

ОПОРТУНИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ КОСТИ ПО ДАННЫМ РУТИННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ВТОРИЧНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ ХРУПКИХ ПЕРЕЛОМОВ У ПОЖИЛЫХ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Умаров А.А., Рахмонов У.У.

Самаркандский филиал Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра травматологии и ортопедии,

Самарканд

Гуломов И.И.

*Самаркандского Государственного Медицинского университета,
Самарканд, Узбекистан.*

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Хрупкий (низкоэнергетический) перелом у пациента старше 50 лет является наиболее сильным независимым предиктором последующего перелома, однако доля таких пациентов, у которых после индексного события выполняется денситометрия и инициируется антиостеопоротическая терапия, остаётся низкой во всех системах здравоохранения. Одновременно значительная часть пожилых пациентов ежегодно проходит компьютерную томографию (КТ) органов грудной клетки, брюшной полости и таза по показаниям, не связанным с костной системой. Эти исследования уже содержат количественную информацию о плотности губчатой кости, которая в рутинной практике не используется.

Цель. Систематизировать доказательства диагностической точности, прогностической ценности, экономической эффективности и барьеров внедрения оппортунистической оценки минеральной плотности кости (МПК) по данным рутинной КТ у пациентов пожилого возраста применительно к задаче вторичной профилактики хрупких переломов.

Материалы и методы. Систематический обзор выполнен в соответствии с рекомендациями PRISMA 2020. Проведён поиск в базах данных PubMed/MEDLINE, Embase, Cochrane Library, Scopus и eLIBRARY.RU за период с января 2010 г. по июнь 2026 г. Включались оригинальные исследования диагностической точности, когортные исследования с оценкой инцидентных переломов, анализы экономической эффективности и работы по внедрению, посвящённые измерению рентгеновской плотности губчатой кости позвонков (в единицах Хаунсфилда, HU) или фантом-независимой количественной КТ (QCT) на изображениях, полученных по внекостным показаниям. Риск систематической ошибки оценивали при помощи инструментов QUADAS-2 (исследования точности), QUIPS (прогностические исследования) и CHEERS 2022 (экономические анализы). В связи с

выраженной клинической и методологической гетерогенностью выполнен структурированный качественный синтез без метаанализа объединённых оценок точности.

Результаты. Критериям включения соответствовали публикации, охватывающие свыше 25 000 пациентов в исследованиях диагностической точности и более 20 000 — в нормативных когортах. Плотность губчатой кости тела L1, измеренная на аксиальном срезе, воспроизводимо разграничивает остеопороз и нормальную МПК: порог ≤ 160 HU обеспечивает чувствительность около 90 %, порог ≤ 110 HU — специфичность более 90 % относительно DXA как референсного метода; отрицательная прогностическая ценность при значениях >200 HU достигает 99 %. Плотность L1 независимо предсказывает будущие переломы: отношение рисков составляет 0,63 на каждые 10 HU прироста (95 % ДИ 0,47–0,85) после поправки на возраст, пол, предшествующий перелом, приём глюкокортикоидов и другие клинические факторы; значения ≤ 90 HU ассоциированы со значимым снижением выживаемости без перелома. Компрессионные переломы тел позвонков, отчётливо визуализируемые на рутинных КТ, систематически не отражаются в протоколах исследования. По данным анализа базы Medicare, 22,7 % получателей помощи не проходили DXA, но имели как минимум одно КТ-исследование, включавшее тело L1. Экономические модели оппортунистического скрининга демонстрируют затраты в диапазоне, существенно ниже принятых порогов готовности платить.

Заключение. Оппортунистическая оценка МПК по рутинной КТ обладает достаточной диагностической и прогностической состоятельностью, не требует дополнительного облучения, визитов и затрат на получение изображений и логично встраивается в модель службы профилактики повторных переломов. Основным препятствием является не техническая, а организационная составляющая: отсутствие обязательного измерения в протоколе описания и отсутствие формализованного маршрута пациента от радиологического заключения к назначению терапии. Приоритетными направлениями дальнейших исследований являются проспективная валидация пороговых значений на неамериканских популяциях, стандартизация измерения между сканерами и протоколами и интервенционные исследования с конечной точкой «повторный перелом».

Ключевые слова: остеопороз; оппортунистический скрининг; компьютерная томография; единицы Хаунсфилда; хрупкий перелом; вторичная профилактика; минеральная плотность кости; служба профилактики повторных переломов; пожилой возраст.

ВВЕДЕНИЕ

Хрупкий перелом определяется как перелом, возникший при воздействии силы, эквивалентной падению с высоты собственного роста или меньшей. У лиц старше 50 лет такое событие является наиболее сильным из известных независимых предикторов последующего перелома: риск повторного перелома максимален в первые 12–24 месяца после индексного события — период, который в литературе описывается как «имминентный риск». Именно этот интервал определяет окно терапевтической возможности, и именно в этом интервале система здравоохранения чаще всего бездействует.

Парадокс современной остеологии заключается в том, что при наличии эффективных и относительно недорогих препаратов, снижающих риск переломов позвонков и бедра, доля пациентов, получающих терапию после хрупкого перелома, в большинстве стран не превышает трети, а в ряде когорт — и десятой части. Эта ситуация устойчиво описывается как «разрыв в лечении остеопороза» (osteoporosis treatment gap). Одной из его причин служит ограниченная доступность двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (DXA): метод требует отдельного направления, отдельного визита пациента, специализированного оборудования и обученного персонала, а показатели охвата DXA в ряде систем здравоохранения не растут, а снижаются [1, 20].

Между тем пожилые пациенты — та самая популяция, для которой актуален вопрос МПК, — представляют собой наиболее интенсивных потребителей КТ-исследований. Каждая КТ органов грудной клетки, брюшной полости, малого таза, каждая КТ-ангиография аорты, каждое исследование, выполненное по поводу боли в животе, онкологического стадирования или травмы, содержит поперечные срезы тел позвонков. Рентгеновская плотность губчатой кости на этих изображениях измеряется одним движением курсора и является количественной величиной, физически связанной с минерализацией кости. Иными словами, необходимые данные уже получены, оплачены и архивированы; не хватает только их прочтения.

Концепция «оппортунистического скрининга» (opportunistic screening) состоит именно в извлечении дополнительной клинически значимой информации из исследований, выполненных по иным показаниям, без дополнительного облучения, дополнительного контрастирования и дополнительных затрат на сканирование. За последнее десятилетие накоплен значительный объём данных о применимости этого подхода к оценке МПК. Однако результаты остаются разрозненными: работы различаются используемым позвонком и уровнем измерения, формой и площадью зоны интереса, наличием внутривенного контрастирования, параметрами реконструкции, референсным стандартом и, что наиболее существенно для практики, предлагаемыми пороговыми значениями.

Отдельного рассмотрения требует применение метода именно во вторичной профилактике. Первичный скрининг бессимптомной популяции и оценка пациента, уже перенёсшего хрупкий перелом, — это разные клинические задачи с разной претестовой вероятностью, разной ценой ложноотрицательного результата и разными последствиями для маршрутизации. Пациент с состоявшимся переломом в большинстве современных рекомендаций является кандидатом на терапию независимо от значения МПК; следовательно, роль оппортунистической КТ у него смещается от диагностики к выявлению самого факта перенесённого (в том числе клинически немого) перелома, стратификации риска и, что важнее всего, к запуску организационного маршрута.

Цель настоящего обзора — систематизировать доказательную базу по диагностической точности, прогностической ценности, экономической эффективности и практической реализуемости оппортунистической оценки МПК по данным рутинной КТ у пациентов пожилого возраста и определить место метода в системе вторичной профилактики хрупких переломов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Критерии приемлемости

Критерии формулировались по схеме PICOS.

Популяция (P): взрослые пациенты, преимущественно в возрасте 50 лет и старше, которым выполнена КТ органов грудной клетки, брюшной полости, малого таза или позвоночника по показаниям, не связанным с оценкой состояния костной ткани. Отдельно выделялись подгруппы пациентов с перенесённым хрупким переломом.

Индексный тест (I): измерение рентгеновской плотности губчатой кости тела позвонка (преимущественно L1) в единицах Хаунсфилда на аксиальных или сагиттальных реконструкциях; фантом-независимая (phantomless) количественная КТ; асинхронно калиброванная QCT; оппортунистическое выявление компрессионных переломов тел позвонков.

Референсный стандарт / компаратор (C): DXA поясничного отдела позвоночника и/или проксимального отдела бедренной кости с классификацией по критериям ВОЗ; для прогностических исследований — документированный инцидентный клинический перелом.

Исходы (O): чувствительность, специфичность, прогностическая ценность положительного и отрицательного результата, площадь под ROC-кривой; отношение рисков инцидентного перелома; частота непротоколированных переломов позвонков; доля пациентов, направленных на DXA и начавших терапию; затраты на год качественной жизни (QALY).

Дизайн (S): проспективные и ретроспективные исследования диагностической точности, когортные исследования, анализы экономической эффективности, исследования внедрения и качества помощи. Исключались описания отдельных клинических случаев, редакционные материалы, тезисы конференций без полного текста и работы, посвящённые исключительно алгоритмам машинного обучения без сопоставления с общепринятыми пороговыми значениями.

Источники информации и стратегия поиска

Поиск проводился в базах PubMed/MEDLINE, Embase, Cochrane Library, Scopus, Web of Science и eLIBRARY.RU за период с 1 января 2010 г. по 30 июня 2026 г. без языковых ограничений. Использовалась комбинация контролируемой лексики (MeSH: Osteoporosis; Tomography, X-Ray Computed; Bone Density; Osteoporotic Fractures; Mass Screening; Secondary Prevention) и свободнотекстовых терминов: "opportunistic screening", "opportunistic CT", "Hounsfield unit*", "trabecular attenuation", "phantomless QCT", "vertebral attenuation", "fragility fracture", а также их русскоязычных эквивалентов. Дополнительно вручную просматривались списки литературы включённых публикаций и релевантных обзоров, а также документы профессиональных обществ (ISCD, ACR, IOF).

Отбор исследований и извлечение данных

Заголовки и резюме независимо оценивались двумя рецензентами; разногласия разрешались обсуждением с привлечением третьего рецензента. Из включённых работ

извлекались: авторы и год публикации, страна, дизайн, численность и характеристика выборки, средний возраст и половой состав, уровень и методика измерения плотности, наличие и фаза внутривенного контрастирования, параметры сканирования и реконструкции, референсный стандарт, пороговые значения и соответствующие им операционные характеристики, длительность наблюдения и исходы.

Оценка риска систематической ошибки

Для исследований диагностической точности применялся инструмент QUADAS-2 по четырём доменам (отбор пациентов, индексный тест, референсный стандарт, поток и сроки). Прогностические когортные исследования оценивались при помощи QUIPS. Качество отчётности экономических анализов проверялось по чек-листу CHEERS 2022. Оценка выполнялась независимо двумя рецензентами.

Синтез данных

Ввиду существенной гетерогенности в отношении уровня измерения, методики размещения зоны интереса, наличия контрастного усиления и выбора пороговых значений объединённый метаанализ показателей точности был признан методологически неоправданным. Выполнен структурированный качественный синтез с табличным представлением операционных характеристик по пороговым значениям. Результаты сгруппированы по четырём предопределённым доменам: (1) диагностическая точность относительно DXA; (2) прогностическая ценность в отношении инцидентных переломов; (3) масштаб нереализованной возможности и экономическая эффективность; (4) технические и организационные детерминанты внедрения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Диагностическая точность относительно DXA

Ключевым исследованием, задавшим методологический стандарт направления, стала работа Pickhardt и соавт. (2013), в которой 1867 взрослых имели 2067 пар КТ и DXA, выполненных с интервалом не более 6 месяцев на протяжении десятилетнего периода. Плотность губчатой кости тела L1 демонстрировала устойчивую способность разграничивать остеопороз и нормальную МПК. Пороговое значение ≤ 160 HU обеспечивало чувствительность около 90 % для отделения остеопороза от остеопении и нормы, тогда как порог ≤ 110 HU обеспечивал специфичность выше 90 %. Прогностическая ценность положительного результата в отношении остеопороза составляла 68 % и выше при значениях менее 100 HU, а прогностическая ценность отрицательного результата достигала 99 % при значениях выше 200 HU [1].

Последующие независимые работы в других популяциях воспроизвели этот диапазон с умеренным смещением. В когорте пациентов с сахарным диабетом порог ≤ 160 HU показал чувствительность 91 %, а ≤ 110 HU — специфичность 80 % [2]. В британской популяции оптимальные точки отсечения составили 169 HU для 90 % чувствительности и 104 HU для 90 % специфичности [3]. Аналогичные по порядку величины результаты получены при использовании КТ органов грудной клетки у женщин в постменопаузе, что

расширяет применимость подхода на исследования, не включающие поясничный отдел в полном объёме [4].

Таблица 1. Основные исследования диагностической точности оппортунистической КТ-оценки МПК

Исследование, год	Страна	Выборка	Референс	Порог L1	Показатель
Pickhardt и соавт., 2013 [1]	США	1867 пациентов, 2067 пар КТ–DXA	DXA (ВОЗ)	≤ 160 HU ≤ 110 HU < 100 HU > 200 HU	Se ≈ 90 % Sp > 90 % ППЦ ≥ 68 % ОПЦ 99 %
Когорта пациентов с СД, 2020 [2]	США	Взрослые с сахарным диабетом	DXA (ВОЗ)	≤ 160 HU ≤ 110 HU	Se 91 % Sp 80 %
Британская когорта, 2023 [3]	Велико-британия	Взрослые, КТ брюшной полости	DXA (ВОЗ)	169 HU 104 HU	Se 90 % Sp 90 %
КТ ОГК у женщин в постменопаузе, 2025 [4]	КНР	Женщины в постменопаузе	DXA / QCT	Уровни Th12–L1	Приемлемая точность для низкой МПК
Нормативная когорта, 2019 [5]	США	$> 20\,000$ взрослых	—	Возрастные референсы L1	Устойчивое снижение с возрастом у обоих полов

Se — чувствительность; Sp — специфичность; ППЦ — прогностическая ценность положительного результата; ОПЦ — прогностическая ценность отрицательного результата; HU — единицы Хаунсфилда; СД — сахарный диабет; КТ ОГК — КТ органов грудной клетки.

Нормативная работа на выборке более 20 000 взрослых, прошедших рутинную КТ брюшной полости и грудной клетки, позволила описать возрастную динамику плотности L1 у обоих полов и предложить референсные диапазоны, что переводит показатель из категории «пороговой» величины в категорию непрерывной переменной, интерпретируемой относительно возрастной нормы [5]. Практически это важно: жёсткий порог даёт бинарный ответ, тогда как возрастная перцентильная оценка позволяет выделить пациента с плотностью, соответствующей норме по абсолютной величине, но резко сниженной для его возрастной группы.

Прогностическая ценность в отношении инцидентных переломов

Диагностическое совпадение с DXA само по себе не доказывает клинической полезности, поскольку DXA является несовершенным референсным стандартом: значительная часть переломов происходит у пациентов с Т-критерием вне

остеопоротического диапазона. Поэтому принципиальное значение имеют исследования, где конечной точкой служит сам перелом.

В когортном исследовании Lee и соавт. (2018) из 1966 последовательных пожилых пациентов, прошедших КТ грудной клетки и/или брюшной полости, в итоговый анализ включено 507 человек (средний возраст 73,4 года) с медианой последующего наблюдения 5,8 года. После поправки на возраст, пол, предшествующий перелом, приём глюкокортикоидов и бисфосфонатов, хроническую болезнь почек, курение, злоупотребление алкоголем, онкологический и ревматологический анамнез сохранялся независимый эффект плотности L1 на выживаемость без перелома: отношение рисков составило 0,63 на каждые 10 HU прироста (95 % ДИ 0,47–0,85). Значения ≤ 90 HU выделяли группу со значимо сниженной выживаемостью без перелома [6].

Работа Pickhardt и соавт. (2020) продемонстрировала, что автоматизированное извлечение набора КТ-биомаркеров из рутинных исследований брюшной полости позволяет прогнозировать большие остеопоротические переломы у бессимптомных взрослых, причём прогностическая способность плотности губчатой кости сопоставима с DXA [7]. Дополнительный аргумент дают данные о том, что распространённость компрессионных переломов тел позвонков на рутинных КТ закономерно нарастает по мере снижения плотности L1, что позволяет использовать один и тот же показатель одновременно для стратификации риска и для настройки внимания рентгенолога [8].

Таблица 2. Пороговые значения плотности губчатой кости тела L1 и их практическая интерпретация

Значение L1	Интерпретация	Предлагаемое действие
>200 HU	Остеопороз практически исключён (ОПЦ ≈ 99 %) [1]	Дополнительное обследование по поводу МПК не требуется; ведение по общим правилам
150–200 HU	Низкая вероятность остеопороза	Клиническая оценка риска (FRAX); рутинное наблюдение
110–150 HU	«Серая зона»: чаще соответствует остеопении	Оценка FRAX; DXA при наличии дополнительных факторов риска или перенесённого перелома
<110 HU	Высокая специфичность в отношении остеопороза [1, 3]	Указание в протоколе; направление на DXA и/или в службу профилактики повторных переломов
≤ 90 HU	Значимо сниженная выживаемость без перелома [6]	Приоритетное направление; рассмотрение терапии при наличии перенесённого хрупкого перелома

Пороговые значения приведены для бесконтрастных исследований; при контрастном усилении измеренные величины смещаются вверх (см. раздел «Технические детерминанты»). Таблица отражает синтез данных включённых исследований и не является клинической рекомендацией профессионального общества.

Оппортунистическое выявление компрессионных переломов позвонков

Второй, во многом более прямой путь вторичной профилактики связан не с измерением плотности, а с распознаванием уже состоявшегося перелома. Компрессионные

переломы тел позвонков в большинстве случаев клинически немые: до двух третей из них никогда не приводят к обращению за помощью. При этом они полностью визуализируются на любой КТ, включающей грудной или поясничный отдел, — прежде всего на сагиттальных реконструкциях.

Систематическое недоописание таких находок задокументировано неоднократно. При независимом пересмотре рутинных рентгенограмм органов грудной клетки лишь около 55 % выявленных переломов позвонков были отражены в официальном протоколе [9]. Для КТ брюшной полости показано, что значительная доля компрессионных переломов тел позвонков остаётся непроотоколированной [10]. Существенно, что причиной является не сложность распознавания — переломы, как правило, очевидны при целенаправленном просмотре, — а отсутствие установки на их поиск и отсутствие последствий у самого факта их упоминания. Иначе говоря, это дефект не восприятия, а маршрутизации.

Обзоры, посвящённые внедрению, подчёркивают, что пациенты с «оппортунистически» выявленными переломами позвонков, как правило, не попадают в поле зрения службы профилактики повторных переломов (Fracture Liaison Service, FLS), тогда как эффективность FLS в снижении риска последующего перелома подтверждена систематическими обзорами с метаанализом [11, 12]. Предлагаемое решение носит организационный характер: стандартизированный шаблон протокола, в котором факт перелома позвонка сопровождается прямым указанием на необходимость оценки МПК и направления к профильному специалисту [11].

Масштаб нереализованной возможности и экономическая эффективность

Количественную оценку потенциала подхода дал анализ базы данных Medicare: 22,7 % получателей помощи не проходили DXA, но имели как минимум одно КТ-исследование, в поле зрения которого попадало тело позвонка L1 [13]. Это означает, что почти каждый четвёртый пациент соответствующей возрастной группы уже располагает изображением, достаточным для оценки МПК, но не располагает результатом такой оценки.

Экономические модели последовательно поддерживают внедрение. Анализ оппортунистического скрининга на основе QCT для прогнозирования инцидентных переломов позвонков показал приемлемое соотношение затрат и эффективности [14]. Модель оппортунистического скрининга по рентгенограммам органов грудной клетки в условиях Германии дала затраты 13 340 € за один добавленный QALY при принятом пороге готовности платить 60 000 € [15]; аналогичный анализ для США дал 72 085 \$ за QALY у женщин 50 лет и старше при пороге 100 000 \$ [16]. Существенно, что чувствительность моделей к параметрам приверженности терапии оказалась высокой: снижение доли пациентов, прекращающих лечение, вдвое переводило стратегию в разряд доминирующей. Это смещает акцент с диагностической части вмешательства на последующее сопровождение пациента.

Таблица 3. Экономические оценки оппортунистического скрининга

Модель / популяция	Страна	Результат	Порог готовности платить
QCT-скрининг, прогноз переломов позвонков [14]	Германия	Приемлемое соотношение затрат и эффективности	Национальный порог
Опportunистический скрининг, женщины ≥ 50 лет [15]	Германия	13 340 € / QALY	60 000 € / QALY
Опportunистический скрининг, женщины ≥ 50 лет [16]	США	72 085 \$ / QALY	100 000 \$ / QALY

QALY — год качественной жизни (quality-adjusted life year). Модели различаются исходным методом визуализации и допущениями о частоте инициации терапии и приверженности.

Технические детерминанты воспроизводимости

Практическое внедрение упирается в вопрос переносимости пороговых значений между сканерами и протоколами. Анализ 67 392 аккредитационных исследований Американской коллегии радиологов с использованием стандартного фантома выявил систематические межсканерные различия измеряемого ослабления, которые, хотя и невелики по абсолютной величине, соизмеримы с шириной «серых зон» пороговых диапазонов [17]. Из этого следует практический вывод: локальная верификация порогов на собственном парке оборудования желательна перед клиническим внедрением.

Основные технические факторы, влияющие на результат, суммированы ниже.

Таблица 4. Технические факторы, влияющие на измерение плотности губчатой кости

Фактор	Направление влияния	Практическое решение
Внутривенное контрастирование	Повышает измеренные значения; величина смещения зависит от фазы и протокола введения	Указывать фазу в протоколе; использовать пороги, валидированные для соответствующей фазы, либо отдавать предпочтение бесконтрастным сериям
Напряжение на трубке (kVp)	Низкое kVp повышает ослабление костной ткани	Приводить измерения к стандартному режиму 120 kVp; фиксировать параметр
Ядро и алгоритм реконструкции	Итеративные и «костные» ядра изменяют шум и средние значения	Измерять на мягкотканых реконструкциях со стандартным ядром
Размещение зоны интереса	Включение кортикальной кости, базивертебральной вены, гемангиомы, склеротического очага или зоны перелома искажает результат	Овальная ROI в центре губчатой кости на аксиальном срезе середины тела позвонка; при артефактах — переход на соседний уровень
Уровень измерения	Значения различаются между уровнями	Использовать L1 как основной уровень; при недоступности — усреднение 2–3

Фактор	Направление влияния	Практическое решение
		уровней Th12–L4 в соответствии с позицией ISCD [18]
Толщина среза	Тонкие срезы повышают шум измерения	Измерять на срезах 3–5 мм

Барьеры внедрения

Обобщая данные исследований внедрения, барьеры распределяются по трём уровням. На уровне рентгенолога — отсутствие требования измерять плотность в стандартном протоколе описания, восприятие находки как выходящей за рамки клинического вопроса и опасение увеличения времени описания. На уровне организации — отсутствие автоматической передачи результата клиницисту и отсутствие ответственного за последующее действие. На уровне системы — отсутствие кодирования и оплаты дополнительной аналитической работы и отсутствие показателей качества, учитывающих долю пациентов, направленных на лечение после выявления низкой плотности [11, 19].

ОБСУЖДЕНИЕ

Основные результаты

Настоящий обзор показывает, что оппортунистическая оценка МПК по данным рутинной КТ соответствует трём из четырёх классических требований к скрининговому инструменту: она обладает достаточной диагностической точностью относительно принятого референсного метода, независимо предсказывает клинически значимый исход и является экономически оправданной. Четвёртое требование — воспроизводимая связь с изменением исхода в условиях реальной практики — остаётся недоказанным, поскольку интервенционных исследований с конечной точкой «повторный перелом» до настоящего времени не опубликовано.

Наиболее устойчивым результатом является операционный диапазон пороговых значений плотности L1. Несмотря на различия популяций, сканеров и протоколов, воспроизводится один и тот же порядок величин: около 160–170 HU для чувствительной точки отсечения и около 100–110 HU для специфичной. Такая согласованность независимых работ, выполненных в разных странах, свидетельствует о том, что речь идёт не об артефакте отдельной выборки, а о физическом свойстве измеряемой величины.

Клиническое позиционирование во вторичной профилактике

Применительно к вторичной профилактике роль метода следует определять точнее, чем это обычно делается в литературе. У пациента, уже перенёсшего хрупкий перелом бедра или позвонка, показание к терапии в большинстве современных рекомендаций не зависит от результата денситометрии; следовательно, диагностическая точность относительно DXA в этой подгруппе имеет второстепенное значение. Реальный вклад оппортунистической КТ здесь двоякий.

Во-первых, это выявление клинически немого перелома позвонка у пациента, который формально считается «непереломным». Такое обнаружение переводит пациента в категорию состоявшегося хрупкого перелома и меняет тактику радикально — от наблюдения к назначению терапии. Именно этот механизм даёт наибольший абсолютный эффект и требует наименьших технических усилий: достаточно систематического просмотра сагиттальной реконструкции.

Во-вторых, это стратификация риска у пациента с уже известным периферическим переломом, где очень низкая плотность (≤ 90 HU) может служить аргументом в пользу выбора анаболической терапии первой линии вместо антирезорбтивной. Здесь количественный показатель добавляет информацию, которой клиницист иначе не располагает.

Третья функция — организационная и, вероятно, наиболее значимая. Радиологическое заключение является документом, который гарантированно доходит до направившего врача. Включение в него стандартизированной фразы о низкой плотности с прямым указанием на необходимость оценки состояния костной ткани превращает отделение лучевой диагностики в точку входа в маршрут вторичной профилактики. Данные о результативности FLS указывают, что именно наличие формализованного маршрута, а не качество диагностики, определяет итоговое снижение частоты повторных переломов [12].

Сопоставление с существующими рекомендациями

Позиция Международного общества клинической денситометрии (ISCD) допускает оценку МПК по данным КТ с использованием двух-трёх уровней в диапазоне Th12–L4 [18]. Критерии обоснованности Американской коллегии радиологов рассматривают КТ как приемлемый метод оценки МПК в определённых клинических ситуациях. Вместе с тем ни один из действующих документов не устанавливает обязательности оппортунистического измерения при исследованиях, выполненных по иным показаниям. Разрыв между накопленной доказательной базой и нормативным закреплением представляется основным препятствием к масштабированию подхода.

Нерешённые вопросы

Первое: перенос пороговых значений на популяции за пределами Северной Америки и Западной Европы валидирован недостаточно, а этнические и региональные различия костной массы описаны. Второе: отсутствует консенсус относительно поправок при контрастном усилении, тогда как в реальной практике доля контрастных исследований у пожилых пациентов высока. Третье: неясно, какая стратегия сообщения результата — свободный текст, структурированное поле или автоматическое уведомление — обеспечивает наибольшую конверсию находки в назначение терапии. Четвёртое: остаётся открытым вопрос оптимальной периодичности повторной оценки у пациентов, проходящих КТ регулярно, например при онкологическом наблюдении.

Ограничения обзора

Включённые исследования диагностической точности преимущественно ретроспективны и одноцентровые, что сопряжено с риском систематической ошибки отбора: пациенты, которым выполнены и КТ, и DXA в узком временном окне, отличаются

от общей популяции более высокой претестовой вероятностью остеопороза, что завышает оценки прогностической ценности положительного результата. Географическое распределение данных смещено в сторону США. Гетерогенность методик измерения не позволила выполнить количественный метаанализ, поэтому объединённые оценки точности не приводятся. Наконец, DXA как референсный стандарт сама по себе обладает ограниченной чувствительностью в отношении будущих переломов, что затрудняет интерпретацию расхождений между методами: часть «ложноположительных» результатов КТ может отражать истинную костную хрупкость, не улавливаемую DXA.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оппортунистическая оценка минеральной плотности кости по данным рутинной КТ представляет собой методически состоятельный, не требующий дополнительного облучения и дополнительных затрат на получение изображений инструмент, диагностическая точность и прогностическая ценность которого подтверждены на выборках, суммарно превышающих десятки тысяч пациентов. Плотность губчатой кости тела L1 в диапазоне ниже 110 HU специфична в отношении остеопороза, значения выше 200 HU практически исключают его, а величины ниже 90 HU выделяют группу с существенно повышенным риском будущего перелома.

Применительно к вторичной профилактике хрупких переломов у пожилых главный потенциал метода реализуется не через замену денситометрии, а через выявление клинически немых переломов позвонков и через превращение радиологического заключения в стартовую точку формализованного маршрута пациента. Основное препятствие к внедрению носит организационный, а не технический характер.

Приоритетные направления дальнейшей работы: проспективная валидация пороговых значений на локальных популяциях и парке оборудования; выработка поправочных коэффициентов для контрастных исследований; стандартизация шаблонов протокола описания; и, прежде всего, интервенционные исследования, в которых конечной точкой служит не выявление низкой плотности, а снижение частоты повторных переломов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pickhardt PJ, Pooler BD, Lauder T, del Rio AM, Bruce RJ, Binkley N. Opportunistic screening for osteoporosis using abdominal computed tomography scans obtained for other indications. *Ann Intern Med.* 2013;158(8):588–595.
2. Using opportunistic screening with abdominal CT to identify osteoporosis and osteopenia in patients with diabetes. *Osteoporos Int.* 2020. PMID: 32623489.
3. Opportunistic screening for osteoporosis by abdominal CT in a British population. *Insights Imaging.* 2023. PMCID: PMC10067782.
4. Diagnostic efficiency of chest CT for opportunistic screening for osteoporosis and low BMD in postmenopausal women. *Sci Rep.* 2025;15. doi:10.1038/s41598-025-16113-2.
5. Pickhardt PJ, Lee SJ, Liu J, et al. Population-based opportunistic osteoporosis screening: normative L1 trabecular attenuation values at routine abdominal and thoracic CT in more than 20 000 adults. *Radiology.* 2019. doi:10.1148/radiol.2019181648.

6. Lee SJ, Binkley N, Lubner MG, Bruce RJ, Ziemlewicz TJ, Pickhardt PJ. Future osteoporotic fracture risk related to lumbar vertebral trabecular attenuation measured at routine body CT. *J Bone Miner Res.* 2018;33(5):860–867.
7. Pickhardt PJ, Graffy PM, Zea R, et al. Automated abdominal CT imaging biomarkers for opportunistic prediction of future major osteoporotic fractures in asymptomatic adults. *Radiology.* 2020;297(1):64–72.
8. Graffy PM, Lee SJ, Ziemlewicz TJ, Pickhardt PJ. Prevalence of vertebral compression fractures on routine CT scans according to L1 trabecular attenuation: determining relevant thresholds for opportunistic osteoporosis screening. *AJR Am J Roentgenol.* 2017;209(3):491–496.
9. Underreporting of vertebral fractures on routine chest radiography. *AJR Am J Roentgenol.* 2004;182(2):297–300.
10. Carberry GA, Pooler BD, Binkley N, Lauder TB, Bruce RJ, Pickhardt PJ. Unreported vertebral body compression fractures at abdominal multidetector CT. *Radiology.* 2013;268(1):120–126.
11. Opportunistic diagnosis of osteoporosis, fragile bone strength and vertebral fractures from routine CT scans: a review of approved technology systems and pathways to implementation. *Ther Adv Musculoskelet Dis.* 2021. PMCID: PMC8274099.
12. Vertebral fracture: epidemiology, impact and use of DXA vertebral fracture assessment in fracture liaison services. *Osteoporos Int.* 2021;32:399–411. doi:10.1007/s00198-020-05804-3.
13. Quantifying the opportunity and economic value of bone density screening using opportunistic CT: a Medicare database analysis. *J Am Coll Radiol.* 2025. doi:10.1016/j.jacr.2024.11.011.
14. Cost-effectiveness of opportunistic QCT-based osteoporosis screening for the prediction of incident vertebral fractures. *Front Endocrinol.* 2023;14:1222041.
15. Cost-effectiveness of opportunistic osteoporosis screening using chest radiographs with deep learning in Germany. 2025. PMCID: PMC12069426.
16. Hiligsmann M, et al. Cost-effectiveness of opportunistic osteoporosis screening using chest radiographs with deep learning in the United States. *J Am Coll Radiol.* 2025. doi:10.1016/j.jacr.2025.04.020.
17. CT phantom evaluation of 67 392 American College of Radiology accreditation examinations: implications for opportunistic screening of osteoporosis using CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2020. doi:10.2214/AJR.20.22943.
18. International Society for Clinical Densitometry. Official Positions: Adult. Quantitative computed tomography. Актуальная редакция.
19. Löffler MT, Sollmann N, Burian E, et al. Opportunistic screening techniques for analysis of CT scans. *Curr Osteoporos Rep.* 2023;21:66–75. doi:10.1007/s11914-022-00764-5.
20. Pickhardt PJ, Summers RM, Garrett JW, et al. Value-added opportunistic CT: insights into osteoporosis and sarcopenia. *AJR Am J Roentgenol.* 2020. doi:10.2214/AJR.20.22874.
21. American College of Radiology. ACR Appropriateness Criteria®: Osteoporosis and Bone Mineral Density. Актуальная редакция.
22. Screening for the primary prevention of fragility fractures among adults aged 40 years and older in primary care: systematic reviews of the effects and acceptability of screening and treatment, and the accuracy of risk prediction tools. *Syst Rev.* 2023. PMCID: PMC10029308.

23. Detection of vertebral fracture in an acute hospital setting: an intervention to reduce future fracture risk through fracture liaison service intervention? PMCID: PMC7547950.
24. Prediction of osteoporosis and osteopenia by routine computed tomography of the lumbar spine in different regions of interest. J Orthop Surg Res. 2022;17:531. doi:10.1186/s13018-022-03348-2.
25. Opportunistic screening for osteoporosis by CT as compared with DXA. Diagnostics. 2024;14(24):2846.