



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-108-118>

Сравнение двух методик асинхронной КТ-денситометрии

© Петряйкин А.В.^{1*}, Сморгочкова А.К.², Кудрявцев Н.Д.¹, Сергунова К.А.¹,
Артюкова З.Р.^{1,2}, Абуладзе Л.Р.³, Яссин Л.Р.³, Петряйкин Ф.А.⁴,
Лобанов М.Н.¹, Николаев А.Е.¹, Хоружая А.Н.¹, Семенов Д.С.¹,
Низовцова Л.А.¹, Владзимирский А.В.¹, Морозов С.П.¹

¹ ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”; 109029 Москва, ул. Средняя Калитниковская, д. 28, стр. 1, Российская Федерация

² ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации; 121359 Москва, ул. Маршала Тимошенко д.19, с.1А, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); 119991 Москва, ул. Трубецкая, д.8, стр. 2, Российская Федерация

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; 119991 Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация

Обоснование. Количественная компьютерная томография (ККТ) с асинхронной калибровкой не требует фантома при сканировании пациента. На основе данных калибровки этот метод преобразует рентгеновскую плотность (НУ) в минеральную плотность кости (МПК). Учитывая большое количество КТ-исследований, проводимых у пациентов с риском остеопороза, существует потребность в практичном методе, позволяющем оценить МПК за короткий период времени без специального программного обеспечения.

Цель. Разработать метод денситометрии кости QCT с использованием фантома РСК ФК2, сравнить измерения разработанного метода и результатами QCT с асинхронной калибровкой с использованием программного обеспечения от известного производителя.

Методы. Исследования проводились на 64-срезовом КТ-сканере. МПК измеряли с использованием двух методов: 1) QCT с асинхронной калибровкой с использованием программного обеспечения от известного производителя; 2) QCT-ФК с использованием фантома РСК ФК2 (Разработка средств измерения, фантом калиевый вторая модификация). Для преобразования НУ в значения МПК мы сканировали фантом РСК ФК2 и рассчитывали поправочный коэффициент. Фантом содержит “позвонки”, заполненные гидрофосфатом калия в разных концентрациях. В обоих методах значения BMD измеряли для позвонков L₁₋₁₁ (в ряде наблюдений для Th₁₁, L₁₁).

Результаты. В исследование было включено 65 человек (11 мужчин и 54 женщины); медиана возраста 69,0 года Q1 60 лет, Q3 71 год. Сравнение МПК позвонков, измеренное с помощью методов QCT и QCT-ФК, выявило значимую линейную корреляцию Пирсона $r = 0,977$ ($p < 0,05$). Анализ по Бленду–Альтману показал отсутствие связи между разницей в измерениях показателей и средней BMD, также было отмечено достоверное систематическое смещение BMD +4,50 мг/мл в QCT по сравнению с QCT-ФК. С использованием непараметрического критерия Уилкоксона было показано, что различия в разбиении на группы: остеопороз / остеопения / норма по критериям ACR (American College Radiology) для двух методов было недостоверным.

Вывод. Разработанный асинхронный метод QCT-ФК измеряет МПК сравнимо с широко используемым методом QCT с асинхронной калибровкой. Этот метод может использоваться для оппортунистического скрининга остеопороза.

Ключевые слова: количественная компьютерная томография, ККТ, оппортунистический скрининг остеопороза, минеральная плотность кости, МПК, фантомное моделирование

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Петряйкин А.В., Сморгочкова А.К., Кудрявцев Н.Д., Сергунова К.А., Артюкова З.Р., Абуладзе Л.Р., Яссин Л.Р., Петряйкин Ф.А., Лобанов М.Н., Николаев А.Е., Хоружая А.Н., Семенов Д.С., Низовцова Л.А., Владзимирский А.В., Морозов С.П. Сравнение двух методик асинхронной КТ денситометрии. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (4): 108–118. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-108-118>

Поступила в редакцию: 24.09.2020.

Принята к печати: 24.11.2020.

Опубликована online: 10.12.2020.



Comparison of two asynchronous QCT methods

© Alexey V. Petraikin¹, Anastasia K. Smorchkova², Nikita D. Kudryavtsev¹,
Kristina A. Sergunova¹, Zlata R. Artyukova^{1, 2}, Liya R. Abuladze³, Leila R. Iassin³,
Fedor A. Petraikin⁴, Mihail N. Lobanov¹, Alexander E. Nikolaev¹, Anna N. Khoruzhaya¹,
Dmitry S. Semenov¹, Lyudmila A. Nisovstova¹, Anton V. Vladzimirskyy¹, Sergey P. Morozov¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; 16/26, str. 1, Raskovoy str. 125124, Moscow, Russian Federation

² Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation; Russia, 19, str. 1A, Marshala Timoshenko str., 121359 Moscow, Russian Federation

³ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8 bld. 2, Trubetskaya str., 119991 Moscow, Russian Federation

⁴ Lomonosov Moscow State University; 1, Leninskie gori, 119991, Moscow, Russian Federation

Rationale. Quantitative CT (QCT) bone densitometry with asynchronous calibration not require a phantom during the scan procedure. Based on calibration data it converts X-ray density in HU to bone mineral density (BMD). Given the large number of CT studies performed on patients at risk of osteoporosis, there is a need for a hands-on method capable of assessing BMD in a short period of time without tailored software or protocols.

Goal. To develop a method for QCT bone densitometry using an PHK (PHantom Kalium), to compare the volume BMD measurements with the QCT data with asynchronous calibration provided by software from a reputable developer.

Methods. The studies were performed at 64-slice CT unit with body scanning parameters. The BMD was measured using two techniques: 1) QCT with asynchronous calibration using software from a reputable developer; 2) QCT using a PHK phantom (QCT-PHK). For convert the HU to BMD values, we scanned the PHK phantom and calculate correction factor. Phantom contains "vertebrae" filled with potassium hydrogen phosphate in different concentrations. In both methods, the BMD values measured for L_{1-4} , and sometimes for Th_{xii} , L_{xiii} .

Results. The study enrolled 65 subjects (11 male and 54 female patients); median age 69.0 years. A comparison of the vertebrae BMD measured by QCT and QCT-PHK revealed a significant linear Pearson correlation $r = 0.977$ ($p < 0.05$). The Bland-Altman analysis demonstrated a lack of relationship between the difference in measurements and the average BMD and a systematic BMD; bias of +4.50 mg/ml in QCT vs. QCT-PHK. Differences in the division into groups osteoporosis / osteopenia / norm according to the ACR criteria for the two methods were not significant.

Conclusion. The developed asynchronous QCT-PHK method measure BMD comparable to the widely used QCT with asynchronous calibration. This method can be used for opportunistic screening for osteoporosis.

Keywords: quantitative computed tomography, QCT, opportunistic screening for, bone mineral density, BMD, phantom study

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Petraikin A.V., Smorchkova A.K., Kudryavtsev N.D., Sergunova K.A., Artyukova Z.R., Abduladze L.R., Iassin L.R., Petraikin F.A., Lobanov M.N., Nikolayev A.E., Khoruzhaya A.N., Semenov D.S., Nizovtsova L.A., Vladzimirskyy A.V., Morozov S.P. Comparison of two asynchronous QCT methods. *Medical Visualization*. 2020; 24 (4): 108–118. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-4-108-118>

Received: 24.09.2020.

Accepted for publication: 24.11.2020.

Published online: 10.12.2020.

Введение

Денситометрия как рентгеновский метод измерения плотности объектов уже давно используется в клинической практике. Одним из видов денситометрии является остеоденситометрия – метод, применяющийся для определения минеральной плотности кости (МПК) при диагностике остеопороза и оценке риска патологических переломов. Одним из видов остеоденситометрии, для которого не требуется установка дополнительного оборудования, является количественная КТ-денсито-

метрия [1]. Методики измерения МПК по данным КТ-исследования основываются на построении калибровочной прямой, позволяющей переводить единицы Хаунсфилда (HU) в значения МПК, по данным сканирования калибровочного фантома. Одним из видов КТ-денситометрии, применяющийся в клинической практике, является методика асинхронной QCT (без сканирования одновременно пациента и фантома). Для ее корректного использования необходимо периодическое (1 раз в месяц) сканирование фантома, предлагаемого



фирмой-производителем, с целью построения описанной выше калибровочной прямой для расчета и оценки МПК. Оценка МПК производится в области поясничного отдела позвоночника с использованием пользовательского интерфейса программного обеспечения (ПО) [2, 3].

Поскольку для КТ-денситометрии не требуется специальная укладка и подготовка пациента, становится возможным оппортунистический скрининг остеопороза на основе ранее полученных данных КТ-исследований [4] других областей (скрининг рака легкого, скрининг рака прямой кишки посредством КТ-колонографии [5], а также при анализе серий рутинных КТ органов грудной клетки [6] и органов брюшной полости [7–10]). Доступное для анализа большое количество КТ изображений органов грудной клетки и брюшной полости делает методику оппортунистического скрининга остеопороза привлекательной.

Например, в разгар пандемии COVID-19 в Москве за 3 мес КТ органов грудной клетки были выполнены более 93 тыс. пациентам старше 50 лет. Учитывая популяционные данные [11], из них более 29 тыс. пациентов с признаками остеопороза.

Учитывая бремя остеопороза, обусловленное прежде всего осложнениями – патологическими переломами [11], актуально создание методик оценки МПК, которые не требовали бы проведения отдельных исследований, больших дополнительных затрат и позволили бы сформировать группу риска для дальнейшего дообследования и назначения необходимой антирезорбтивной терапии.

Целью нашего исследования является разработка методики асинхронной количественной компьютерной томографии (QCT-ФК) с использованием фантома РСК-ФК2 на основе гидрофосфата калия и сравнение результатов измерения минеральной плотности кости позвонков с данными используемой в практике асинхронной КТ-денситометрии известного производителя [12].

Материалы и методы

Исследования выполнены на 64-срезовом КТ сканере: напряжение 120 кВ, сила тока при (пониженном) / (нормальном и повышенном) индексе массы тела 50/100 мА, фильтр реконструкции kernel FC08 (реконструкция мягких тканей с коррекцией эффекта beam hardening), область сканирования FOV 400 мм. Толщина среза реконструкции в аксиальной плоскости 3 мм.

Измерения объемной МПК (использовано сокращение МПК) проводили двумя способами: 1) методом асинхронной QCT известного произ-

водителя [12] с калибровкой по асинхронному фантому. Здесь и далее методика обозначена как “QCT”.

2) предложенным методом “QCT-ФК” (здесь и далее) с калибровкой по фантому РСК-ФК2.

Асинхронная QCT

Измерения МПК методом асинхронной QCT выполнялись в соответствии с рекомендациями производителя программного обеспечения [12]. Для этого у каждого пациента последовательно выделялась зона интереса в передней части тела позвонка (в большей части случаев анализировались позвонки L₄₋₁₁ (рис. 1)). Срезы выравнивались с помощью инструмента ротации. Оптимальная область интереса захватывала регион губчатой кости без включения кортикального слоя, была расположена над позвоночной веной и охватывала при этом максимально возможную площадь губчатой кости. Измерения МПК проводились в трехмерной области интереса толщиной 9 мм, в выделенной эллиптической области. Усредненные значения МПК, отложенные на возрастной нормативной кривой, а также риски повторных переломов экспортировались в виде стандартизованных отчетов в ЕРИС (Единый Радиологический Информационный Сервис) (рис. 1).

Калибровка КТ сканера по асинхронному фантому Model 4 проводилась ежемесячно в соответствии с рекомендациями [12].

Асинхронная методика QCT-ФК

Измерения МПК по методу QCT-ФК проводились для тех же пациентов и позвонков в программе просмотра изображений в ЕРИС с оценкой среднего значения HU внутри эллиптической стандартизированной области интереса, размер которой был сопоставим с размером области интереса для QCT (рис. 2). Так же, по аналогии с последовательностью измерений для QCT область интереса захватывала передние отделы тела позвонка, вещество губчатой кости без кортикального слоя и позвоночной вены. Полученные значения HU конвертировались в МПК по данным калибровки, полученным с помощью фантома РСК-ФК2.

Для построения калибровочной прямой проводилось сканирование полуантропоморфного фантома РСК-ФК2 [2]. Фантом содержит секции позвонков со значениями МПК (K_2HPO_4) 50,13; 100,18; 150,38 и 200,49 мг/мл с точностью задания объемной концентрации 0,5% (рис. 3, а). Калибровочная прямая пересчета HU в значения МПК строилась по усредненным результатам пятикратного сканирования фантома. В конструкцию фантома входят две парафиновые накладки, толщи-

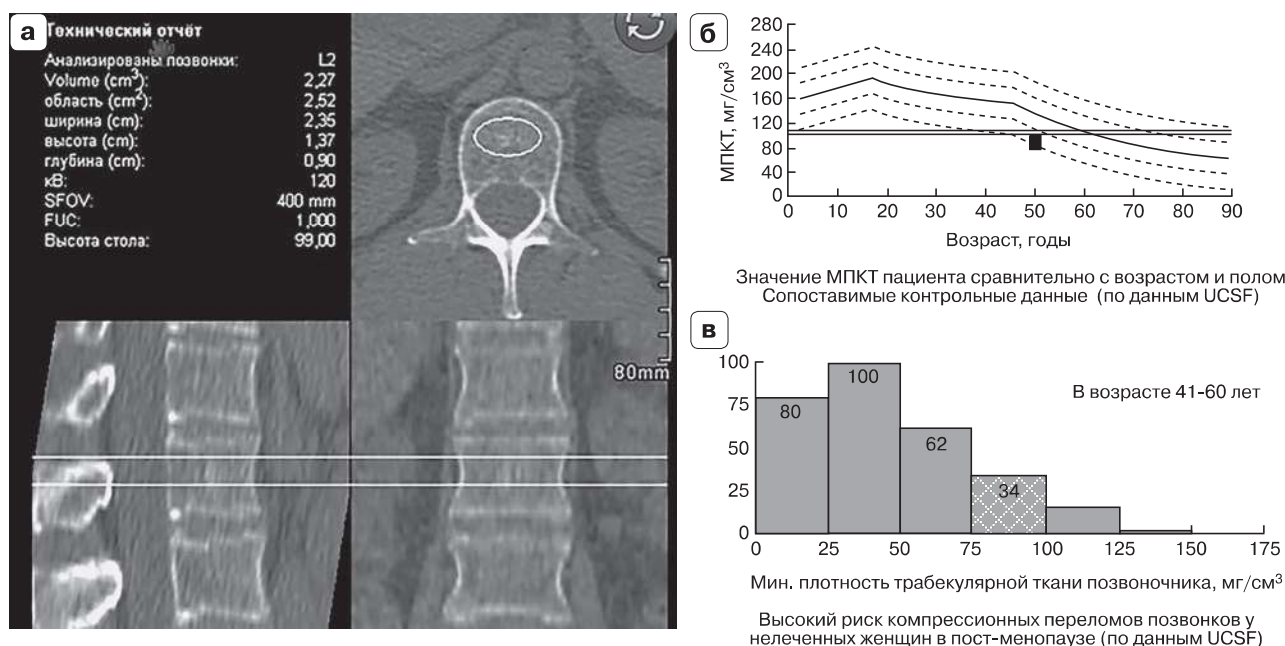
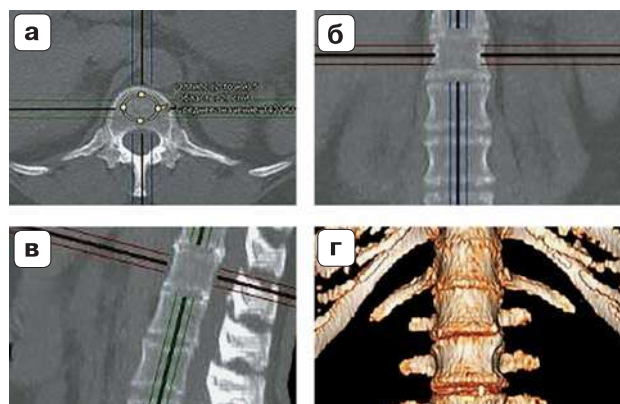


Рис. 1. Представление стандартизованного отчета определения МПК поясничного отдела позвоночника методом QCT из ЕРИС. **а** – локализация области интереса; **б** – измерения МПК на нормативной возрастной кривой; **в** – оценка риска переломов позвонков с учетом измеренной МПК.

Fig. 1. A URIS standardized report for assessment of lumbar vertebrae BMD by QCT. **а** – localized areas of interest; **б** – altered BMD on the reference age curve; **в** – fracture risks with reference to BMD changes.

Рис. 2. Пример позиционирования области интереса для оценки МПК на КТ-изображении пациента с использованием инструментов ЕРИС. **а** – аксиальная плоскость с результатами измерения HU в указанной области интереса; **б** – корональная плоскость; **в** – сагиттальная плоскость; **г** – 3D реконструкция.

Fig. 2. Localization of the area of interest to assess BMD on a CT image using URIS tools. **а** – axial plane with outcomes (HU) in the area of interest; **б** – coronal plane; **в** – sagittal plane; **г** – 3D reconstruction.



ной 38 мм, для моделирования подкожно-жировой клетчатки (ПЖК). Для построения калибровочной прямой использовались данные сканирования фантома с ПЖК, поскольку это более точно имитирует тканевый состав тела человека (рис. 3, б).

Для обоих методов QCT и QCT-ФК значения МПК получали усреднением измеренных значений, полученных для позвонков L_{I-II}, в ряде случаев Th_{XII}, L_{III}.

В данное исследование включались все пациенты старше 60 лет, которым было выполнено исследование QCT по направлению лечащего врача. Критерием исключения было наличие значимых изменений в позвонках Th_{XII}–L_{III} (метастатическое поражение, ортопедические конструкции и т.п.).

Исследования выполнялись в пределах одного месяца после калибровок КТ сканера для методик QCT и QCT-ФК, что позволило избежать необходимости повторной калибровки и связанных с этим возможных погрешностей. Распределение пациентов по группам “остеопороз” (МПК < 80 мг/мл), “остеопения” (80 < МПК < 120 мг/мл), “норма” (МПК > 120 мг/мл) проводилось по критериям American College of Radiology, 2018 revision 9 [13].

Данное исследование выполнено ретроспективно, результаты оценки МПК по методу QCT-ФК не влияли на постановку диагноза.

Статистический анализ сравнения МПК, полученный двумя методами, выполнен по методу

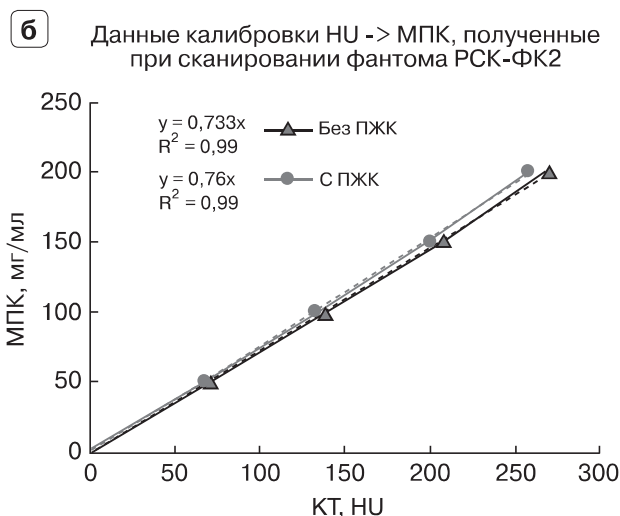
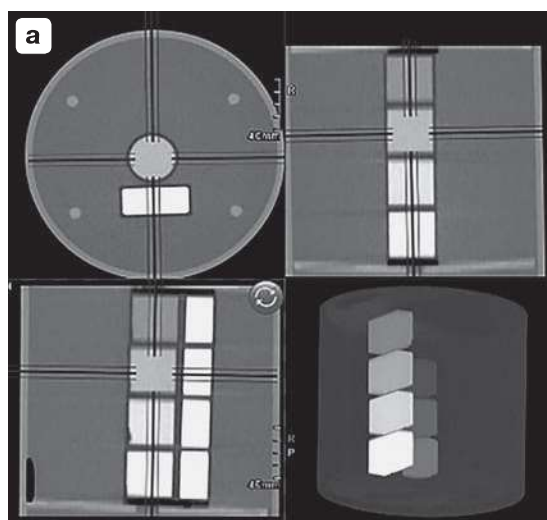


Рис. 3. Результаты сканирования фантома. **а** – КТ-изображения фантома РСК-ФК2 (мультипланарная реконструкция); **б** – калибровочная прямая в двух конфигурациях фантома с/без моделирования подкожно-жировой клетчатки (ПЖК).

Fig. 3. Results of the phantom scan. **a** – a CT image of the PHK phantom (multiplanar reconstitution); **б** – calibration line for phantom w/ and w/o subcutaneous adipose tissue (FAT).

Бленда–Альтмана и расчету коэффициента корреляции Пирсона. Сравнение распределения пациентов по группам норма/остеопения/остеопороз выполнялось с использованием непараметрического критерия Уилкоксона. Уровень значимости для всех критериев установлен $p < 0,05$.

Этическая экспертиза

По результату проведенной этической экспертизы на заседании НЭК МРО РОПР принято решение об одобрении данной публикации (протокол заседания независимого этического комитета, НЭК МРО РОПР от 17.09.2020 № 4/2020).

Результаты

По результатам пятикратного сканирования фантома были построены калибровочные прямые и определен поправочный коэффициент, определенный как угол наклона прямой для сканирования фантома с моделированием подкожно-жировой клетчатки (рис. 3). Рассчитанный поправочный коэффициент был равен $a = 0,765$ и использовался для пересчета измеренных внутри позвонков значений в HU в МПК у пациентов.

В исследование было включено 65 пациентов (11 мужчин, 54 женщины), которым ретроспективно выполнена оценка МПК методами QCT и QCT-ФК. Средний возраст пациентов составлял 64,6 лет, медиана 69,0 лет, 25%- и 75%-квартили 60 и 71 год.

При сравнении МПК позвонков пациентов по методам QCT и QCT-ФК была получена значимая

линейная корреляция Пирсона $R^2 = 0,977$ ($p < 0,05$) (рис. 4, а).

По результатам сравнения двух методов по критерию Бленда–Альтмана было показано отсутствие зависимости разности измерений от среднего значения МПК (коэффициенты линейной регрессии не имели статистически значимого отличия от нуля (рис. 4, б): для коэффициента наклона $p = 0,14$; для коэффициента смещения $p = 0,35$). Было показано статистически значимое смещение МПК при измерении методом QCT-ФК, равное $+4,50$ мг/мл ($p = 0,00$). Рассчитанное значение смещения может быть учтено при коррекции значений МПК, полученных методом QCT-ФК.

Стандартное отклонение разностей МПК, полученных методами QCT и QCT-ФК, составило 4,86 мг/мл, что соответствует 6,0% для значения МПК 80 мг/мл (уровень границы остеопороз/остеопения) и 4,0% для 120 мг/мл (уровень границы остеопения/норма).

Распределение пациентов по группам согласно критериям ACR при анализе по методу QCT составило 25 пациентов (38%) в группе “остеопороз”, 26 пациентов (40%) в группе “остеопения” (МПК < 80 мг/мл) и 14 пациентов (21%) в группе “норма” (рис. 5). Для QCT-ФК с корректировкой на 4,50 мг/мл распределение по группам составило 26 (40%), 24 (37%) и 15 (23%) человек, соответственно (см. рис. 5). Сравнение распределений пациентов по группам остеопороз/остеопения/норма, определенных двумя методами QCT и QCT-ФК с коррекцией на систематическое смещение,

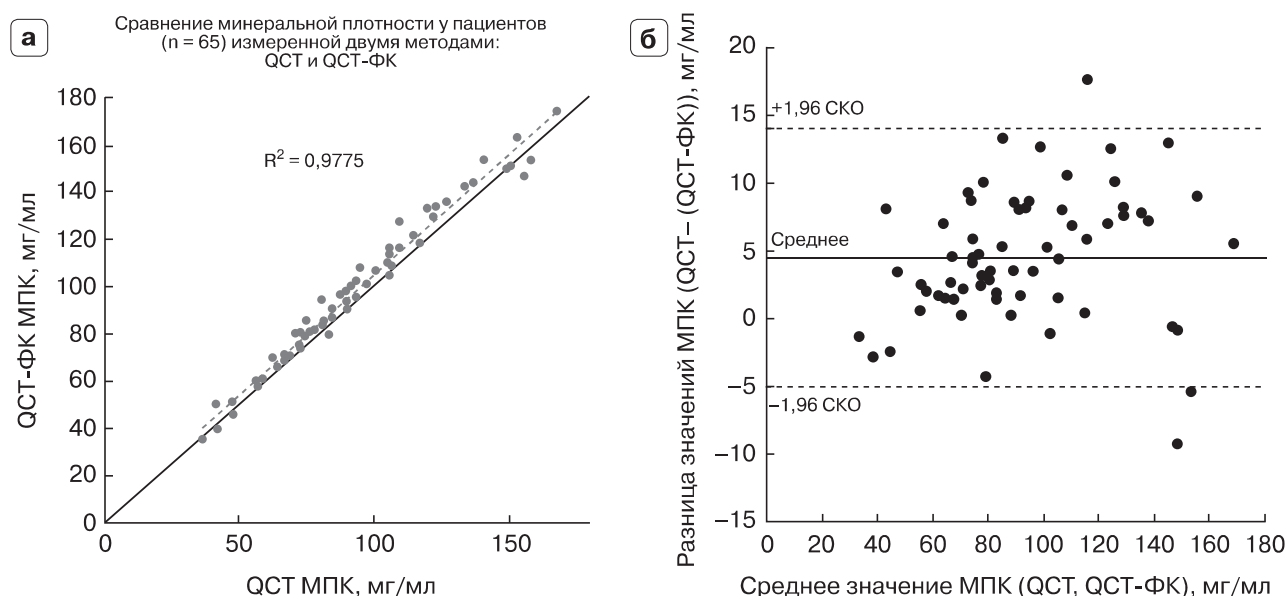


Рис. 4. Результаты сравнения измерений МПК двумя методами: QCT и QCT-ФК. **а** – линейная регрессия при сравнении МПК двумя методами; **б** – график Бленда-Альтмана.

Fig. 4. Comparison of QCT and QCT-PHK measurements of BMD. **a** – linear regression; **b** – Bland-Altman plot.

проведено с использованием непараметрического критерия Уилкоксона. В результате анализа показано отсутствие статистически значимых различий на уровне значимости $p < 0,05$.

Следует отметить время, затрачиваемое на проведение оценки в соответствии с каждым методом. Используя серверную версию программы QCT, врач-рентгенолог выполняет загрузку исследования из ЕРИС в специализированное ПО и проводит оценку МПК примерно за 10–15 мин, в то

время как, применяя метод QCT-ФК, он оценивает МПК за 3–5 мин используя инструменты ЕРИС без использования дополнительного программного обеспечения.

Обсуждение

Расширение парка КТ-сканеров и объемов выполняемых исследований предоставляет большое количество КТ изображений органов грудной клетки и брюшной полости доступное для оппортунистического скрининга остеопороза путем определения минеральной плотности костной ткани [1]. При этом требования к методике, наряду с точностью и быстротой анализа, – возможность определения МПК без сканирования пациента одновременно с калибровочным фантомом, что значительно упрощает выполнение исследования.

Наряду с внедренной в клиническую практику асинхронной методикой QCT [12] возможна оценка МПК другими методами без использования фантома во время сканирования. Например, применение двухэнергетической КТ с двухслойным (dual layers) детектором [10]. При сравнении методики, основанной на двухэнергетическом сканировании с асинхронной QCT Pro [10] была выявлена существенная корреляция ($r = 0,987$). Систематическое смещение значений МПК между двумя методами составило +2,81 мг/мл при использовании фантома ESP на основе гидроксипатита кальция [10], которое авторы исследования связывают с ошибкой из-за отсутствия учета

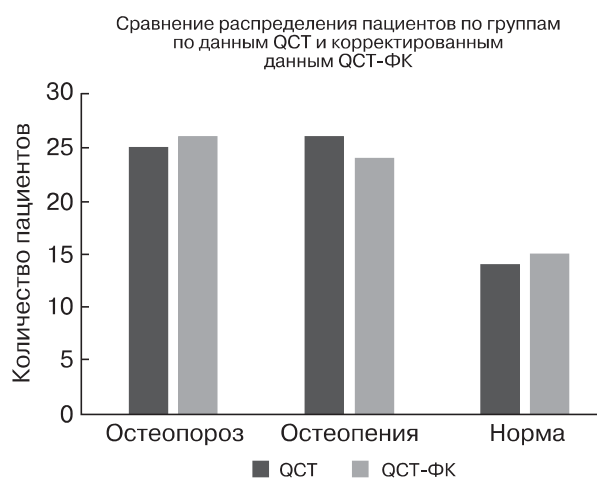


Рис. 5. Распределение пациентов в соответствии с критериями ACR. Сравнение прямой QCT и QCT-ФК.

Fig. 5. Distribution of patients in line with the ACR criteria. Comparison of QCT and QCT-PHK methods.



жировой фракции костного мозга, отмеченной и подтвержденной ранее в нескольких работах [14, 15]. По мнению авторов, эта ошибка может быть сведена к минимуму при использовании предлагаемой двухэнергетической КТ [10], однако двухэнергетические методики определения МПК ограничены небольшим количеством установленного оборудования (КТ с двухслойным, dual layers, детектором).

По данным литературы, ранее были проведены исследования, в которых для оценки МПК и риска переломов использовались только значения единиц Хаунсфилда, без дополнительного программного обеспечения [8]. Оценка МПК только по данным НУ без проведения калибровки сканера привлекательна, но при этом ограничена точность методики: разбросы в определении НУ при сканировании фантомов составили 68 НУ для минеральной плотности 199,2 мг/мл, что составляет более 25% от средних показателей, приведенных для 20 сканеров [18]. Отмеченные нами ранее различия НУ при проведении фантомных исследований и при оценке рентгеновской плотности у пациентов обусловлены особенностями режимов сканирования, использованием различных фильтров реконструкции (kernel) [19, 20, 21]. Приводятся практические рекомендации по созданию встроенного в матрас пациента калибровочного модуля с набором разведений хлорида кальция [21]. Это свидетельствует в пользу применения калибровки и поддержания стабильной работы сканера для оценки МПК, что зафиксировано в соответствующих позициях ISCD [16] на основе большого материала.

Разработанная методика QCT-ФК позволяет упростить процедуру расчета МПК по результатам выполненного исследования, проводя измерения в программе просмотра КТ-изображений в ЕРИС и расчете МПК по данным калибровки с помощью фантома РСК-ФК2 без привлечения дополнительного программного обеспечения.

Одним из факторов сопоставимости результатов QCT и QCT-ФК можно отметить использование в обоих случаях калибровочных фантомов, моделирующих МПК растворами гидроортофосфата калия. В случае QCT – это был фантом модели 4 [12] – цилиндр с диаметром 4 см, содержащий раствор с высокой концентрацией K_2HPO_4 . Для проведения калибровочных измерений по методу QCT-ФК использовался фантом РСК-ФК2, цилиндр с диаметром 20 см заполненный водой с дополнительными парафиновыми накладками и вставками “позвонков” с концентрацией K_2HPO_4 в растворе от 50 до 550 мг/мл [2, 3]. Измерение МПК двумя методами проведено при идентичных

параметрах КТ-сканирования. Выявленное систематическое смещение при анализе по Бленду–Альтману (рис 4, б) вероятнее обусловлено различием конфигураций фантомов, которые применяются для калибровки по методам QCT и QCT-ФК (наличием у фантома QCT-ФК, в отличие от фантома QCT модели 4 [12], парафиновых накладок, имитирующих подкожно-жировую клетчатку). При этом оба фантома учитывают эффект усиления жесткости рентгеновского излучения (beam hardening). Полученная нами высокая корреляция $R^2 = 0,977$ и положительное смещение +4,86 мг/мл при сравнении методов в группе пациентов согласуются с данными полученными при использовании двухэнергетического сканирования $R^2 = 0,974$, смещение +2,81 мг/мл. Отмеченное положительное смещение, полученное в обеих работах может быть связано с более полным учетом Beam hardening эффекта по сравнению с асинхронной калибровкой QCT [12] и также влиянием жировой составляющей костного мозга, обсужденной выше [10].

Таким образом, разработка предложенной в данной работе методики QCT-ФК определения МПК по данным КТ-сканирования соответствует позиции Международного общества клинической денситометрии 2019 г., согласно которой КТ-денситометрия, основанная на измерении рентгеновской плотности с использованием сканируемого совместно с пациентом фантома, может быть заменена асинхронной калибровкой при условии поддержания стабильности работы сканера [16].

Учитывая большое количество КТ-исследований, выполняемых у пациентов группы риска развития остеопороза (женщины в постменопаузе и мужчины старше 50 лет, пациенты с эндокринными нарушениями, в том числе пациенты с сахарным диабетом, пациенты с обструктивной болезнью легких, бронхиальной астмой и др.) актуально широкое внедрение оппортунистического скрининга остеопороза с последующей оценкой вероятности переломов с использованием инструмента FRAX и направлением пациентов с низкой МПК к соответствующему специалисту или для выполнения рутинной денситометрии. С применением методики QCT-ФК это становится возможным без установки дополнительных программно-аппаратных комплексов QCT, необходимо лишь обеспечение доступа врача-рентгенолога только к ЕРИС. Это важно для своевременного начала лечения, профилактики развития патологических переломов, и таким образом – сохранения качества жизни пациента [11, 17].

Несмотря на описанные преимущества и отсутствие статистической значимости при сравнении



разработанной методики QCT-ФК со стандартным методом QCT, данное исследование имеет ряд ограничений: сравнения проведены только на одной модели томографа при определенных параметрах сканирования; нет данных по сравнению двух методик при проведении низкодозной КТ; не проведены исследования для более широкого возрастного диапазона пациентов.

Выводы

Предложенная в данной работе методика асинхронной КТ денситометрии QCT-ФК позволяет оценивать МПК тел поясничных позвонков сопоставимо с принятой в клинической практике методикой асинхронной QCT с использованием программного обеспечения от известного производителя. После дополнительных исследований данная методика может быть использована при проведении оппортунистического скрининга остеопороза, оценки минеральной плотности кости при выполнении КТ-исследования с другими целями (КТ органов грудной клетки, брюшной полости).

Участие авторов

Петрайкин А.В. – концепция и дизайн исследования, изготовление фантома РСК-ФК2, разработка метода QCT-ФК.

Сморчкова А.К. – проведение исследования, разработка метода QCT-ФК, написание текста.

Кудрявцев Н.Д. – разработка метода QCT-ФК, анализ и интерпретация полученных данных.

Сергунова К.А. – участие в научном дизайне.

Артюкова З.Р. – изготовление фантома РСК-ФК2, сбор и обработка данных, подготовка, создание опубликованной работы.

Абуладзе Л.Р. – сбор и обработка данных.

Яссин Л.Р. – сбор и обработка данных.

Петрайкин Ф.А. – статистическая обработка данных.

Лобанов М.Н. – участие в научном дизайне.

Николаев А.Е. – анализ и интерпретация полученных данных.

Хоружая А.Н. – подготовка и редактирование текста.

Семенов Д.С. – изготовление фантома РСК-ФК2, подготовка и редактирование текста.

Низовцова Л.А. – подготовка и редактирование текста.

Владимирский А.В. – консультативная поддержка, ответственность за целостность всех частей статьи.

Морозов С.П. – консультативная поддержка, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Petraikin A.V. – concept and design of the study, development of the PHK phantom, development of a QCT-PHK method.

Smorchkova A.K. – conducting research, development of a QCT-PHK method, writing text.

Kudryavtsev N.D. – development of a QCT-PK method, analysis and interpretation of the obtained data.

Sergunova K.A. – participation in scientific design.

Artyukova Z.R. – development of the PHK phantom, collection and analysis of data, preparation and creation of the published work.

Abduladze L.R. – collection and analysis of data.

Iassin L.R. – collection and analysis of data.

Petraikin F.A. – statistical analysis.

Lobanov M.N. – participation in scientific design.

Nikolayev A.E. – analysis and interpretation of the obtained data.

Khoruzhaya A.N. – preparation and creation of the published work.

Semenov D.S. – development of the PHK phantom, preparation and creation of the published work.

Nizovtsova L.A. – preparation and creation of the published work.

Vladymyrsky A.V. – consultative support, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Morozov S.P. – consultative support, approval of the final version of the article.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-015-00260.

Список литературы

- Engelke K. Quantitative Computed Tomography – Current Status and New Developments. *J Clin Densitom.* 2017; 20 (3): 309–321. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2017.06.017>
- Петрайкин А.В., Смолячук М.Я., Петрайкин Ф.А., Низовцова Л.А., Артюкова З.Р., Сергунова К.А., Ахмад Е.С., Семенов Д.С., Владимирский А.В., Морозов С.П. Оценка точности денситометрических исследований. Применение фантома РСК ФК2. *Травматология и ортопедия России.* 2019; 25 (3): 124–134. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-3-124-134>
- Петрайкин А.В., Низовцова Л.А., Сергунова К.А., Ахмад Е.С., Семенов Д.С., Петрайкин Ф.А., Гомболевский В.А., Николаев А.Е., Кошурников Д.С., Титов Ю.И., Морозов С.П., Владимирский А.В. Оценка точности асинхронной компьютерной денситометрии по данным фантомного моделирования. *Радиология-практика.* 2019; 78 (6): 48–59.
- Brett A.D., Brown J.K. Quantitative computed tomography and opportunistic bone density screening by dual use of computed tomography scans. *J. Orthop. Transl.* 2015; 3 (4): 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2015.08.006>
- Ziemlewicz 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.* 2015; 12 (10): 1036–1041. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2015.04.018>
- Therkildsen J., Winther S., Nissen L., Jørgensen H., Thygesen J., Ivarsen P., Frost L., Langdahl B., Hauge E., Boettcher M. Feasibility of Opportunistic Screening for Low Thoracic Bone Mineral Density in Patients Referred for Routine Cardiac CT. *J. Clin. Densitom.* 2020; 23 (1): 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.12.002>
- Lee S.J., Binkley N., Lubner M.G., Bruce R.J., Ziemlewicz T.J., Pickhardt P.J. Opportunistic screening for osteoporosis using the sagittal reconstruction from routine abdominal CT for combined assessment of vertebral fractures and density. *Osteoporos. Int.* 2016; 27 (3): 1131–1136. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3318-4>



8. Pickhardt P.J., Pooler B.D., Lauder T., del Rio A.M., Bruce R.J., Binkley N. Opportunistic screening for osteoporosis using abdominal computed tomography scans obtained for other indications. *Ann. Intern. Med.* 2013; 158 (8): 588–595. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-158-8-201304160-00003>
9. Ziemlewicz T.J., Maciejewski A., Binkley N., Brett A.D., Brown J.K., Pickhardt P.J. Direct comparison of unenhanced and contrast-enhanced CT for opportunistic proximal femur bone mineral density measurement: Implications for osteoporosis screening. *Am. J. Roentgenol.* 2016; 206 (4): 694–698. <https://doi.org/10.2214/AJR.15.15128>
10. Roski F., Hammel J., Mei K., Baum T., Kirschke J., Laugerette A., Kopp F., Bodden J., Pfeiffer D., Pfeiffer F., Rummeny E., Noël P., Gersing A., Schwaiger B. Bone mineral density measurements derived from dual-layer spectral CT enable opportunistic screening for osteoporosis. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (11): 6355–6363. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06263-z>
11. Лесняк О.М., Баранова И.А., Белова К.Ю., Гладкова Е.Н., Евстигнеева Л.П., Ершова О.Б., Каронова Т.Л., Кочиш А.Ю., Никитинская О.А., Скрипникова И.А., Торопцова Н.В., Арамисова Р.М.. Остеопороз в Российской Федерации: эпидемиология, медико-социальные и экономические аспекты проблемы (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России.* 2018; 24 (1): 155–168. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-1-155-168>
12. Brown J.K., Timm W., Bodeen G., Chason A. Asynchronously Calibrated Quantitative Bone Densitometry. *J. Clin. Densitom.* 2017; 20 (2): 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.11.001>
13. The American College of Radiology. ACR–SPR–SSR Practice Parameter for the Performance of Musculoskeletal Quantitative Computed Tomography (QCT). <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/QCT.pdf>. Published 2018.
14. Baum T., Yap S.P., Karampinos D.C., Nardo L., Kuo D., Burghardt A., Masharani U., Schwartz A., Li X., Link T. Does vertebral bone marrow fat content correlate with abdominal adipose tissue, lumbar spine bone mineral density, and blood biomarkers in women with type 2 diabetes mellitus? *J. Magn. Reson. Imaging.* 2012; 35 (1): 117–124. <https://doi.org/10.1002/jmri.22757>
15. Bredella M.A., Daley S.M., Kalra M.K., Brown J.K., Miller K.K., Torriani M. Marrow Adipose Tissue Quantification of the Lumbar Spine by Using Dual-Energy CT and Single-Voxel (1)H MR Spectroscopy: A Feasibility Study. *Radiology.* 2015; 277 (1): 230–235. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015142876>
16. Shuhart C.R., Yeap S.S., Anderson P.A., Jankowski L.G., Lewiecki E.M., Morse L.R., Rosen H.N., Weber D.R., Zemel B.S., Shepherd J.A. Executive Summary of the 2019 ISCD Position Development Conference on Monitoring Treatment, DXA Cross-calibration and Least Significant Change, Spinal Cord Injury, Peri-prosthetic and Orthopedic Bone Health, Transgender Medicine, and Pediatrics. *J. Clin. Densitom.* 2019; 22 (4): 453–471. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2019.07.001>
17. Yates C.J., Chauchard M.A., Liew D., Bucknill A., Wark J.D. Bridging the osteoporosis treatment gap: Performance and cost-effectiveness of a fracture liaison service. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (2): 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.01.003>
18. Engelke K., Lang T., Khosla S., Qin L., Zysset P., Leslie W.D., Shepherd J. A., Shousboe J. T. Clinical Use of Quantitative Computed Tomography-Based Advanced Techniques in the Management of Osteoporosis in Adults: the 2015 ISCD Official Positions-Part III. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (3): 393–407. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.06.010>
19. Петрайкин А.В., Иванов Д.В., Ахмад Е.С., Сергунова К.А., Низовцова Л.А., Петрайкин Ф.А., Рыжов С.А., Кириллова И.В., Коссович Л.Ю., Бессонов Л.В., Доль А.В., Владимировский А.В., Харламов А.В. Фантомное моделирование для подбора оптимальных фильтров реконструкции в количественной компьютерной томографии. *Медицинская физика.* 2020; 2: 34–44.
20. Громов А.И., Петрайкин А.В., Кульберг Н.С., Ким С.Ю., Морозов С.П., Сергунова К.А., Усанов М.С. Проблема точности денситометрических показателей в современной многослойной компьютерной томографии. *Медицинская визуализация.* 2016; 6: 133–142.
21. Yudin A.L. A possible way to solve problems in CT densitometry. *Clin. Imaging.* 1995; 19 (3): 197–200.

References

1. Engelke K. Quantitative Computed Tomography – Current Status and New Developments. *J Clin Densitom.* 2017; 20 (3): 309–321. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2017.06.017>
2. Petraiikin A.V., Smoliarchuk M.Y., Petrayaykin F.A., Nizovtsova L.A., Artyukova Z.R., Sergunova K.A., Akhmad E.S., Semenov D.S., Vladzimirsky A.V., Morozov S.P. Assessment of the Accuracy of Densitometry Measurements Using DMA PP2 Phantom. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2019; 25 (3): 124–134. (In Russian) <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-3-124-134>
3. Petraiikin A.V., Nisovtsova L.A., Sergunova K.A., Akhmad E.S., Semenov D.S., Petrayaykin F.A., Gombolevsky V.A., Nikolaev A.E., Koshurnikov D.S., Titova Yu. I., Morozov S.P., Vladzimirsky A.V. Accuracy of asynchronous quantitative computed tomography by phantom modelling. *Radiology-practice.* 2019; 78 (6): 48–59. (In Russian)
4. Brett A.D., Brown J.K. Quantitative computed tomography and opportunistic bone density screening by dual use of computed tomography scans. *J. Orthop. Transl.* 2015; 3 (4): 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2015.08.006>
5. Ziemlewicz 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.* 2015; 12 (10): 1036–1041. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2015.04.018>
6. Therkildsen J., Winther S., Nissen L., Jørgensen H., Thygesen J., Ivarsen P., Frost L., Langdahl B., Hauge E., Boettcher M. Feasibility of Opportunistic Screening for Low Thoracic Bone Mineral Density in Patients Referred for Routine Cardiac CT. *J. Clin. Densitom.* 2020; 23 (1): 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.12.002>
7. Lee S.J., Binkley N., Lubner M.G., Bruce R.J., Ziemlewicz T.J., Pickhardt P.J. Opportunistic screening for osteoporosis using the sagittal reconstruction from routine abdominal CT for combined assessment of vertebral fractures and density. *Osteoporos. Int.* 2016; 27 (3): 1131–1136. <https://doi.org/10.1007/s00198-015-3318-4>
8. Pickhardt P.J., Pooler B.D., Lauder T., del Rio A.M., Bruce R.J., Binkley N. Opportunistic screening for osteoporosis using abdominal computed tomography scans obtained for other indications. *Ann. Intern. Med.*



- 2013; 158 (8): 588–595. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-158-8-201304160-00003>
9. Ziemlewicz T.J., Maciejewski A., Binkley N., Brett A.D., Brown J.K., Pickhardt P.J. Direct comparison of unenhanced and contrast-enhanced CT for opportunistic proximal femur bone mineral density measurement: Implications for osteoporosis screening. *Am. J. Roentgenol.* 2016; 206 (4): 694–698. <https://doi.org/10.2214/AJR.15.15128>
 10. Roski F., Hammel J., Mei K., Baum T., Kirschke J., Laugerette A., Kopp F., Bodden J., Pfeiffer D., Pfeiffer F., Rummeny E., Noël P., Gersing A., Schwaiger B. Bone mineral density measurements derived from dual-layer spectral CT enable opportunistic screening for osteoporosis. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (11): 6355–6363. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06263-z>
 11. Lesnyak O.M., Baranova I.A., Belova K.Y., Gladkova E.N., Evstigneeva L.P., Ershova O.B., Karanova T.L., Kochish A.Yu., Nikitinskaya O.a., Skripnikova I.A., Toroptsova N.V., Aramisova R.M.. Osteoporosis in Russian Federation: Epidemiology, Socio-Medical and Economical Aspects (Review). *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2018; 24 (1): 155–168. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-1-155-168>
 12. Brown J.K., Timm W., Bodeen G., Chason A. Asynchronously Calibrated Quantitative Bone Densitometry. *J. Clin. Densitom.* 2017; 20 (2): 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.11.001>
 13. The American College of Radiology. ACR–SPR–SSR Practice Parameter for the Performance of Musculoskeletal Quantitative Computed Tomography (QCT). <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/QCT.pdf>. Published 2018.
 14. Baum T., Yap S.P., Karampinos D.C., Nardo L., Kuo D., Burghardt A., Masharani U., Schwartz A., Li X., Link T. Does vertebral bone marrow fat content correlate with abdominal adipose tissue, lumbar spine bone mineral density, and blood biomarkers in women with type 2 diabetes mellitus? *J. Magn. Reson. Imaging.* 2012; 35 (1): 117–124. <https://doi.org/10.1002/jmri.22757>
 15. Bredella M.A., Daley S.M., Kalra M.K., Brown J.K., Miller K.K., Torriani M. Marrow Adipose Tissue Quantification of the Lumbar Spine by Using Dual-Energy CT and Single-Voxel (1)H MR Spectroscopy: A Feasibility Study. *Radiology.* 2015; 277 (1): 230–235. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015142876>
 16. Shuhart C.R., Yeap S.S., Anderson P.A., Jankowski L.G., Lewiecki E.M., Morse L.R., Rosen H.N., Weber D.R., Zemel B.S., Shepherd J.A. Executive Summary of the 2019 ISCD Position Development Conference on Monitoring Treatment, DXA Cross-calibration and Least Significant Change, Spinal Cord Injury, Peri-prosthetic and Orthopedic Bone Health, Transgender Medicine, and Pediatrics. *J. Clin. Densitom.* 2019; 22 (4): 453–471. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2019.07.001>
 17. Yates C.J., Chauchard M.A., Liew D., Bucknill A., Wark J.D. Bridging the osteoporosis treatment gap: Performance and cost-effectiveness of a fracture liaison service. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (2): 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.01.003>
 18. Engelke K., Lang T., Khosla S., Qin L., Zysset P., Leslie W.D., Shepherd J. A., Shousboe J. T. Clinical Use of Quantitative Computed Tomography-Based Advanced Techniques in the Management of Osteoporosis in Adults: the 2015 ISCD Official Positions-Part III. *J. Clin. Densitom.* 2015; 18 (3): 393–407. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.06.010>
 19. Petraikin A.V., Ivanov D.V., Akhmad E.S., Sergunova K.A., Nizovtsova L.A., Petryaykin F.A., Ruzov S.A., Kirilova I.V., Kossovich L.Yu., Bessonov L.V., Dol A.V., Vladzimirskyy A.V., Harlamov A.V. Phantom modeling for selection of optimum reconstruction filters in the quantitative computer tomography. *Medicinskaya Fizika = Medical Physics.* 2020; 2: 34–44. (In Russian)
 20. Gromov A.I., Petraikin A.V., Kulberg N.S., Kim S.Yu., Morozov S.P., Sergunova K.A., Usanov M.S. The Problem of X-Ray Attenuation Estimation Accuracy in Multislice Computed Tomography. *Medical Visualization.* 2016; 6: 133–142. (In Russian)
 21. Yudin A.L. A possible way to solve problems in CT densitometry. *Clin. Imaging.* 1995; 19 (3): 197–200.

Для корреспонденции*: Петрайкин Алексей Владимирович – 109029 Москва, ул. Средняя Калитниковская, д. 28, стр. 1, Российская Федерация. ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”. Тел.: +7-926-575-46-02. E-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Петрайкин Алексей Владимирович – канд. мед. наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <http://orcid.org/0000-0003-1694-4682>. E-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Сморчкова Анастасия Кирилловна – ординатор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-9766-3390>. E-mail: smanki97@gmail.com

Кудрявцев Никита Дмитриевич – младший научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4203-0630>. E-mail: n.kudryavtsev@nrcmr.ru

Сергунова Кристина Анатольевна – канд. техн. наук, руководитель отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-9596-7278>. E-mail: sergunova@nrcmr.ru

Артюкова Злата Романовна – инженер, ординатор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”; ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <http://orcid.org/0000-0003-2960-9787>. E-mail: zl.artukova@gmail.com

Абуладзе Лия Руслановна – студент института клинической медицины ФГАОУ ВО “Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России” (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>. E-mail: drliaabuladze@gmail.com

Яссин Лейла Раедовна – студент института клинической медицины ФГАОУ ВО “Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России” (Сеченовский Университет), Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2772-1401>. E-mail: yassin.leila@yandex.ru



Петрайкин Фёдор Алексеевич – аспирант факультета фундаментальной медицины Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва. <http://orcid.org/0000-0001-6923-3839>. Email: feda.petraykin@gmail.com

Лобанов Михаил Николаевич – канд. мед. наук, исполняющий обязанности заведующего организационно-методическим отделом ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <http://orcid.org/0000-0003-4748-7808>. E-mail: m.lobanov@npcmr.ru

Николаев Александр Евгеньевич – младший научный сотрудник отдела развития качества радиологии ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5151-4579>. E-mail: a.nikolaev@npcmr.ru

Хоружая Анна Николаевна – младший научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4857-5404>. E-mail: a.khoruzhaya@npcmr.ru

Семенов Дмитрий Сергеевич – научный сотрудник отдела инновационных технологий ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-4293-2514>. E-mail: d.semenov@npcmr.ru

Низовцова Людмила Арсеньевна – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела координации научной деятельности ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9614-450>. E-mail: nizovtsova@npcmr.ru

Владимирский Антон Вячеславович – доктор мед. наук, заместитель директора по научной работе ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <http://orcid.org/0000-0002-2990-7736>. E-mail: a.vladimirsky@npcmr.ru

Морозов Сергей Павлович – доктор мед. наук, профессор, директор ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <http://orcid.org/0000-0001-6545-6170>. E-mail: morozov@npcmr.ru

Contact*: Alexey V. Petraiкин – 16/26, str. 1, Raskovoy str. 125124, Moscow, Russian Federation. Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department. Phone: +7-926-575-46-02. E-mail: alexeypetraiкин@gmail.com

Alexey V. Petraiкин – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Leading Researcher of the Department of Innovation Technology Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0003-1694-4682>. E-mail: alexeypetraiкин@gmail.com

Anastasia K. Smorchkova – Student of the Department of Radiology of Federal State Budgetary Institution “Central State Medical Academy” of the Administrative Department of the President of the Russian Federation”, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-9766-3390>. E-mail: smanki97@gmail.com

Nikita D. Kudryavtsev – Junior Researcher of the Department of Innovation Technology of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4203-0630>. E-mail: n.kudryavtsev@npcmr.ru

Kristina A. Sergunova – Cand. of Sci. (Tech.), Head of the Department of Innovation Technology of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-9596-7278>. E-mail: sergunova@npcmr.ru

Zlata R. Artyukova – Engineer, Student of the Department of Radiology of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; Federal State Budgetary Institution “Central State Medical Academy” of the Administrative Department of the President of the Russian Federation”, Moscow. <http://orcid.org/0000-0003-2960-9787>. E-mail: zl.artyukova@gmail.com

Liya R. Abuladze – Student of Institute of Clinical Medicine I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6745-1672>. E-mail: drliaabuladze@gmail.com

Leila R. Iassin – Student of Institute of Clinical Medicine I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2772-1401>. E-mail: yassin.leila@yandex.ru

Fedor A. Petraiкин – Graduate student of Faculty of Fundamental Medicine of Lomonosov Moscow State University, Moscow. <http://orcid.org/0000-0001-6923-3839>. Email: feda.petraykin@gmail.com

Mihail N. Lobanov – Cand. of Sci. (Med.), acting head of the Department of organizational and methodological of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0003-4748-7808>. E-mail: m.lobanov@npcmr.ru

Alexander E. Nikolaev – Junior Researcher of the Department of Radiology Quality Development of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5151-4579>. E-mail: a.nikolaev@npcmr.ru

Anna N. Khoruzhaya – Junior Researcher of the Department of Innovation Technology of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4857-5404>. E-mail: a.khoruzhaya@npcmr.ru

Dmitry S. Semenov – Researcher of the Department of Innovation Technology of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-4293-2514>. E-mail: d.semenov@npcmr.ru

Lyudmila A. Nisovstova – Doct. of Sci. (Med.), Professor, General Researcher of the Department of Science Coordination of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9614-450>. E-mail: nizovtsova@npcmr.ru

Anton V. Vladzimirsky – Doct. of Sci. (Med.), Deputy Director of Science of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0002-2990-7736>. E-mail: a.vladzimirsky@npcmr.ru

Sergey P. Morozov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow. <http://orcid.org/0000-0001-6545-6170>. E-mail: morozov@npcmr.ru