунке 12 при одинаковой МПК отмечается разница в текстуре исследованных позвонков. В верхнем ряде изображений отмечается высокоупорядоченная однородная текстура тел позвонков с рассчитанным ТКИ – 1,457. В нижнем ряде изображений видна неравномерная текстура, обусловленная неравномерной балочной структурой, сочетающей разрежения и уплотнения. При этом индекс ТКИ – 1,132. Многочисленные исследования показали, что повышение степени неоднородности балочной структуры тел позвонков (при снижении индекса ТКИ) сопровождается потерей механической прочности и повышением риска переломов.

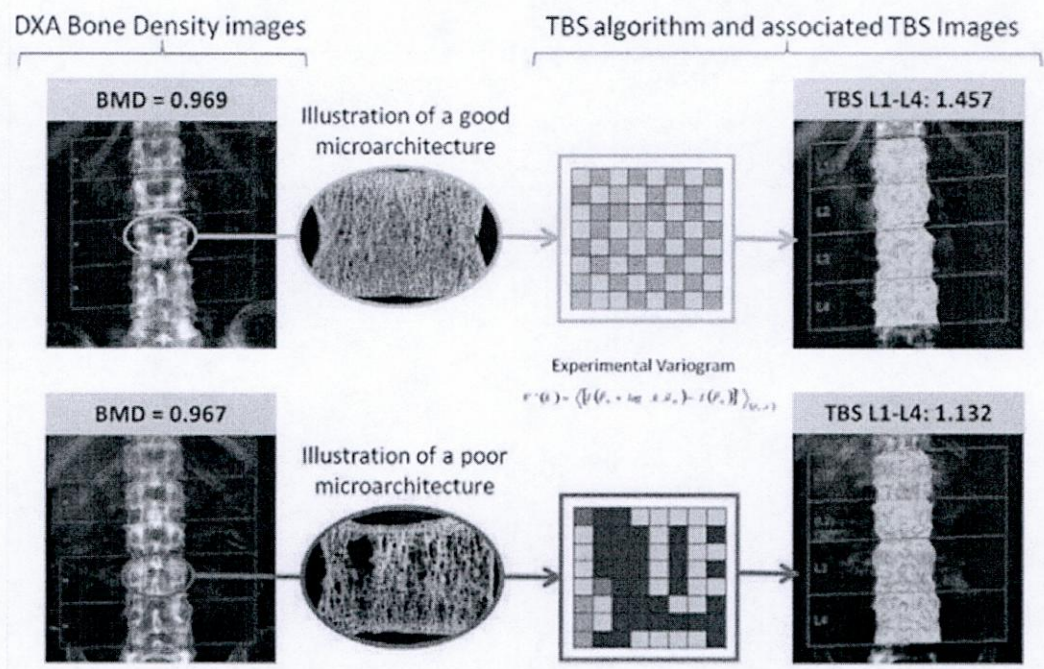


Рисунок 12 – Применение метода трабекулярного костного индекса на позвонках с разной микроархитектоникой [35]

Метод ТКИ предсказывает повышенный риск основных ОП переломов у женщин в постменопаузальном возрасте и у мужчин старше 50 лет, а также с высоким риском переломов у женщин с диабетом второго типа [35]. Роль ТКИ в мониторинге антирезорбтивной терапии: ТКИ ассоциирован с состояниями повышенного риска ОП переломов при ревматоидном артрите, диабете, первичном гиперпаратиреозе, инциденталоме надпочечников, длительной терапии глюкокортикоидами. Является дополнительным методом и включен в алгоритм FRAX, но может выступать как самостоятельный показатель.

Согласно клиническим рекомендациям по остеопорозу результат ТКИ, полученный в ходе стандартной рентгеноденситометрии поясничного отдела позвоночника, рекомендуется использовать для одномоментного включения в алгоритм FRAX для повышения чувствительности метода.

Методика текстурного анализа по данным КТ. Существуют методы оценки текстуры позвонков по данным КТ (ККТ). Их можно назвать трехмерными аналогами ТКИ, однако в отличие от ТКИ они не введены в базовые руководства и находятся в стадии разработки. Наиболее успешными можно считать работы А. Валентинич и других авторов (Valentinitsch A. et al. 2017, 2019) [36, 37]. Трехмерные изображения тела позвонка пациента преобразуются в трехмерную модель, состоящую из вокселей. При этом каждый воксель получает свойство исследуемого материала (кортикальный слой, трабекулы).

После этого извлекаются функции текстуры на глобальном (для всего позвонка) и локальном (для одной из 27 его частей) уровнях. Как расчет плотности, так и анализ текстуры выполняются с использованием откалиброванных сканов (применена ККТ). Внутренняя микроархитектура и морфологические паттерны, описываемые текстурными элементами, оставались независимыми от этой калибровки. Чтобы в полной мере использовать преимущества анализа текстуры на локальном уровне, каждый позвонок был разделен на 27 подобластей, для этого был применен шаблон позвоночника (TLSSM16).

На рисунке 13 приведена работа алгоритма текстурного 3D-анализа для установления особенностей распределения плотностей в пределах тела позвонка [36]. Проводился анализ текстуры тел позвонков с использованием трехмерного локального бинарного шаблона (3D LBP). Процедура заключалась в последовательном считывании значений интенсивности пикселей, окружающих интересующий – центральный пиксель. Если значение интенсивности текущего пикселя превышает значение интенсивности центрального, ему присваивается значение 1. В противном случае – 0. Затем изображение принимает форму 3D-паттерна, и векторы, характерные для каждого вокселя, подразделяются на кластеры в соответствии с определенными признаками.

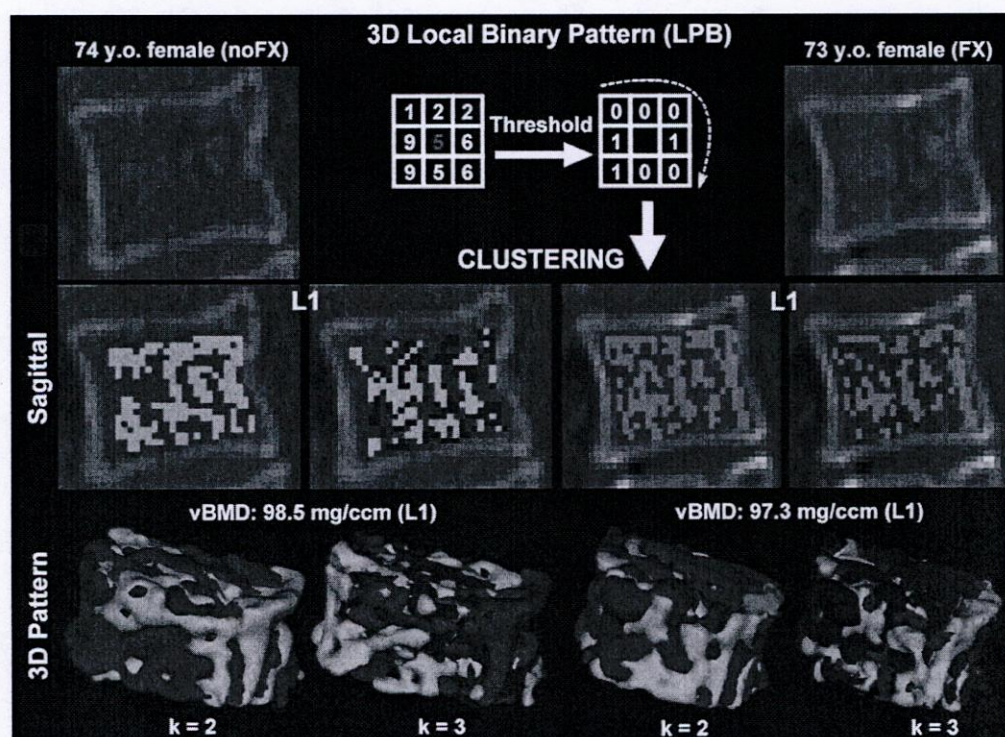


Рисунок 13 – Применение 3D-текстурного анализа на позвонках с разной микроархитектоникой [36], объяснения в тексте

На рисунке 13 предоставлены данные текстурного анализа позвонка L1 пациентки без низкоэнергетического перелома (два ряда цветных изображений слева, noFX) и пациентки с низкоэнергетическим переломом другого, не L1 позвонка (два ряда цветных изображений справа, FX).

Пациентки одной возрастной группы и практически одинаковой МПК, соответствующей остеопении по критериям АСР.

При этом виден другой паттерн распределения минеральной плотности, что отмечено на цветовых картах на рисунке 13. Мы извлекли плотность (региональная объемная минеральная плотность кости – р,МПК, BMDr) и особенности текстуры для каждого позвонка для всех определенных подобластей, используя различные методы анализа текстуры (четыре вида анализа); параметр ROC AUC был повышен от 0,64 до 0,88 при прогнозировании переломов позвонков для выборки из 103 пациентов [36].

2.4.3. Метод конечных элементов

Метод конечных элементов (МКЭ, FEA – finite element analysis) используется в инженерной технике для расчета жесткости, прочности, внутренней деформации и напряжения сложных конструкций при внешнем воздействии. Проблема расчета внутренней деформации и напряжения в кости, которая может в итоге стать причиной перелома, решается путем создания сетки конечных элементов с известными свойствами материала (минеральное вещество, костный мозг), для которых обеспечивается равновесие сил и моментов. Для интерпретации результатов прочности используют физический параметр – сила, приложенная к кости, приводящая к необратимым деформациям, т. е. перелому. Однако параметры силы, полученные методом МКЭ на основе ККТ, позволяют лишь прогнозировать перелом у женщин в постменопаузе, но не диагностировать его. При этом большая часть программного обеспечения МКЭ для анализа и прогноза вероятностей перелома в костной ткани все еще является экспериментальной [38].

В положения ISCD 2019 года внесены разработанные рекомендации для клинического использования МКЭ на основе ККТ в целях исследования позвоночника и шейки бедра.

2.5. Оценка компрессионных переломов позвоночника по данным рентгеновских исследований

Важность радиологической диагностики патологических низкоэнергетических компрессионных переломов (КП) тел позвонков, происходящих на фоне остеопороза, подчеркивается в клинических рекомендациях [1]. Наличие единственного перелома тела позвонка повышает риск последующих переломов позвонков в 3–5 раз, а риск переломов бедренной кости и другой локализации – в 2–3 раза [32]. Выявление компрессионного перелома тела позвонка является показанием к медикаментозному лечению остеопороза с целью уменьшения риска последующих переломов [32].

Для выявления КП существуют различные методы: количественные (морфометрические), полуколичественные и качественные.

Ряд методов охарактеризован в материалах Международного фонда остеопороза (IOF) [39].

Отдельного внимания заслуживает полуколичественный (SQ, semi-quantitative) метод Genant, предложенный ISCD [40], IOF [39], а также отечественными рекомендациями по остеопорозу [1]. Базовая публикация, в которой была положена основа данного метода, описана в статье Г.К. Генанта и соавторов (Genant H.K. et al., 1993) [41].

С помощью этого метода можно оценивать данные рентгенографии, КТ, МРТ, а также ДРА в боковой проекции (VFA, см. рис. 11).

При использовании полуколичественного метода Genant (рис. 14) грудной и поясничный отделы позвоночника оцениваются на изображениях в боковой проекции (мультипланарной реконструкции КТ, на сагиттальных срезах при МРТ), при этом определяются следующие состояния: норма (степень 0) (рис. 14); переломы легкой степени тяжести (1-я степень, максимальное снижение высоты тела – от 20 до 25 %, на 10–20% снижается проекционная площадь позвонков), средней степени тяжести (2-я степень, максимальное снижение высоты тела – от 25 до 40 %, и на 20–40% снижается проекционная площадь) или тяжелые переломы (3-я степень, максимальное снижение высоты тела позвонка – более 40 %, и также более чем на 40% снижена проекционная площадь позвонков). Снижение оценивается в процентах – на сколько снижен минимальный размер (вентральный, срединный, дорсальный относительно максимального). Как правило, регистрируются снижения срединного (двояковогнутая деформация) и вентрального размеров (клиновидная деформация) по сравнению с дорсальным.





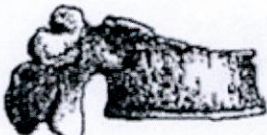

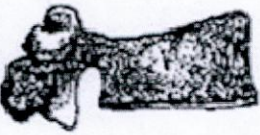



Нормальный позвонок (степень 0) 	Перелом с клиновидной деформацией	Перелом с двояковогнутой деформацией	Перелом с деформацией сжатия
Перелом легкой (1-й степени) тяжести; деформация тела на 20–25%			
Перелом средней (2-й степени) тяжести; деформация тела на 26–40%			
Тяжелый перелом средней (3-й степени) тяжести; деформация тела более 40%			

Рисунок 14 – Классификация компрессионных переломов позвонков с помощью полуколичественного метода (SQ) Genant

Для оценки используются результаты сканирования от 4-го грудного до 5-го поясничного позвонка. При визуальной оценке менее согласована диагностика переломов легкой (1-й) степени по сравнению с переломами средней (2-й) и тяжелой (3-й степени).

В публикациях о гиподиагностике КП также указываются лишь недиагностированные переломы 2-й и 3-й степени [42, 43]. Также переломы только средней и тяжелой степени указываются в работах, посвященных оппортунистическому скринингу по данным КТ [44, 45].

Данный метод позволяет достаточно быстро визуально оценивать деформацию и классифицировать переломы по степени компрессии.

Морфометрический метод оценки компрессионных переломов позвонков основан на измерениях вентрального, срединного и дорсального размеров тел позвонков и может служить как метод выбора, если необходимо более точно установить степень компрессии.

С помощью данного метода оценка формы позвонка происходит по шести точкам, размещенным на верхней и нижней концевых пластинах в передней, средней и задней частях тела позвонка (рис. 15).

В дополнение к морфометрическим методам относят полуколичественные методы (SQ) обнаружения изменения формы и размеров позвонков. При использовании SQ компрессионным переломам позвонков присваиваются баллы или, иначе говоря, их относят к отдельным категориям в соответствии с их формой и тяжестью деформации. Первоначально ранжируются позвонки с наиболее тяжелой деформацией.

Таким образом, чтобы избежать размытости и формальной гипердиагностики по данным рентгеновских методов, включая КТ, следует указывать переломы 2–3 степени (с деформацией тел позвонка более 25%), отмечая данные находки в описании и заключении.

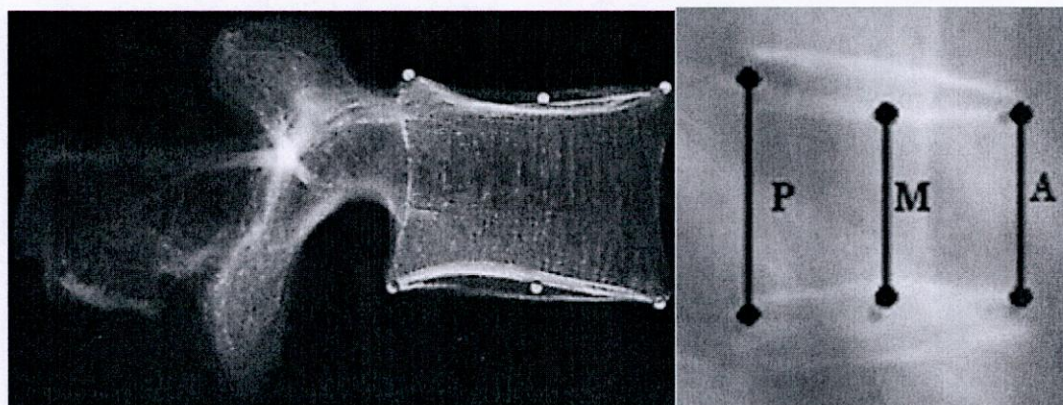


Рисунок 15 – Размещение шести точек на верхней и нижней концевых пластинах в передней, средней и задней частях тела позвонка (А – передняя часть, М – средняя часть и Р – задняя часть тела позвонка)

Качественный метод основан на получении данных и формировании структурированного алгоритма, с акцентом на исследовании позвоночника

и выявлении низкоэнергетических переломов. При использовании качественного метода предлагаются алгоритм, направленный на оказание помощи больному, и интерпретация клинициста при дифференциации переломов от деформаций.

Развивается направление применения искусственного интеллекта (ИИ) для оценки наличия компрессионного перелома и дифференцировки степени перелома. В работе С. Деркач и соавторов (S. Derkach et al.) [46] представлена идентификация компрессионных переломов позвонков с использованием сверточных нейронных сетей по данным денситометрии, выполненной в боковой проекции (см. выше методику VFA), характеризующаяся показателем площади под кривой (Area Under Curve – AUC), равным 0,94 с чувствительностью 87,4% и специфичностью 88,4%. Локализация деформации производилась с помощью тепловых карт (рис. 16).

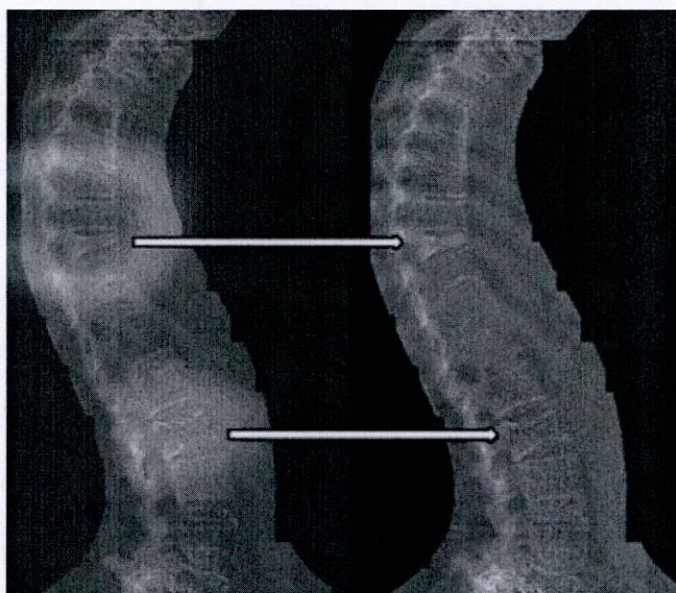


Рисунок 16 – Тепловая карта показывает деформации позвонков разной степени выраженности [46]

Существуют методики оценки статических нарушений позвоночника, предоставляющие косвенную информацию относительно нарушений, обусловленных остеопорозом [47–49].

Так, ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» совместно со Сколковским институтом науки и технологий (Сколтех) разработали двухэтапный алгоритм, нацеленный на определение компрессионных переломов тел грудных и поясничных позвонков по данным компьютерной томографии органов грудной клетки. Алгоритм может выступать в качестве эксперта: в 3D-модели локализует место деформации со средней ошибкой менее 1 мм, обнаруживает позвонки в 2D-модели с точностью 0,99 и идентифицирует компрессионные переломы на высоком уровне значимости (AUC ROC-кривой для пациентов и позвонков составляет 0,93) [50].

3. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕНСИТОМЕТРИИ

3.1. Определение T- и Z-критерия

В современной клинической практике индивидуальная МПК сравнивается с референсной базой. Наиболее распространенная база – полученная по данным третьего исследования национального здоровья и питания (NHANES III). Чтобы исключить влияние разницы методов измерения МПК на разном оборудовании, используют такие методы оценки, как T- и Z-критерий.

T-критерий – разница между измеренным значением МПК и средним показателем пика костной массы молодых женщин в возрасте 20–29 лет. Результат сравнения представляется в стандартном отклонении. T-критерий используется только для женщин в постменопаузе и мужчин старше 50 лет (таблица 2).

Таблица 2 – Диагностика остеопороза на основании снижения МПК согласно критериям ВОЗ для женщин в постменопаузе и мужчин старше 50 лет

Классификация	МПК	T-критерий
Норма	В пределах 1 СКО от среднего значения у молодых представителей здоровой популяции	T-критерий -1,0 и выше
Остеопения	От 1,0 до 2,5 СКО ниже среднего значения по сравнению с молодыми представителями здоровой популяции	T-критерий от -1,0 до -2,5
Остеопороз	На 2,5 СКО или ниже среднего значения у молодых представителей здоровой популяции	T-критерий -2,5 и ниже
Тяжелый остеопороз	На 2,5 СКО или ниже среднего значения у молодых представителей здоровой популяции	T-критерий -2,5 и ниже с наличием одного или более переломов

Значение T-критерия при диагностике ОП по критериям ВОЗ менее - 2,5 среднеквадратических отклонений (СКО) в одном из трех регионов центральной денситометрии соответствует наличию остеопороза. Такое значение регистрируется приблизительно у 30% женщин в постменопаузальном периоде, что сопоставимо со средним пожизненным риском возникновения патологических переломов при остеопорозе (позвочника, бедренной кости и предплечья).

При этом диагноз «остеопороз» может быть установлен, если хотя бы в одном из регионов центральной денситометрии (позвочник, шейка бедренной кости, проксимальный отдел бедренной кости) показатель МПК снижен более, чем на минус 2,5 СКО [1,7].

Z-критерий – разница между измеренным значением МПК и средним показателем МПК у здоровых мужчин и женщин аналогичного возраста. Результат сравнения представляется в стандартном отклонении. Применение Z-критерия является предпочтительным при необходимости подготовки заключения по данным МПК у женщин в предменопаузальном периоде и у мужчин моложе 50 лет.

Необходимо учитывать, что:

– Z-критерий более $-2,0$ СКО определяется как «ниже ожидаемого значения для данного возраста», а Z-критерий менее $-2,0$ СКО «находится в пределах ожидаемого диапазона для данного возраста».

– Остеопороз не может быть диагностирован у мужчин моложе 50 лет на основе только МПК.

3.2. Определение точности и воспроизводимости денситометрических исследований

Точное определение МПК необходимо для корректной постановки диагноза «остеопороз», начала антирезорбтивной терапии с целью профилактики переломов. С помощью денситометрии осуществляется также контроль за проводимым лечением и мониторинг возрастных изменений. При проведении ДРА регистрируются показатели минерального содержимого кости (МСК), площадь зоны интереса, затем проводится расчет МПК как отношение МСК к площади исследуемой зоны.

Для оценки точности проводимых денситометрических исследований используются два основных показателя: относительная погрешность (accuracy) и воспроизводимость (precision) [7, 8]. Показатель воспроизводимости более важен, чем относительная ошибка, поскольку позволяет оценить техническую стабильность работы оборудования во времени. В клинической практике также большее значение уделяется оценке воспроизводимости, т. к. она демонстрирует, насколько значимы выявленные изменения МПК у пациентов при повторном измерении (например, в ходе лечения или возрастных изменений). Выделяют кратковременную воспроизводимость (short term precision) – стабильность измерений сканера в течение одного рабочего дня (или в течение одной недели) и долговременную воспроизводимость (long term precision) – в течение большего промежутка времени (несколько месяцев, годы) [53].

Рассчитывается среднее значение и СКО по результатам многократного сканирования фантома. В дальнейшем проводится оценка показателей точности путем расчета воспроизводимости – коэффициента вариации (CV) по формуле 1 и относительной ошибки (ϵ) по формуле 2.

$$CV\% = \frac{\text{СКО}}{\text{среднее}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\varepsilon\% = \frac{\text{измеренное} - \text{заданное}}{\text{заданное}} \times 100\% \quad (2)$$

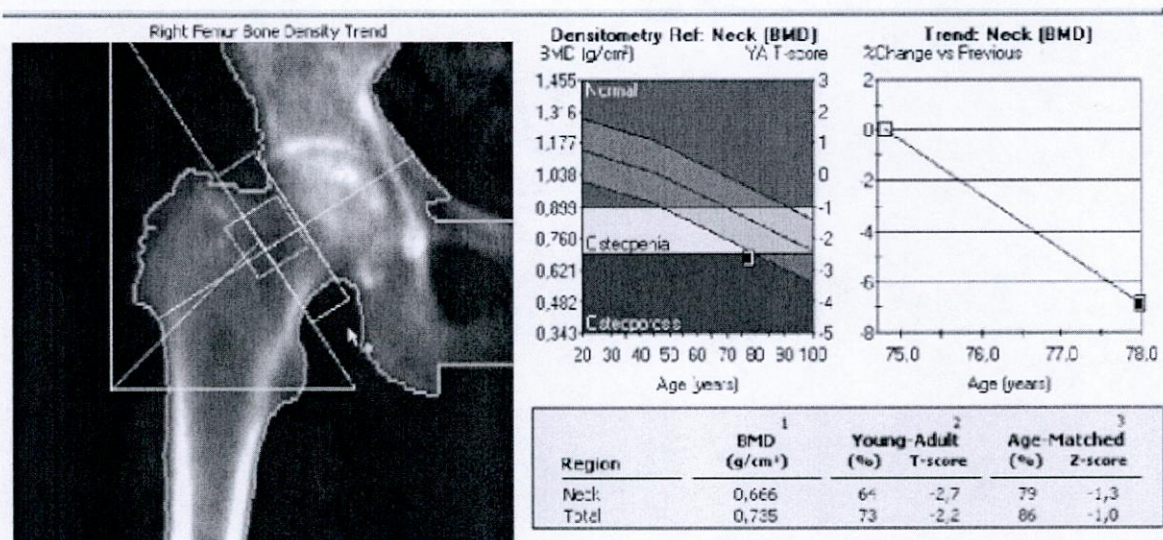
3.3. Оценка динамики изменений

Оценка наименьшего значимого изменения (least significant change, LSC) – показатель, определяющий достоверный диапазон статистически значимых различий (95%-доверительный интервал, ДИ) при повторных измерениях (<https://www.iscd.org/resources/faqs/precision-assessment/>).

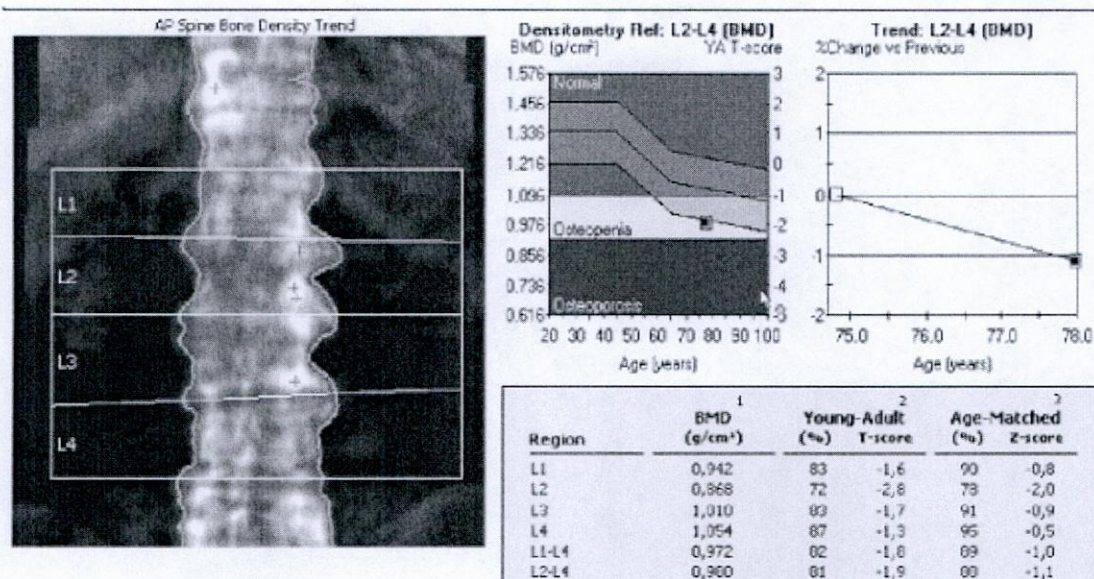
Показатель LSC необходим для оценки динамики изменений МПК. Показатель LSC в 2,77 раз превышает воспроизводимость измерений (CV), то есть если у ДРА-сканера воспроизводимость составляет 1%, то LSC будет равно 2,77% [54].

Значения для конкретного сканера необходимо уточнять совместно с производителем оборудования. Также сообществом ISCD предлагаются методы самостоятельной оценки показателя LSC. Например, проводится двукратное сканирование 30 пациентов, и по результатам значений МПК оценивается CV (формула 1) и рассчитывается LSC. При сравнении результатов в динамике на разных сканерах необходимо предварительно кросс-калибровочное сравнение LSC (GLSC).

На рисунке 17 приведены примеры анализа результатов ДРА-исследования в динамике с учетом предварительно рассчитанного значения LSC (3%).



a)



б)

Рисунок 17 – Примеры анализа результатов исследований в динамике при учете показателя LSC = 3 %: а) значимые изменения МПК в области шейки бедра; б) незначимые изменения МПК в области поясничных позвонков L2–L4

Анализ значения снижения МПК у пациента в области шейки бедра в 6,3%, указанного на графике тренда справа вверху (рис. 17, а). Данное значение превышает LSC, поэтому снижение следует считать серьезным. При анализе данных МПК поясничного отдела позвоночника значимых изменений выявлено не было (рис. 17, б), т. к. величина снижения МПК в динамике составила 1,1%, что меньше LSC=3%.

4. МАРШРУТИЗАЦИЯ ПАЦИЕНТОВ НА ОСТЕОДЕНСИТОМЕТРИЮ

4.1. Показания к проведению денситометрии

Денситометрия бедра и позвоночника может быть использована для следующих целей [1]:

1) для установки или подтверждения диагноза остеопороза, согласно рекомендациям ВОЗ 1994 года, для инициирования начала лечения

2) в качестве уточняющего фактора при расчете риска переломов в зависимости от степени снижения МПК в инструменте FRAX.

3) для наблюдения за динамикой возрастных изменений минеральной плотности кости, а также оценки динамики МПК на фоне терапии остеопороза.

На основании анализа рекомендаций ISCD 2019 и действующих Федеральных клинических рекомендаций [1] показания для проведения денситометрии с учетом деления на возрастные группы можно определить, следующим образом (таблица 3):

Таблица 3 – Показания для проведения денситометрии

Показания для проведения денситометрии	
1	Женщины старше 65 лет и мужчины старше 70 лет
2	Взрослые, мужчины и женщины, вне зависимости от возрастной категории, у которых отмечены: <ul style="list-style-type: none">– снижение массы тела;– предшествующий низкоэнергетический переломом;– применение препаратов, снижающих минеральную плотность кости;– заболевание или состояние, связанное с потерей костной массы, включая вторичный остеопороз А также: <ul style="list-style-type: none">– при инициировании фармакологической терапии остеопороза;– для контроля лечения остеопороза;– те, кто не получает терапию остеопороза, но у кого есть показания к лечению
3	Дополнительные условия вне зависимости от возрастной категории: <ul style="list-style-type: none">– женщинам, прекратившим эстрогеновую терапию, при назначении денситометрии следует руководствоваться правилами, перечисленными выше;– при назначении денситометрии следует руководствоваться результатами, полученными при использовании инструмента FRAX

Таким образом, направления пациентов, достигших определенного возраста (65 лет у женщин и 70 лет у мужчин), на денситометрию позволяет выявить пациентов с первичным остеопорозом.

Показанием является также вторичный остеопороз, развившийся вследствие определенных заболеваний или состояний, а также приема лекарственных средств, т.е. имеется причина, приводящая к остеопорозу. К таким *причинам* относят следующие (приведено согласно [1] с сокращениями, полный перечень указан в тексте руководства):

– *фактор образа жизни*: избыток витамина А, выраженный дефицит массы тела, резкая потеря массы тела, нарушения питания, низкое потребление кальция, дефицит витамина D, переизбыток соли в рационе;

– *генетические заболевания*: муковисцидоз, синдром Элерса–Данло, Болезнь Гоше и другие;

– *гипогонадные состояния*: нечувствительность к андрогенам, нервная анорексия, аменорея атлетов, гиперпролактинемия, пангипопитуитаризм, преждевременная менопауза (<40 лет), синдромы Тернера и Клайнфельтера;

– *эндокринные нарушения*: акромегалия, эндогенный гиперкортицизм, сахарный диабет (СД) 1-го и 2-го типа и другие;

– *желудочно-кишечные нарушения*: целиакия, желудочный шунт, хирургические вмешательства на желудочно-кишечном тракте и другие;

– *гематологические нарушения*: гемофилия, лейкомия и лимфомы и другие;

– *ревматологические и аутоиммунные заболевания*: анкилозирующий спондилит, ревматоидный артрит, системная красная волчанка;

– *неврологические и костно-мышечные факторы риска*: эпилепсия, мышечная дистрофия, болезнь Паркинсона, повреждение спинного мозга, инсульт;

– *другие состояния и заболевания*: СПИД/ВИЧ-инфекция, хроническая обструктивная болезнь легких, амилоидоз, хронический метаболический ацидоз, застойная сердечная недостаточность, иммобилизация, алкоголизм, терминальная почечная недостаточность, гиперкальциурия, идиопатический сколиоз, посттрансплантационная костная болезнь, саркоидоз;

– *лекарственные средства*: алюминий (в составе антацидов), антикоагулянты (гепарин), антиконвульсанты, ингибиторы ароматазы, барбитураты, противоопухолевые препараты, депо-медроксипрогестерон (пременопаузальная контрацепция), глюкокортикоиды (≥ 5 мг/сут преднизолон или эквивалентной дозы в течение ≥ 3 мес), метотрексат, парентеральное питание, ингибиторы протонной помпы, тамоксифен (использование в менопаузе) и другие.

Также следует отметить, что гипофосфатазия, несовершенный остеогенез, гиперпаратиреоз, множественная миелома относятся к метаболическим заболеваниям с преимущественным поражением скелета и поэтому могут рассматриваться как самостоятельные заболевания [1].

4.2. Порядок отбора пациентов для проведения денситометрии

Независимо от причин обращения к врачу денситометрия должна быть рекомендована всем женщинам старше 65 лет и мужчинам старше 70 лет. После достижения указанного возраста денситометрия становится методом скрининга при профилактике остеопороза.

В зависимости от результатов исследования определяется периодичность выполнения данной процедуры: при значениях, не выходящих за рамки нормы, исследование рекомендуется проходить 1 раз в 3 года. При выявлении отклонения от нормальных значений (остеопения либо остеопороз) периодичность исследований надлежит сократить до 1 раза в год с учетом рекомендации клинициста.

Учитывая множество причин, вызывающих остеопороз, надо отметить пациентов, которым необходимо проведение денситометрии, со следующими заболеваниями по МКБ-10 [55].

Клиницисты, использующие электронные медицинские карты (для г. Москвы – Единая медицинская информационно-аналитическая система, ЕМИАС), должны проводить назначения через данные системы и с учетом имеющихся в них кодов.

Для корректного направления пациента на денситометрию необходимо использовать следующие коды диагнозов по МКБ-10.

Коды по МКБ-10 для направления на остеоденситометрию

Остеопороз с патологическим переломом (M80)

M80.0 – Постменопаузный остеопороз с патологическим переломом.

M80.1 – Остеопороз с патологическим переломом после удаления яичников.

M80.2 – Остеопороз с патологическим переломом, вызванный обездвиженностью.

M80.3 – Постхирургический остеопороз с патологическим переломом, вызванный нарушением всасывания в кишечнике.

M80.4 – Лекарственный остеопороз с патологическим переломом (болезни, требующие лечения препаратами, вызывающими остеопороз, могут дополнить данный список).

M80.5 – Идиопатический остеопороз с патологическим переломом.

M80.8 – Другой остеопороз с патологическим переломом.

M80.9 – Остеопороз с патологическим переломом неуточненный.

Остеопороз без патологического перелома (M81)

M81.0 – Постменопаузный остеопороз.

M81.1 – Остеопороз после удаления яичников.

M81.2 – Остеопороз, вызванный обездвиженностью.

M81.3 – Постхирургический остеопороз, вызванный нарушением всасывания.

M81.4 – Лекарственный остеопороз.

M81.5 – Идиопатический остеопороз.

M81.6 – Локализованный остеопороз (Лекена), исключена: атрофия Зудека (M89.0).

M81.8 – Другие остеопорозы (старческий остеопороз).

M81.9 – Остеопороз неуточненный.

Остеопороз при болезнях, классифицированных в других рубриках (M82)

M82.0 – Остеопороз при множественном миеломатозе.

M82.1 – Остеопороз при эндокринных нарушениях (E00 – E34+).

M82.8 – Остеопороз при других болезнях, классифицированных в других рубриках.

4.3. Возможности остеоденситометрии в контексте организации скрининга остеопороза с использованием ЕРИС ЕМИАС

Наиболее значимыми клиническими осложнениями ОП являются низкоэнергетические переломы (прежде всего переломы шейки бедренной кости), которые сопровождаются существенными расходами на их лечение и последующую реабилитацию. Медицинские и сопутствующие расходы на лечение и реабилитацию пациентов с низкоэнергетическими переломами вследствие ОП в России ориентировочно составляют 25 млрд рублей, при этом затраты на лечение самого ОП в общей структуре стоимости – около 7% [56].

В настоящее время денситометрия должна проводиться по показаниям, а также женщинам старше 65 лет и мужчинам старше 70 лет, что составляет около 1,5 млн чел. в Москве. Однако, несмотря на наличие нескольких методик исследований, по-прежнему отсутствует единый подход к диагностике ОП и оценке риска низкоэнергетических переломов. Представляется важным создать единую для врачей различных специализаций систему подхода к профилактике, диагностике ОП, его лечению, включая контроль эффективности.

Наиболее эффективна организация скрининга с предварительной оценкой 10-летней вероятности возникновения основных переломов с использованием инструмента FRAX и последующей денситометрией пациентам, у которых риск определен между нижней и верхней границами вероятности перелома [33]. Более детально алгоритм назначения исследований на денситометрию при проведении скрининга остеопороза представлен в соответствующем приложении Федерального руководства по остеопорозу [1]. Примеры стандартизированных протоколов описаний и заключений по результатам выполненных денситометрических исследований представлены в приложении к данным методическим рекомендациям.

5. Требования к безопасности

Учитывая то, что рентгеновский денситометр (ДРА) относится к оборудованию с источником ионизирующего излучения (в качестве излучателя используется рентгеновская трубка), требования к размещению рентгеновского денситометра аналогичны требованиям к стационарным рентгеновским аппаратам и регламентируются СанПиН 2.6.1.1192-03.

При осуществлении сканирования необходимо строго следовать методике проведения исследования, обеспечивая минимизацию лучевой нагрузки.

При проведении других видов остеоденситометрии (ККТ) необходимо следовать указаниям фирмы производителя медицинского оборудования, минимизируя лучевую нагрузку. Остальные требования безопасности соответствуют методикам проведения компьютерной томографии [57].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данных методических рекомендациях описаны основные методологии оценки минеральной плотности кости: двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, ДРА (DXA), количественная компьютерная томография, ККТ (QCT), количественное ультразвуковое исследование. Также приводятся описания инструмента FRAX, дополнительных технологий оценки костного здоровья и методов выявления компрессионных переломов позвоночника по данным рентгеновских исследований.

Настоящие методические рекомендации предназначены для помощи профильным специалистам в выборе методологии исследования, а также будут способствовать стандартизации методики проведения денситометрических исследований, подготовке протоколов описания исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мельниченко Г.А., Белая Ж.Е., Рожинская Л.Я. [и др.]. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза // Проблемы эндокринологии. 2017. Т. 63, № 6. С. 392–426.
2. Лесняк О.М., Беневоленская Л.И. Остеопороз в Российской Федерации: проблемы и перспективы // Научно-практическая ревматология. 2010. №5. С. 14–18.
3. Kanis J. A. Assessment of osteoporosis at the primary health care level. Report of a WHO Scientific Group. World Health Organization. UK: University of Sheffield, 2007. 339 с.
4. Лесняк О.М., Баранова И.А., Белова К.Ю. [и др.]. Остеопороз в Российской Федерации: эпидемиология, медико-социальные и экономические аспекты проблемы (обзор литературы) // Травматология и ортопедия России. 2018. Т. 24, № 1. С. 155–168.
5. Kanis J.A. Assessment of osteoporosis at the primary health-care level. Technical Report. UK, 2008.
6. Cosman F., de Beur S. J., LeBoff M. S. et al, Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis // Osteoporos. Int. Springer London, 2014. Т. 25, № 10. С. 2359–2381.
7. 2019 ISCD Official Positions – Adult – International Society for Clinical Densitometry (ISCD). URL: <https://www.iscd.org/official-positions/2019-iscd-official-positions-adult> (дата обращения: 06.10.2020).
8. Скрипникова И.А., Щеплягина Л.А., Новиков В.Е. [и др.]. Возможности костной рентгеновской денситометрии в клинической практике: методические рекомендации. М., 2010. С. 1–36.
9. Лесняк О.М., Ершова О.Б., Белова К.Ю. [и др.]. Эпидемиология остеопоротических переломов в Российской Федерации и российская модель FRAX // Остеопороз и остеопатии. 2014. №3. С. 3–8.
10. Никитинская О.А., Торопцова Н.В. Оценка 10-летней вероятности остеопоротических переломов с помощью российской модели FRAX в популяционных выборках 5 регионов России // Медицинский совет. 2017. №1S С. 103–107.
11. Лесняк О.М. Новая парадигма в диагностике и лечении остеопороза // Остеопороз и остеопатии. 2012. №1. С. 23–28.
12. Ziemelewiecz T.J., Binkley N., Pickhardt P.J. Opportunistic Osteoporosis Screening: Addition of Quantitative CT Bone Mineral Density Evaluation to CT Colonography // J. Am. Coll. Radiol. Elsevier. 2015. Vol. 12, № 10. P. 1036–1041.
13. Торопцова Н.В., Баранова И.А., Лесняк О.М. Рекомендации по применению российской модели FRAX® для определения 10-летней вероятности остеопоротических переломов // Фарматека. 2016. №S3–16. С. 10–14.

14. Vasikaran S., Eastell R., Bruyère O. et al. Markers of bone turnover for the prediction of fracture risk and monitoring of osteoporosis treatment: A need for international reference standards // *Osteoporos. Int.* 2011. Vol. 22, № 2. P. 391–420.
15. McCreedy R., Gnanasegaran G., Vomanji J.B. *A History of Radionuclide Studies in the UK.* Springer, Cham, 2016.
16. Рубин М.П., Чечурин Р.Е. Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия осевого скелета: методика исследования, анализа и протоколирования // *Радиология – практика.* 2001. №2. С. 34–41.
17. Link T.M. Osteoporosis Imaging: State of the Art and Advanced Imaging // *Radiology.* 2012. Vol. 263, № 1. P. 3–17.
18. Рубин М.П. Преимущества и недостатки рентгеновской двухэнергетической остеоденситометрии в диагностике остеопороза // *Радиология – практика.* 2009. №3. С. 12–20.
19. Madiyeva M.R., Raissov D.T., Kyanusheva A.G. et al. History of development and relevant issues of computer tomography / История развития и актуальные вопросы компьютерной томографии // *Наука и здравоохранение.* 2019. № 4. С. 100–105.
20. Whitehouse R.W., Adams J.E. Single energy quantitative computed tomography: The effects of phantom calibration material and kVp on QCT bone densitometry // *Br. J. Radiol.* 1992. Vol. 65, № 778. P. 931–934.
21. Власова И.С., Терновой С.К., Сорокин А.Д. [и др.]. Возрастные изменения минеральной плотности позвонков в норме у российской популяции // *Вестник рентгенологии и радиологии.* 1998. № 6. С. 28–33.
22. Сергунова К.А., Петряйкин А.В., Смирнов А.В. [и др.]. Контроль и стандартизация данных при количественной компьютерной томографии // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». 2019. Вып. 38. 28 с.
23. The American College of Radiology. ACR–SPR–SSR Practice Parameter for the Performance of Musculoskeletal Quantitative Computed Tomography (Qct). 2018. Vol. 1076. P. 6.
24. Brett A.D., Brown J.K. Quantitative computed tomography and opportunistic bone density screening by dual use of computed tomography scans // *J. Orthop. Transl. Elsevier Ltd,* 2015. Vol. 3, № 4. P. 178–184.
25. Гомболевский В.А., Масри А.Г., Ким С.Ю. [и др.]. Руководство для лаборантов по выполнению протоколов исследований на компьютерном томографе: методические рекомендации // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». 2017. Вып.12. 61 с.
26. Bauer J.S., Henning T.D., Müller D. et al. Volumetric Quantitative CT of the Spine and Hip Derived from Contrast-Enhanced MDCT: Conversion Factors // *Am. J. Roentgenol. American Roentgen Ray Society,* 2007. Vol. 188, № 5. P. 1294–1301.
27. Ziemlewicz T.J., Maciejewski A., Binkley N. et al. Direct comparison of unenhanced and contrast-enhanced CT for opportunistic proximal femur bone mineral density measurement: Implications for osteoporosis screening // *Am. J. Roentgenol.* 2016. Vol. 206, № 4. P. 694–698.

28. Петряйкин А.В., Иванов Д.В., Ахмад Е.С. [и др.]. Фантомное моделирование для подбора оптимальных фильтров реконструкции в количественной компьютерной томографии // Медицинская физика. 2020. № 2. С. 34–44.
29. Hans D., Krieg M.A. Quantitative ultrasound for the detection and management of osteoporosis // *Salud Publica Mex.* 2009. Vol. 51, № SUPPL.1.
30. ISCD. Adult Official Positions of the ISCD: 2015 // *Int. Soc. Clin. Densitom.* 2015. URL: <http://www.iscd.org/official-positions/2015-iscd-o> (дата обращения: 06.10.2020).
31. Olszynski W., Hanley D. A., Brown J. et al. Discordance between bone mineral density and speed of sound measures of bone: the Canadian Multicentre Osteoporosis study // *Bone Abstr. Bioscientifica*, 2014. P. 224–241
32. Hans D., Baim S. Quantitative Ultrasound (QUS) in the Management of Osteoporosis and Assessment of Fracture Risk // *J. Clin. Densitom.* Elsevier Inc., 2017. Vol. 20, № 3. P. 322–333.
33. Клинические рекомендации. Остеопороз. МКБ 10: M80.0/M81.0/M82.1. М.: Минздрав России, 2016. С. 1–104.
34. Lessmann N., van Ginneken B., de Jong P.A. et al. Iterative fully convolutional neural networks for automatic vertebra segmentation and identification // *Med. Image Anal.* Elsevier B.V., 2019. Vol. 53. P. 142–155.
35. Bousson V., Bergot C., Sutter B. et al. Trabecular bone score (TBS): Available knowledge, clinical relevance, and future prospects // *Osteoporosis International.* 2012. Vol. 23, № 5. P. 1489–1501.
36. Valentinitsch A., Trebeschi S., Kaesmacher J. et al. Opportunistic osteoporosis screening in multi-detector CT images via local classification of textures // *Osteoporos. Int.* Springer London, 2019. Vol. 30, № 6. P. 1275–1285.
37. Valentinitsch A., Trebeschi S., Alarcón E. et al. Regional analysis of age-related local bone loss in the spine of a healthy population using 3D voxel-based modeling // *Bone.* Elsevier Inc., 2017. Vol. 103. P. 233–240.
38. Zysset P., Qin L., Lang Th. et al. Clinical Use of Quantitative Computed Tomography-Based Finite Element Analysis of the Hip and Spine in the Management of Osteoporosis in Adults: The 2015 ISCD Official Positions-Part II // *J. Clin. Densitom.* Elsevier Ltd, 2015. Vol. 18, № 3. P. 359–392.
39. Adams J.E., Lenchik L., Roux Ch. Radiological Assessment of Vertebral Fracture. 48 p.
40. Genant H.K., Bouxsein M.L. Vertebral Fracture Initiative: Executive Summary. March 2011. P. 10–13.
41. Genant H.K., Wu C.Y., van Kuijk C. et al. Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique // *J. Bone Miner. Res.* 1993. Vol. 8, № 9. P. 1137–1148.
42. Carberry G.A., Pooler B. D., Binkley N. et al. Unreported vertebral body compression fractures at abdominal multidetector CT // *Radiology.* 2013. Vol. 268, № 1. P. 120–126.
43. Williams A.L., Al-Busaidi A., Sparrow P.J. et al. Under-reporting of osteoporotic vertebral fractures on computed tomography // *Eur. J. Radiol.* 2009.

Vol. 69, № 1. P. 179–183.

44. Alacreu E., Moratal D., Arana E. Opportunistic screening for osteoporosis by routine CT in Southern Europe // *Osteoporos. Int.* Springer London, 2017. Vol. 28, № 3. P. 983–990.

45. Pooler B.D., Pickhardt P.J., Munoz del Rio A. et al. Opportunistic screening for osteoporosis using abdominal computed tomography scans obtained for other indications // *Ann. Intern. Med.* 2013. Vol. 158, № 8. P. 588–595.

46. Derkatch S., Kirby Ch., Kimelman D. et al. Identification of vertebral fractures by convolutional neural networks to predict nonvertebral and hip fractures: A Registry-based Cohort Study of Dual X-ray Absorptiometry // *Radiology.* 2019. Vol. 293, № 2. P. 404–411.

47. Макиров С.К., Юз А.А., Джахаф М.Т. Методика оценки параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса // *Хирургия позвоночника.* ANO Clinic of NNITO, 2015. Т. 12, № 3. С. 55–63.

48. Шнайдер Л.С., Павлов В.В., Крутько А.В. [и др.]. Изменения позвоночно-тазового баланса после эндопротезирования тазобедренного сустава у пациентов с врожденным вывихом бедра // *Хирургия позвоночника.* Association of Spine Surgeons, 2018. Т. 15, № 4. С. 80–86.

49. Шнайдер Л.С., Павлов В.В., Крутько А.В. [и др.]. Сагиттальные позвоночно-тазовые взаимоотношения у пациентов с дисплазией тазобедренного сустава Crowe IV ст. по данным сагиттальных рентгенограмм // *Современные проблемы науки и образования.* 2016. № 6. P. 39.

50. Pisov M., Kondratenko V., Zakharov A. et al. Keypoints localization for joint vertebra detection and fracture severity quantification: International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. 2020. September 29. P. 1–10.

51. Glüer C.-C., Blake G., Lu Y. et al. Accurate assessment of precision errors: How to measure the reproducibility of bone densitometry techniques // *Osteoporos. Int.* 1995. Vol. 5, № 4. P. 262–270.

52. Wang L., Su Y., Wang Q. et al. Validation of asynchronous quantitative bone densitometry of the spine: Accuracy, short-term reproducibility, and a comparison with conventional quantitative computed tomography // *Scientific Reports.* 2017. Vol. 7. P. 1–7.

53. Blake G.M., Fogelman I. Technical principles of dual energy x-ray absorptiometry // *Semin. Nucl. Med.* 1997. Vol. 27, № 3. P. 210–228.

54. Diez-Perez A., Adachi J. D., Agnusdei D. et al. Treatment failure in osteoporosis // *Osteoporos. Int.* 2012. Vol. 23, № 12. P. 2769–2774.

55. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Международная классификация болезней МКБ-10. 10-е изд. 1990.

56. Lesnyak O.M., Baranova I.A., Belova K.Yu. et al. Osteoporosis in Russian Federation: Epidemiology, Socio-Medical and Economical Aspects (Review) // *Traumatol. Orthop. Russ.* 2018. Vol. 24, № 1. P. 155–168.

57. Marshall D., Johnell O., Wedel H. Meta-analysis of how well measures of bone mineral density predict occurrence of osteoporotic fractures // *Br. Med. J.* BMJ Publishing Group, 1996. Vol. 312, № 7041. P. 1254–1259.

СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЕ ПРОТОКОЛЫ ЗАКЛЮЧЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Рентгенография-денситометрия тазобедренных суставов и поясничного отдела позвоночника

Пример

1. Поясничный отдел позвоночника.
Поясничные позвонки: L1–L4.
Среднее значение МПК составило 0,916 г/см².
Т-критерий – 2,2 СКО.

2. Проксимальный отдел бедра.
Бедренная кость: левая.
Шейка бедренной кости (femoral neck).
Значение МПК составило 0,727 г/см².
Т-критерий – 2,3 СКО.

Проксимальный отдел бедра в целом (total hip).
Значение МПК составило 0,810 г/см².
Т-критерий – 1,6 СКО.

3. Дополнительные находки: не выявлены.

4. Оценка динамики минеральной плотности.
Проводилась: нет.

5. Дополнительная информация.

6. Заключение.

Позвоночник: остеопения.
Проксимальный отдел бедра в целом: остеопения.
Шейка бедренной кости: остеопения.

Заключение: по данным измерения МПК в трех регионах центральной денситометрии состояние соответствует остеопении, рекомендовано обращение к лечащему врачу.

Требуется дообследование: нет.

2. Компьютерная томография с оценкой минеральной плотности кости (КТ-денситометрия)

1. Поясничный отдел позвоночника.

Поясничные позвонки: L1–L2.

Среднее значение МПК составило 100 мг/см³.

2. Проксимальный отдел бедра.

Бедренная кость: левая.

Шейка бедренной кости (femoral neck).

Значение МПК составило 0,727 г/см².

T-критерий – 2,2 СКО.

Проксимальный отдел бедра в целом (total hip).

Значение МПК составило 0,810 г/см².

T критерий – 1,6 СКО.

3. Дополнительные находки:

Выявлен компрессионный перелом позвонка Th12.

4. Оценка динамики минеральной плотности.

Проводилась: нет.

5. Дополнительная информация.

6. Заключение:

Позвоночник: состояние соответствует остеопении (по критериям ACR).

Проксимальный отдел бедра в целом: состояние соответствует остеопении.

Шейка бедренной кости: состояние соответствует остеопении.

Заключение: по данным измерения МПК в трех регионах центральной денситометрии состояние соответствует остеопении, однако с учетом выявленного компрессионного перелома Th12 – состояние соответствует остеопорозу.

7. Рекомендована консультация лечащего врача.

Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»

Выпуск 88

Составители:

Петряйкин Алексей Владимирович
Низовцова Людмила Арсеньевна
Артюкова Злата Романовна
Ахмад Екатерина Сергеевна
Лобанов Михаил Николаевич
Ледихова Наталья Владимировна
Сергунова Кристина Анатольевна
Семенов Дмитрий Сергеевич
Смирнов Алексей Владимирович
Васильев Юрий Александрович
Владзимирский Антон Вячеславович
Морозов Сергей Павлович

ОСТЕОДЕНСИТОМЕТРИЯ

Методические рекомендации

2-е издание, переработанное и дополненное

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

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