

Применение асинхронной количественной компьютерной томографии для оппортунистического скрининга остеопороза

А.В. Петрайкин¹, Н.В. Торопцова², О.А. Никитинская², С.Ю. Кузнецов³, Л.А. Низовцова¹, Е.С. Ахмад¹, З.Р. Артюкова¹, Д.С. Семенов¹, К.А. Сергунова⁴, А.В. Владимирский¹, С.П. Морозов¹

¹ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» 109029, Российская Федерация, Москва, Средняя Калитниковская ул., 28, стр. 1
²ФГБНУ «Научно-исследовательский институт ревматологии им. В.А. Насоновой» 115522, Российская Федерация, Москва, Каширское шоссе, 34а
³ФГБУ «Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Минздрава России 117198, Российская Федерация, Москва, ул. Академика Опарина, 4
⁴Центр развития ядерной медицины НИЦ «Курчатовский институт» 123098, Российская Федерация, Москва, пл. Академика Курчатова, 1

¹Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Health Care Department 109029, Russian Federation, Moscow, Srednyaya Kalinikovskaya str., 28, building 1

Цель исследования — определить возможность использования оппортунистического скрининга с помощью асинхронной компьютерной количественной томографии (ККТ) проксимального отдела бедра для выявления лиц с остеопорозом путем сравнения с двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрией (ДРА). **Материалы и методы.** Включены 40 женщин в постменопаузе и 6 мужчин старше 50 лет (Me возраста — 72,5 [65,3; 77,7] года), направленные лечащим врачом на денситометрическое обследование. Пациенты подписали информированное согласие на проведение исследования двумя методами. ДРА выполнялась на денситометре с узкоэнергетическим пучком Lunar Prodigy Advance (GE Healthcare, США), а ККТ — на аппарате Aquilion 64 (Canon Medical Systems, Япония). Сравнение проекционной минеральной плотности кости (МПК), минерального содержания кости (МСК), площади области измерения и Т-критерия проводили с помощью метода Бленда — Альтмана, оценки коэффициента линейной корреляции и параметров тренда. **Результаты.** Выявлена статистически значимая корреляция между показателями ДРА и асинхронной ККТ: в шейке бедра для МПК $r=0,93$; в шейке бедра для Т-критерия $r=0,93$; в проксимальном отделе бедра в целом — соответственно $r=0,91$ и $r=0,91$. При проведении анализа по методу Бленда — Альтмана показано, что ККТ занижала значение МСК шейки бедра (смещение $-0,923$ г), но при этом охватывала меньшую площадь обследования (смещение $0,376$ см²), в связи с чем наблюдалось смещение значений МПК на $-0,224$ г/см². При ККТ также отмечалось статистически значимое занижение значений Т-критерия для шейки бедра на $-0,29$ стандартных отклонений (СО), а для проксимального отдела бедра в целом — на $-0,72$ СО.

Выводы. Отмечена хорошая корреляция количественных показателей, полученных при исследовании костной ткани проксимального отдела бедра с помощью ККТ и ДРА. Выявлено занижение значений МПК и Т-критерия по данным ККТ как для шейки, так и для бедра в целом по сравнению с результатами ДРА. С учетом проведенного исследования рекомендуется при внедрении асинхронной ККТ в клиническую практику для выявления лиц с остеопорозом предварительно сканировать синхронный фантом для сравнения результатов ККТ и ДРА с последующей корректировкой значения показателей МПК и Т-критерия по ККТ на среднюю разницу между ними.

Ключевые слова: остеопороз, диагностика, минеральная плотность кости, количественная компьютерная томография, ККТ, QCT, КТ-денситометрия, двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, ДРА, DXA, денситометрия

Для цитирования: Петрайкин АВ, Торопцова НВ, Никитинская ОА, Кузнецов СЮ, Низовцова ЛА, Ахмад ЕС, Артюкова ЗР, Семенов ДС, Сергунова КА, Владимирский АВ, Морозов СП. Применение асинхронной количественной компьютерной томографии для оппортунистического скрининга остеопороза. *Научно-практическая ревматология*. 2022;60(3):360–368.

USING ASYNCHRONOUS QUANTITATIVE COMPUTED TOMOGRAPHY FOR OPPORTUNISTIC SCREENING OF OSTEOPOROSIS

Alexey V. Petraikin¹, Natalia V. Toroptsova², Oksana A. Nikitsinskaya², Sergey Yu. Kuznetsov³, Lyudmila A. Nisovtsova¹, Ekaterina S. Akhmad¹, Zlata R. Artykova¹, Dmitry S. Semenov¹, Kristina A. Sergunova⁴, Anton V. Vladzimirskyy¹, Sergey P. Morozov¹

The aim — to determine the possibility of identifying individuals with osteoporosis using asynchronous computed quantitative tomography (CT) of the proximal femur by comparison with dual-energy X-ray absorptiometry (DXA).

Materials and methods. The study included 40 postmenopausal women and 6 men over 50 years old (Me of age — 72.5 [65.3; 77.7] years) referred by the attending physician for densitometric examination. The patients signed an informed consent. The measurements were performed on a DXA with a narrow fan beam (Lunar Prodigy Advance, GE Healthcare, USA), and QCT on the Aquilion 64 (Canon Medical Systems, Japan). Correlation analysis and comparison of projected bone mineral density (BMD), bone mineral content (BMC), measurement area and T-score using the Blend — Altman method were carried out.

Results. A statistically significant correlations were revealed between the indicators of DXA and asynchronous QCT: for femoral neck BMD $r=0.93$; for the T-score $r=0.93$; for the total hip — $r=0.91$ and $r=0.91$ respectively. When conducting the analysis using the Blend — Altman method, it was found that the QCT underestimated the value of the femoral neck BMC (bias -0.923 g), covered a smaller area of interest (bias 0.376 cm²), and therefore there was a shift in the values of BMD by -0.224 g/cm². The value of the T-score for the femoral neck had bias -0.29 standard deviations (SD), and for the total hip -0.72 SD, which were statistically significant.

Conclusions. There was a high correlation between quantitative indicators of bone tissue of the proximal hip, assessed using QCT and DXA. The BMD and T-score values for the femoral neck and the total hip at QCT were lower

²V.A. Nasonova Research Institute of Rheumatology 115522, Russian Federation, Moscow, Kashirskoye Highway, 34A

³Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov 117198, Russian Federation, Moscow, Akademika Oparina str., 4
⁴Centre for Development of Nuclear Medicine, National Research Centre "Kurchatov Institute" 123098, Russian Federation, Moscow, Akademika Kurchatova square, 1

Контакты: Петрайкин Алексей Владимирович, alexeypetraikin@gmail.com

Contacts: Alexey Petraikin, alexeypetraikin@gmail.com

Поступила 03.03.2022
Принята 23.05.2022

compared to the values of the DXA results. Considering the conducted research, it is recommended that when introducing asynchronous QCT into clinical practice to identify people with osteoporosis, a synchronous phantom should be pre-scanned to compare the QCT and DXA results, followed by adjusting the BMD and T-score values for QCT by the average difference between them.

Key words: osteoporosis, diagnosis, bone mineral density, quantitative computed tomography, dual X-ray absorptiometry

For citation: Petraikin AV, Toroptsova NV, Nikitsinskaya OA, Kuznetsov AYu, Nisovtsova LA, Akhmad ES, Artykova ZR, Semenov DS, Sergunova KA, Vladzimirskiy AV, Morozov SP. Using asynchronous quantitative computed tomography for opportunistic screening of osteoporosis. *Nauchno-Prakticheskaya Revmatologiya = Rheumatology Science and Practice*. 2022;60(3):360–368 (In Russ.).
doi: 10.47360/1995-4484-2022-360-368

Введение

Согласно Федеральным клиническим рекомендациям по остеопорозу 2021 г. [1] и рекомендациям Международного общества по клинической денситометрии (ISCD, International Society for Clinical Densitometry) 2019 г. [2], основным методом измерения минеральной плотности кости (МПК) является двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА). Однако она обладает рядом недостатков. Например, ДРА поясничного отдела позвоночника и проксимального отдела бедра чувствительна к дегенеративным изменениям (костные разрастания при остеохондрозе и спондилезе, обызвествления при атеросклеротическом поражении сосудов) [3, 4]. Другим методом измерения МПК является количественная компьютерная томография (ККТ), основной недостаток которой – большая лучевая нагрузка на пациента [3, 5]. В клиническую практику входит, помимо синхронного сканирования фантома и пациента [6], асинхронная ККТ [7], которую можно применять для оппортунистического скрининга, т. е. ретроспективно, на основе результатов компьютерной томографии (КТ), проводившейся ранее с другими целями, например, КТ органов брюшной полости, грудной клетки, позвоночника и др. [8].

По мнению экспертов ISCD [2], исследование области проксимального отдела бедра с определением проекционной МПК с помощью ККТ может применяться для оценки риска перелома, диагностики остеопороза, решения вопроса о назначении терапии и мониторинга результатов лечения. Эти рекомендации основаны на результатах сравнительных исследований синхронной ККТ, выполненной при стандартных дозовых нагрузках, и ДРА, [6, 9, 10] и суммированы в обзоре K. Engelke и соавт. [12]. При анализе публикаций, приведенных в данном обзоре, отмечено, что объем выборок пациентов, принимающих участие в исследовании, был относительно небольшим: от 33 до 152 человек. Значительно большее число пациентов (355) включено в исследование T.J. Ziemlewicz и соавт. [13], однако в этой работе не сравнивались результаты определения проекционной МПК для бедра в целом, полученные при прямой асинхронной ККТ и ДРА,

и анализировались значения МПК только в области шейки бедренной кости. Кроме того, во всех указанных выше работах авторы проводили сравнение уже расчетных параметров (МПК и T-критерий), не уделяя внимания измеряемым показателям, включая минеральное содержание кости (МСК) и проекционную площадь области измерения (ПОИ).

Целью нашей работы было определение возможности использования оппортунистического скрининга с помощью асинхронной количественной компьютерной томографии проксимального отдела бедра для выявления лиц с остеопорозом путем сравнения ее результатов с данными двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии, которая является «золотым стандартом» диагностики.

Материалы и методы

В исследование были включены 46 человек: 40 женщин в постменопаузе и 6 мужчин старше 50 лет (Me возраста – 72,5 [65,3; 77,7] года; Me индекса массы тела (ИМТ) – 28,2 [24,1; 30,8] кг/м²). 30 (65%) человек имели ИМТ выше нормального значения (25 кг/м²). Критериями включения были направление лечащим врачом на денситометрическое обследование и подписанное информированное согласие на обследование двумя методами исследования. Критериями не включения были: наличие инородных металлических объектов в области тазобедренных суставов; наличие противопоказаний к проведению исследований на компьютерном томографе; заболевания, связанные с распространенной деструкцией костной ткани (лейкозы, миеломная болезнь, множественные метастазы в кости и др.); посттравматические изменения в местах проведения измерений МПК.

Исследования были выполнены на базе двух медицинских организаций (ГБУЗ г. Москвы «Городская поликлиника № 134 Департамента здравоохранения города Москвы» и ФГБУ «Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова»), интервал между двумя измерениями не превышал одной недели.

Для проведения асинхронной ККТ проксимального отдела бедра использовался программно-аппаратный комплекс СТХА™ (Mindways Software Inc., США) на компьютерном томографе модели Aquilion 64 (Canon Medical Systems, Япония). КТ выполнялась по двум протоколам в зависимости от ИМТ пациента: 1) при сниженном и нормальном ИМТ (менее 25 кг/м²) – 70 мА (средняя эффективная доза облучения – 2,4 мЗв), поле обзора M, L; 2) при повышенном ИМТ (более 25 кг/м²) – 100 мА (средняя эффективная доза облучения – 4,2 мЗв), поле обзора LL. Другими параметрами сканирования были: напряжение 120 кВ; фильтры реконструкции (kernel) FC 08 с коррекцией эффекта усиления жесткости рентгеновского излучения; толщина среза 3 мм; питч (шаг спирали) 0,828.

Исследования ДРА проводились на денситометре с узковерным пучком модели Lunar Prodigy Advance (GE Healthcare, США) в соответствии с рекомендациями фирмы-производителя.

Для исключения влияния приборной ошибки на результаты ККТ и ДРА значительное внимание уделялось контролю качества. Оборудование, которое использовалось для ККТ и ДРА, в процессе исследования было исправно и имело соответствующие разрешительные документы. На компьютерных томографах один раз в месяц проводилась калибровка асинхронного калибровочного модуля программного обеспечения ККТ для используемого напряжения 120 кВ и для трех возможных полей обзора (M, L, LL), согласно рекомендациям производителя. Используемый при исследовании пациентов ДРА сканер также проходил ежедневный и периодический контроль качества в соответствии с рекомендациями фирмы-производителя.

Для определения точности измерения МПК методами ККТ и ДРА использовался фантом РСК ФК2, моделирующий как проекционную, так и объемную плотность костной ткани при сканировании поясничного отдела позвоночника [14]. Измерения проводились пятикратно для каждого метода. При определении с помощью ККТ относительной погрешности измерения объемной МПК средние значения коэффициента вариации (CV%), без моделирования и с моделированием подкожной жировой клетчатки (ПЖК) составили 0,21% и 0,66%, относительной погрешности (ε%) – +2,5% и –1,3% соответственно. При оценке точности определения проекционной МПК с помощью сканирования фантома методом ДРА без моделирования и с моделированием ПЖК CV% составлял 1,00% и 1,05%, ε% – –6,12% и 0,85% соответственно.

Для сравнительного анализа результатов исследования областей проксимального отдела бедра методами асинхронной ККТ и ДРА включали следующие показатели: проекционную МПК, минеральное содержание кости, ПОИ, Т-критерий. Данные пациентов были обезличены.

С целью увеличения объема выборки в сравнение включались данные как по левой, так и по правой бедренной кости. Указанные выше показатели были получены из отчетов по выполненным исследованиям. Т-критерий отражал состояние МПК относительно молодых здоровых лиц. Для ККТ Т-критерий автоматически рассчитывался с применением популяционной базы производителя (manufacturer's СТХА reference data) [10], для ДРА – по данным популяционного исследования NHANES III [2]. Остеопороз, остеопения и норма определялись на основании Федеральных клинических рекомендаций «Остеопороз»,

в соответствии с критериями Всемирной организации здравоохранения для ДРА [1]. Для оценки МПК с помощью ККТ проксимального отдела бедра были использованы аналогичные критерии диагностики в соответствии с рекомендациями ISCD 2019 г. [2].

Статистический анализ проводился с помощью пакета программ Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). Выполнялась проверка на соответствие полученных значений нормальному распределению по критерию Колмогорова – Смирнова. Сравнение МПК, МСК, ПОИ и Т-критерия для ККТ и ДРА проводилось по методу Бленда – Альтмана с оценкой наличия тренда. Основным методом исследования считалась ДРА. Проверка гипотезы о равенстве нулю смещения между соответствующими данными для ДРА и ККТ выполнялась по одновыборочному t-критерию. Также рассчитывались коэффициент корреляции Пирсона и параметры линейной зависимости для показателей состояния костной ткани (МСК, ПОИ, МПК и Т-критерия), определенных с помощью ДРА и ККТ. Уровень статистической значимости для всех критериев установлен при $p < 0,05$.

Данная работа одобрена Локальным этическим комитетом (протокол № 145 от 6.07.2019). Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Результаты

Для определения погрешности измерения двумя методами проводилось исследование с использованием фантома РСК ФК2, которое показало линейные зависимости между измеренными и заданными значениями МПК как для ДРА, так и для ККТ. Измерения проводились с моделированием и без моделирования ПЖК. Средняя относительная погрешность для двух методов составила 0,29%.

В таблице 1 и на рисунках 1–4 приведены результаты сравнения ККТ и ДРА для шейки бедренной кости и бедра в целом. Результаты представлены в виде коэффициентов корреляции и параметров линейной зависимости показателей, полученных с помощью ККТ и ДРА. Отмечалась статистически значимая корреляция между МСК, ПОИ, МПК и Т-критерием. Так, для МПК и Т-критерия в шейке бедра $r=0,93$; для бедра в целом – $r=0,91$ (табл. 1).

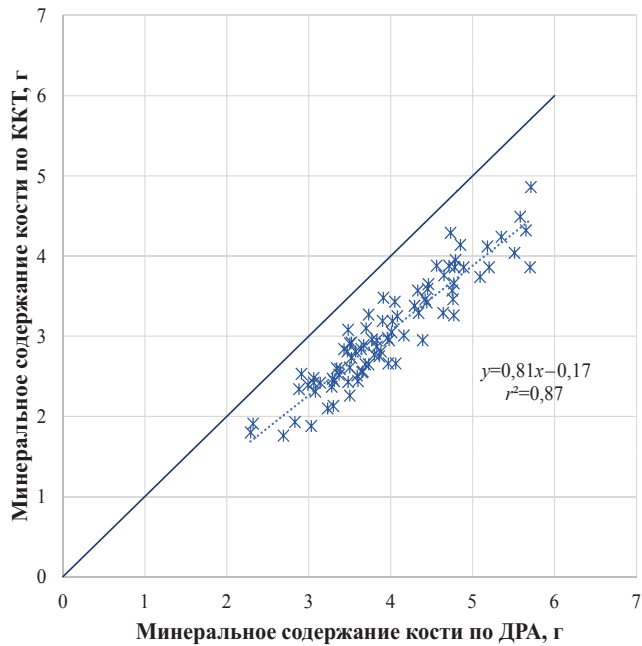
Таблица 1. Коэффициенты корреляции между показателями состояния костной ткани, полученными при проведении ККТ и ДРА

Параметры	r	p
Шейка бедренной кости		
ПОИ	0,71	<0,001
МСК	0,93	<0,001
МПК	0,93	<0,001
Т-критерий	0,93	<0,001
Бедро в целом		
ПОИ	0,85	<0,001
МСК	0,87	<0,001
МПК	0,91	<0,001
Т-критерий	0,91	<0,001

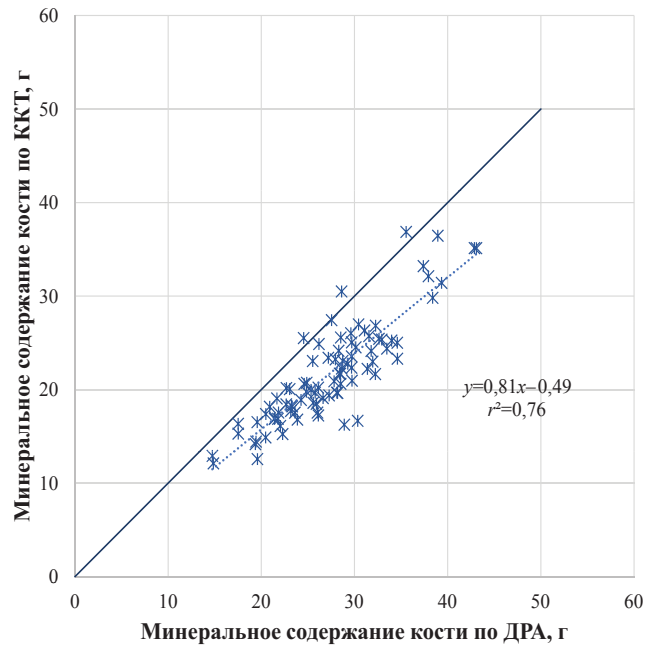
Примечание: ПОИ – площадь области измерения; МСК – минеральное содержание кости; МПК – минеральная плотность кости

Линейные зависимости значений МСК, ПОИ, МПК и Т-критерия приведены на рисунках 1–4. Так, в шейке бедра значения МСК по данным ККТ, были меньше, чем при ДРА (рис. 1а). Аналогичное соотношение

наблюдалось при определении ПОИ (рис. 2а). Для проксимального отдела бедра в целом при проведении ККТ также получены заниженные значения МСК (рис. 1б), в то же время ПОИ была больше, чем при ДРА (рис. 2б).

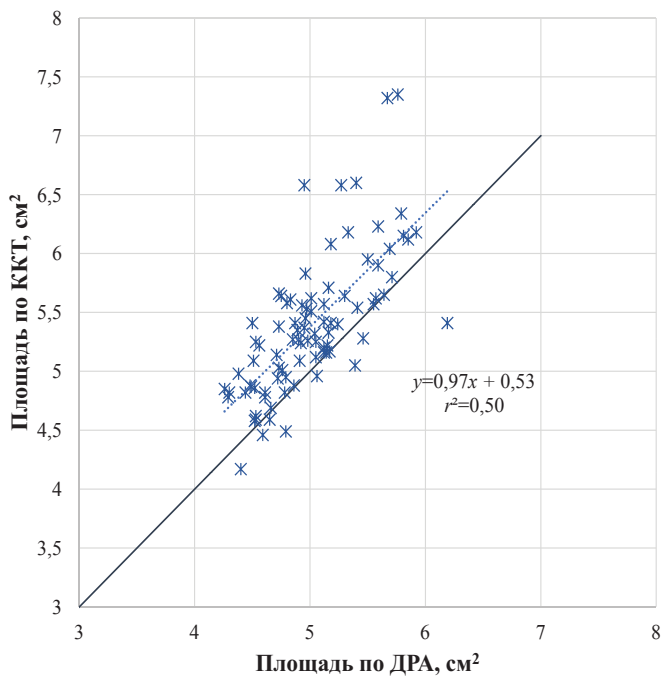


а

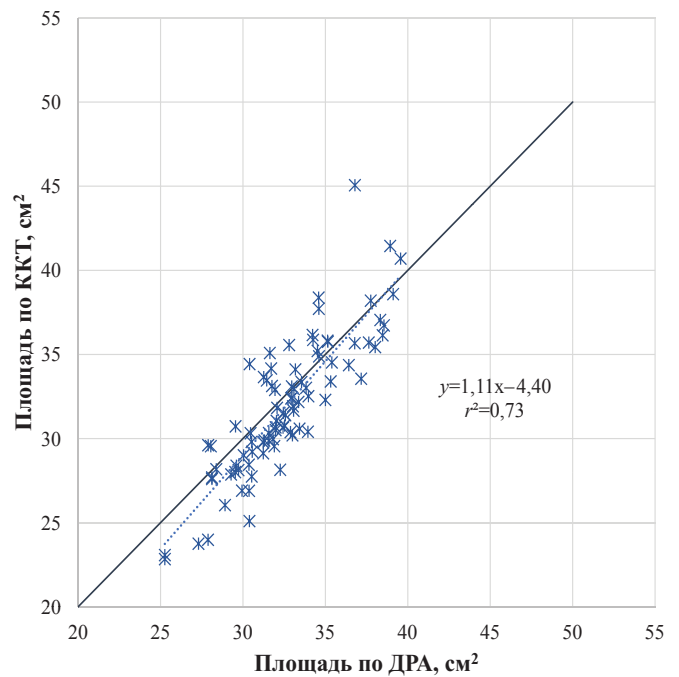


б

Рис. 1. Линейная зависимость МСК по данным ККТ и ДРА для шейки бедренной кости (а) и бедра в целом (б): непрерывная линия – «идеальная» зависимость; пунктирная линия – линия аппроксимации



а



б

Рис. 2. Линейная зависимость ПОИ по данным ККТ и ДРА для шейки бедренной кости (а) и бедра в целом (б): непрерывная линия – «идеальная» зависимость; пунктирная линия – линия аппроксимации

МПК является производной величиной от МСК и ПОИ, поэтому как для шейки бедра, так и для проксимального отдела бедра в целом данный показатель, полученный при ККТ, ниже, чем при его определении с помощью ДРА (рис. 3).

На рисунке 4 приведены графики зависимости Т-критерия для шейки бедра и бедра в целом, которые демонстрируют, что значения этого показателя при ККТ были ниже, чем при ДРА.

При сравнении двух методов с использованием графика Бленда – Альтмана результаты оценивались по средней разнице МСК, ПОИ, МПК и Т-критерия (табл. 2). Так, было выявлено, что метод ККТ занижает оценку МСК шейки бедра (средняя разница показателей $-0,92$ г), но при этом охватывает большую ПОИ (средняя разница показателей $+0,376$ см²). Так как МПК является расчетной величиной и представляет собой отношение МСК к ПОИ, наблюдалось смещение данного показателя на $-0,224$ г/см².

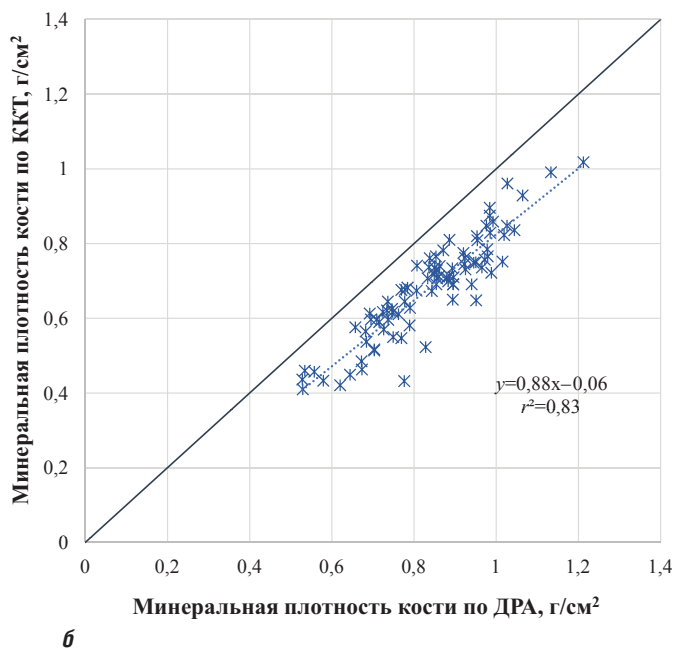
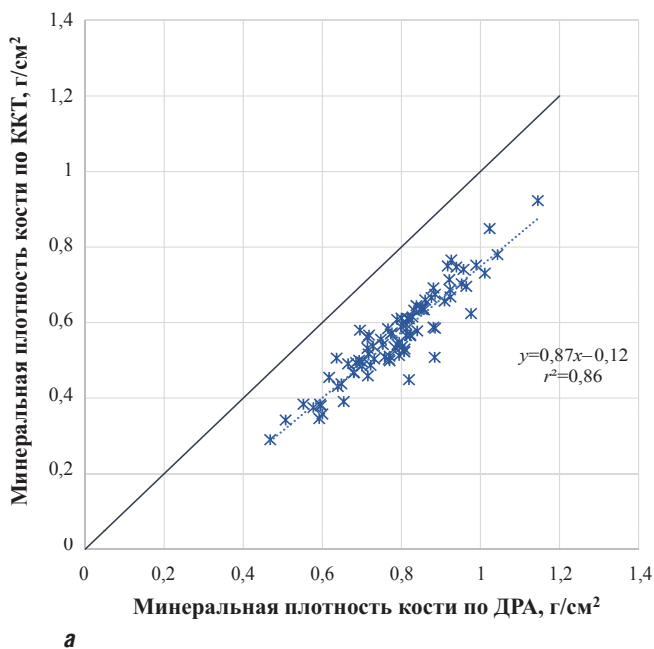


Рис. 3. Линейная зависимость МПК по данным ККТ и ДРА для шейки бедренной кости (а) и бедра в целом (б): непрерывная линия – «идеальная» зависимость; пунктирная линия – линия аппроксимации

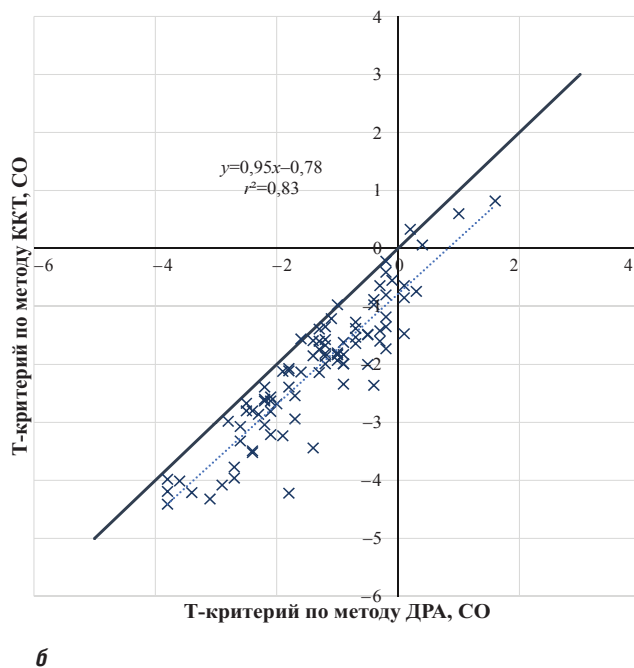
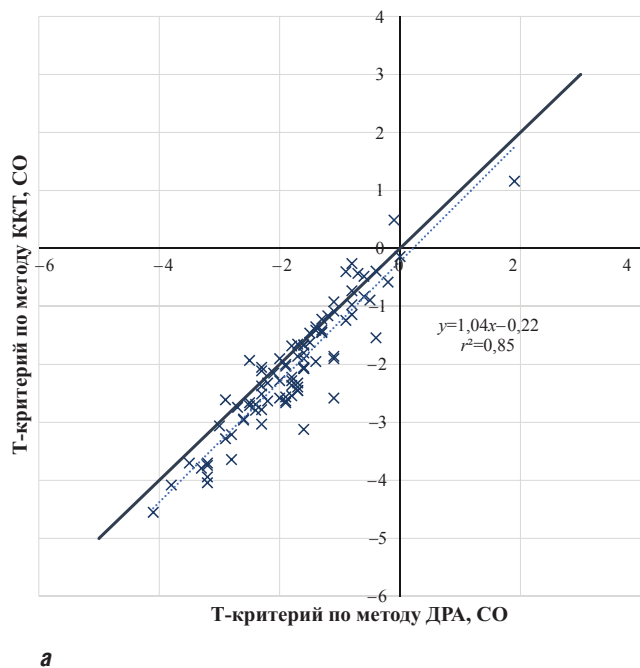


Рис. 4. Линейная зависимость значения Т-критерия для шейки бедра (а) и бедра в целом (б) по данным ККТ и ДРА: «непрерывная линия – «идеальная» зависимость; пунктирная линия – линия аппроксимации

Таблица 2. Результаты анализа по критерию Бленда – Альтмана при сравнении ККТ и ДРА

Параметры	Смещение ККТ-ДРА*	ДИ -95%	ДИ +95%	СО	Среднее значение ДРА	Среднее значение ККТ
Шейка бедренной кости						
ПОИ, см ²	0,376	-0,437	1,190	0,415	5,009	5,386
МСК, г	-0,923	-1,482	-0,363	0,285	3,968	3,045
МПК, г/см ²	-0,224	-0,315	-0,133	0,046	0,791	0,566
Т-критерий, СО	-0,291	-1,067	0,484	0,396	-1,766	-2,058
Бедро в целом						
ПОИ, см ²	-0,68	-4,880	3,522	2,144	32,59	31,912
МСК, г	-5,63	-11,230	-0,024	2,859	27,38	21,753
МПК, г/см ²	-0,16	-0,267	-0,045	0,057	0,83	0,682
Т-критерий, СО	-0,72	-1,656	0,213	0,477	-1,35	-2,072

Примечание: ККТ – количественная компьютерная томография; ДРА – двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия; * – статистически значимый показатель, ДИ – доверительный интервал, СО – стандартное отклонение; ПОИ – площадь области измерения; МСК – минеральное содержание кости; МПК – минеральная плотность кости

Это означает, что среднее значение МПК по данным ККТ на 0,224 г/см² меньше, чем соответствующий показатель, полученный методом ДРА.

Средняя разница значений Т-критерия для шейки бедра при использовании ККТ и ДРА составляла -0,29 СО, и данное смещение являлось статистически значимым (p<0,001). Наиболее выраженной была разница между показателями Т-критерия в зоне остеопороза (-0,38 СО), в то время как при более высоких его значениях это различие почти нивелировалось и при Т-критерии >-1,0 СО составляло -0,04 СО (рис. 5). Для проксимального отдела бедра в целом средняя разница по Т-критерию была более выраженной (-0,72 СО), чем в шейке бедра (табл. 2). Кроме того, различия по Т-критерию в обоих отделах бедра зависели от ИМТ, и при его увеличении разница в показателях уменьшалась. Учитывая характер данной зависимости и большое значение стандартной ошибки регрессии (±2×0,37), рекомендовать отдельные корректировки для отдельных диапазонов Т-критерия неправомерно.

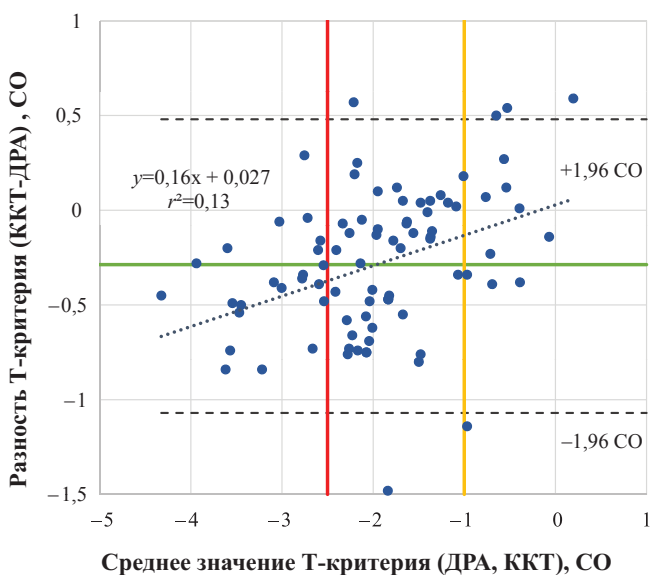


Рис. 5. Диаграмма Бленда – Альтмана. Сравнение значений Т-критерия для шейки бедренной кости, полученных методами ДРА и ККТ. Вертикальные линии соответствуют пограничным значениям «остеопения» и «остеопороз»

Нами выполнена проверка гипотезы о равенстве нулю смещения (средней разности между методами ККТ и ДРА) для таких показателей состояния костной ткани, как МСК, ПОИ и МПК, по одновыборочному критерию Стьюдента. Для всех этих показателей была продемонстрирована статистически значимая разница между данными, которые были получены при ККТ и ДРА (p<0,05).

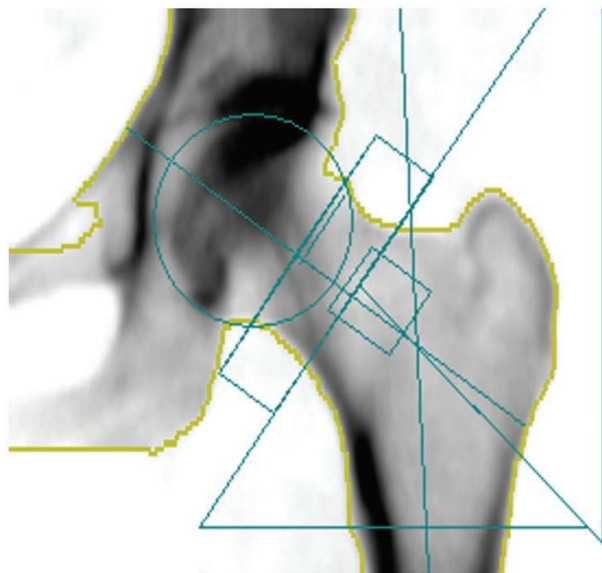
В зависимости от значения Т-критерия в шейке бедренной кости пациенты были распределены в соответствии с результатами ДРА и ККТ на группы лиц, имевших остеопороз, остеопению или норму (табл. 3). Чувствительность ККТ для выявления лиц с остеопорозом составила 93%, специфичность – 84%. При введении поправочного коэффициента количество больных с диагностированным по ККТ остеопорозом уменьшилось, чувствительность осталась прежней (93%), а специфичность метода увеличилась до 90%.

Таблица 3. Частота выявления остеопороза, остеопении и нормальных значений Т-критерия в шейке бедренной кости при использовании разных методов исследования

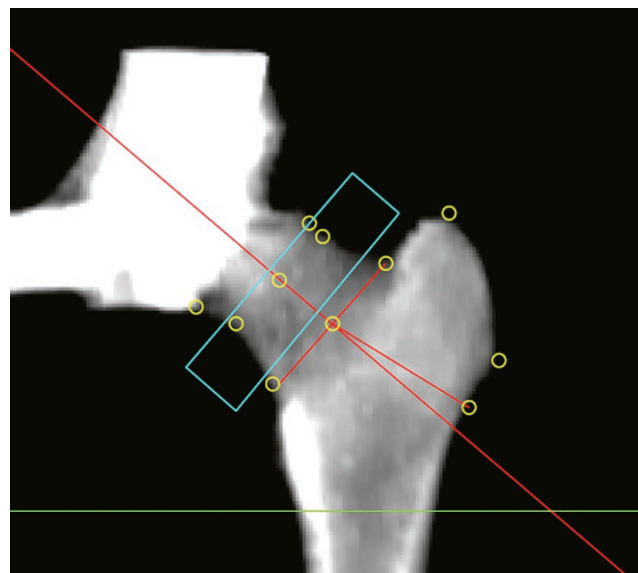
Методы	Остеопороз	Остеопения	Норма
ДРА	15	24	7
ККТ	19	21	6
ККТ с коррекцией	17	22	7

Примечание: ДРА – двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия; ККТ – количественная компьютерная томография

На рисунке 6 представлены изображения проксимального отдела бедра с выставленной автоматической разметкой областей измерения (шейки бедра и бедра в целом) для последующего анализа состояния костной ткани методами ДРА (а) и ККТ (б) у пациентки К. 66 лет с ИМТ=26,1 кг/м². Следует отметить, что при ККТ область шейки бедра маркируется ближе к межвертельной зоне, при этом ПОИ захватывает немного больше трабекулярной ткани, в результате чего измеряемая ПОИ окажется больше, а МПК как расчетная величина будет более низкой по сравнению с результатами ДРА (рис. 6). Значения Т-критерия до корректировки для шейки бедренной кости составили -1,80 СО/-2,54 СО слева и -1,90 СО/-2,63 СО справа; для бедра в целом: -1,30 СО/-1,74 СО слева и -1,90 СО/-2,12 СО справа при ДРА/ККТ



а



б

Рис. 6. Автоматическая разметка проксимального отдела бедра для ДРА (а) и ККТ (б) у пациентки К. 66 лет

соответственно. Так, по ДРА было определено состояние остеопении, а по ККТ – остеопороз. После проведения корректировки ККТ по шейке бедренной кости путем увеличения на 0,29 СО Т-критерий для этого региона составил $-2,25$ СО слева и $-2,34$ СО справа; таким образом, у пациентки диагностирована остеопения, что соответствовало результатам ДРА.

Обсуждение

В рамках нашего исследования выполнено сравнение прямой асинхронной ККТ и ДРА и показано, что результаты, полученные с использованием данных методов, хорошо коррелируют между собой и вполне сопоставимы. Выявленное смещение Т-критерия по данным ККТ относительно ДРА свидетельствует о наличии разных подходов в определении МПК, лежащих в основе рассматриваемых методов, однако использование корректировки позволяет нивелировать данные различия.

Было показано, что при оценке шейки бедренной кости методом ККТ относительно ДРА происходила небольшая переоценка площади этого региона – на 1,8%, при этом отмечалась недооценка площади проксимального отдела бедра в целом – на 0,5%. При ККТ показатель МСК оказался еще более существенно заниженным как для шейки бедра ($-6,5\%$), так и для бедра в целом ($-5,7\%$), что закономерно привело к занижению МПК (на 8,1% и 5,2% соответственно) по сравнению с результатами ДРА этих областей. Таким образом, при использовании ККТ величина МСК обуславливает занижение значений МПК в большей степени, чем разница в оценке площади сканирования. При этом Т-критерий, определенный при ККТ, для шейки бедра был занижен в среднем на 3,8%, а для бедра в целом – на 10,5%.

Итоговая оценка состояния костной ткани проводится по Т-критерию, величина которого в каждом конкретном случае должна быть одинаковой даже при использовании для ее определения разных методов обследования, однако в настоящей работе была продемонстрирована

статистически значимая разница между значениями этого показателя, полученными при ККТ и ДРА, которая составила 0,29 СО для шейки бедра. Аналогичные данные ранее были получены в работе P.J. Pickhard и соавт. [10], в которой занижение Т-критерия в шейке бедра при ККТ составило 0,3 СО. Авторы объясняли различие значений Т-критерия, определявшихся при ККТ и ДРА, использованием разных референсных баз для нормальных значений МПК [10]. Так, при ККТ используется база производителя с данными нормальной МПК у женщин в возрасте от 20 до 39 лет, а при ДРА – база NHANES III с возрастным интервалом 20–29 лет. Поэтому значение МПК у здоровых людей и Т-критерий для ККТ выше, чем для ДРА. Это один из факторов, который может обуславливать занижение оценки Т-критерия при ККТ.

В других исследованиях также было показано занижение значений Т-критерия для шейки бедра при сравнении результатов, полученных при ККТ и ДРА, на 0,1 СО и 0,18 СО соответственно [9, 12]. Так, В.С.С. Khoo и соавт. [9] сравнивали результаты оценки состояния костной ткани методом синхронной ККТ и ДРА, проводившейся на денситометре Hologic QDR 2000. Было показано смещение значений МПК для первого метода относительно второго на 0,01 г/см² при хорошей корреляции как показателей МПК, так и Т-критерия, а также линейной зависимости показателей для шейки бедра ($\text{ККТ}=0,958 \times \text{ДРА}-0,173$) и проксимального отдела бедра в целом ($\text{ККТ}=0,867 \times \text{ДРА}-0,374$). Незначительные различия линейных коэффициентов, отмечавшиеся в нашей работе и в исследовании В.С.С. Khoo и соавт., могут быть связаны с использованием сканеров ДРА разных производителей (Lunar и Hologic), а также с применявшейся в нашем исследовании методикой асинхронной ККТ. Кроме того, В.С.С. Khoo и соавт. проанализировали и другие факторы, определяющие различия результатов при использовании этих методов. Например, разные методы калибровки: для ККТ минеральная плотность определяется в единицах гидроортофосфата калия (K_2HPO_4), тогда как для ДРА применяется гидроксиапатит. Ранее были

продемонстрированы сопоставимые данные рентгеновской плотности для этих веществ, однако небольшое различие существует, и его вклад в оценку МПК увеличивается с ростом минеральной плотности [14]. Также на значения МПК влияет ПОИ. При ККТ применяется технология автоматического исключения окружающих мягких тканей при подготовке к анализу, тогда как при ДРА оценивается все изображение после разметки, а костная ткань определяется по границе плотностей. С этим может быть связано уменьшение площади области проксимального отдела бедра в целом по данным ККТ относительно ДРА. При этом выраженное занижение МСК при ККТ для обеих зон сканирования, отмеченное в нашем исследовании, вероятно, обусловлено раздельным расчетом МСК при ККТ для губчатого вещества и кортикального слоя с последующим их суммированием.

Аналогичные данные были получены С.Е. Сапп и соавт. [6] при сравнении синхронной ККТ и ДРА с использованием денситометра Hologic QDR 1000. В данной работе продемонстрированы следующие линейные зависимости между двумя методами: для шейки бедра $KKT=0,888 \times ДРА - 0,004$, для области «все бедро» $KKT=1,006 \times ДРА - 0,106$. В работе Х. Cheng и соавт. [15] сравнивались результаты ККТ на КТ сканере Toshiba с 16 срезами и ДРА с денситометром Lunar (GE Healthcare). При этом Т-критерий был рассчитан не по базе NHANES III, которая применялась для расчетов на денситометре в нашей работе, а по национальным популяционным данным. В итоге авторы также получили сопоставимые с нашими данные по графикам Бленда – Альтмана.

Помимо сравнения показателей состояния костной ткани, в некоторых работах изучалась чувствительность и специфичность методов при прогнозировании переломов. В этих исследованиях было показано, что ККТ обладает сопоставимыми с ДРА или даже большими возможностями [16, 17].

При анализе распределения пациентов по категориям остеопороз/остеопения/норма при ККТ было выявлено на 26,6% больных с остеопорозом больше, чем при ДРА. Это связано с заниженными значениями Т-критерия по области шейки бедра и бедра в целом. Согласно коэффициентам линейной зависимости Т-критерия, для ДРА и ККТ проведена коррекция значений Т-критерия для ККТ по шейке бедра. Подобный подход к коррекции результатов МПК был также предложен Т.Ж. Zierniewicz и соавт. [12].

Следует отметить, что показатели смещения в формулах линейной корреляции для Т- критерия и смещения, определявшегося по методу Бленда – Альтмана, близки

как для шейки бедренной кости, так и для бедра в целом, а углы наклона близки к «1». Графически это выражается в том, что пунктирная линия аппроксимации практически параллельна непрерывной линии «идеальной калибровки», что значительно упрощает корректировку Т-критерия для этих областей измерения с помощью ККТ путем добавления к его значениям средней разницы показателей, которая составляет 0,29 и 0,72 соответственно.

Ограничениями настоящей работы являются ее одномоментный характер, который не позволил определить вклад полученных результатов в риск переломов; небольшой размер выборки; включение в анализ данных по МПК проксимального отдела бедра с двух сторон; использование определенных моделей ККТ (Mindways) и денситометра (Lunar), что не позволяет экстраполировать полученные результаты на другие аппараты.

Заключение

Показана хорошая корреляция результатов, полученных при определении Т-критерия методами асинхронной ККТ и ДРА с узковерным пучком. Выявлено занижение Т-критерия при ККТ на $-0,29$ СО для шейки бедренной кости и на $-0,72$ СО для проксимального отдела бедра в целом. С учетом проведенного исследования при внедрении асинхронной ККТ в клиническую практику для выявления лиц с остеопорозом рекомендуется предварительно сканировать синхронный фантом для сравнения результатов ККТ и ДРА и скорректировать значения показателей МПК и Т-критерия по ККТ на среднюю разницу между ними.

Прозрачность исследования

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

Декларация о финансовых и других взаимоотношениях

Все авторы принимали участие в разработке концепции статьи и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за статью.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы № АААА-А20-120071090045-7 в соответствии с Программой Департамента здравоохранения города Москвы «Научное обеспечение столичного здравоохранения» на 2020–2022 гг.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Белая ЖЕ, Белова КЮ, Бирюкова ЕВ, Дедов ИИ, Дзеранова ЛК, Драпкина ОМ, и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза. *Остеопороз и остеопатии*. 2021;24(2):4-47. [Belaya ZE, Belova KYu, Biryukova EV, Dedov II, Dzeranova LK, Drapkina OM, et al. Federal clinical guidelines for diagnosis, treatment and prevention of osteoporosis. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2021;24(2):4-47 (In Russ.)]. doi: 10.14341/osteo12930
- International Society for Clinical Densitometry (ISCD). 2019 ISCD Official Positions – Adult. URL: <https://iscd.org/learn/official-positions/adult-positions> (Accessed: 28th February 2022).
- Link TM. Osteoporosis imaging: state of the art and advanced imaging. *Radiology*. 2012;263(1):3-17. doi: 10.1148/radiol.2631201201
- Скрипникова ИА, Щеплягина ЛА, Новиков ВЕ, Косматова ОВ, Абилова АС. Возможности костной рентгеновской денситометрии в клинической практике (Методические рекомендации). *Остеопороз и остеопатии*. 2010;2:23-34. [Skrpnikova IA, Shcheplyagina LA, Novikov VE, Kosmatova OV, Abirova AS. Possibilities of bone X-ray densitometry in clinical practice (Guidelines). *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2010; 2:23-34 (In Russ.)]. doi: 10.14341/osteo2010223-34
- Damilakis J, Adams JE, Guglielmi G, Link TM. Radiation exposure in X-ray-based imaging techniques used in osteoporosis. *Eur Radiol*. 2010;20(11):2707-2714. doi: 10.1007/s00330-010-1845-0
- Cann CE, Adams JE, Brown JK, Brett AD. CTXA hip – an extension of classical DXA measurements using quantitative CT. *PLoS One*. 2014;9(3):e91904. doi: 10.1371/journal.pone.0091904

7. Brown JK, Timm W, Bodeen G, Chason A, Perry M, Vernacchia F, et al. Asynchronously calibrated quantitative bone densitometry. *J Clin Densitom.* 2017;20(2):216-225. doi: 10.1016/j.jocd.2015.11.001
8. Gausden EB, Nwachukwu BU, Schreiber JJ, Lorich DG, Lane JM. Opportunistic use of CT imaging for osteoporosis screening and bone density assessment: A qualitative systematic review. *J Bone Joint Surg Am.* 2017;99(18):1580-1590. doi: 10.2106/JBJS.16.00749
9. Khoo BC, Brown K, Cann C, Zhu K, Henzell S, Low V, et al. Comparison of QCT-derived and DXA-derived areal bone mineral density and T scores. *Osteoporos Int.* 2009;20(9):1539-1545. doi: 10.1007/s00198-008-0820-y
10. Pickhardt PJ, Bodeen G, Brett A, Brown JK, Binkley N. Comparison of femoral neck BMD evaluation obtained using Lunar DXA and QCT with asynchronous calibration from CT colonography. *J Clin Densitom.* 2015;18(1):5-12. doi: 10.1016/j.jocd.2014.03.002
11. Engelke K, Lang T, Khosla S, Qin L, Zysset P, Leslie WD, et al. Clinical use of quantitative computed tomography (QCT) of the hip in the management of osteoporosis in adults: The 2015 ISCD official positions – Part I. *J Clin Densitom.* 2015;18(3):338-358. doi: 10.1016/j.jocd.2015.06.012
12. Ziemlewicz TJ, Maciejewski A, Binkley N, Brett AD, Brown JK, Pickhardt PJ. Opportunistic quantitative CT bone mineral density measurement at the proximal femur using routine contrast-enhanced scans: direct comparison with DXA in 355 adults. *J Bone Miner Res.* 2016;31(10):1835-1840. doi: 10.1002/jbmr.2856
13. Петрайкин АВ, Низовцова ЛА, Сергунова КА, Ахмад ЕС, Семенов ДС, Петрайкин ФА, и др. Оценка точности асинхронной компьютерной денситометрии по данным фантомного моделирования. *Радиология – практика.* 2019;78(6):48-59. [Petraikin AV, Nisovtsova LA, Sergunova KA, Akhmad ES, Semenov DS, Petrayaykin FA, et al. Accuracy of asynchronous quantitative computed tomography by phantom modelling. *Radiology – Practice.* 2019;78(6):48-59 (In Russ.)].
14. Cameron JR. Determination of body composition *in vivo*. Wisconsin;1969.
15. Cheng X, Wang L, Wang Q, Ma Y, Su Y, Li K. Validation of quantitative computed tomography-derived areal bone mineral density with dual energy X-ray absorptiometry in an elderly Chinese population. *Chin Med J (Engl).* 2014;127(8):1445-1459.
16. Pickhardt PJ, Lee LJ, del Rio AM, Lauder T, Bruce RJ, Summers RM, et al. Simultaneous screening for osteoporosis at CT colonography: Bone mineral density assessment using MDCT attenuation techniques compared with the DXA reference standard. *J Bone Miner Res.* 2011;26(9):2194-2203. doi: 10.1002/jbmr.428
17. Yu W, Glüer CC, Grampp S, Jergas M, Fuerst T, Wu CY, et al. Spinal bone mineral assessment in postmenopausal women: A comparison between dual X-ray absorptiometry and quantitative computed tomography. *Osteoporos Int.* 1995;5(6):433-439. doi: 10.1007/BF01626604

Петрайкин А.В. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>
Торопцова Н.В. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4739-4302>
Никитинская О.А. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6759-8367>
Кузнецов С.Ю. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8558-7725>
Низовцова Л.А. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9614-4505>
Ахмад Е.С. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8235-9361>
Артюкова З.Р. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2960-9787>
Семенов Д.С. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>
Сергунова К.А. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9596-7278>
Владимирский А.В. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>
Морозов С.П. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>